

Принципы построения технологических схем основного органического
синтеза

Учебное пособие

Ю.П. Сучков, В.С. Дубровский, А.И. Луганский, И.А. Козловский

Оглавление

	Введение.....	5
1	Основное оборудование органического синтеза и условное графическое отображение его на технологической схеме.....	8
2	Способы регулирования параметров химико-технологического процесса.....	10
2.1	Условное графическое отображение приборов и средств автоматизации на технологической схеме.....	11
2.2	Способы регулирования основных параметров.....	13
2.2.1	Регулирование расхода жидкости и газа.....	13
2.2.2	Регулирование уровня.....	16
2.2.3	Регулирование давления.....	17
2.2.4	Регулирование температуры.....	20
3	Состав технологических схем процессов основного органического синтеза.....	21
3.1	Стадия подготовки веществ.....	21
3.1.1	Узлы нагрева, охлаждения и испарения.....	21
3.1.1.1	Аппаратурное оформление узлов нагрева жидких и газообразных веществ и способы регулирования температуры.....	22
3.1.1.2	Аппаратурное оформление узлов охлаждения жидких и газообразных веществ и способы регулирования температуры.....	29
3.1.1.3	Аппаратурное оформление узлов испарения и способы регулирования режима их работы в непрерывном режиме.....	35
3.1.2	Узлы очистки веществ от примесей и способы регулирования режима их работы в непрерывном режиме.....	39
3.1.2.1	Аппаратурное оформление узлов отдувки примеси инертным газом.....	41
3.1.2.2	Аппаратурное оформление узлов перегонки и ректификации.....	45
3.1.2.3	Аппаратурное оформление узлов экстракции.....	52
3.1.2.4	Аппаратурное оформление узлов абсорбции.....	56
3.1.2.5	Аппаратурное оформление узлов адсорбции.....	59
3.1.2.6	Аппаратурное оформление узлов хемосорбции.....	61
3.1.2.7	Аппаратурное оформление узла нейтрализации.....	69
3.1.3	Аппаратурное оформление узла подготовки катализатора.....	70
3.2	Реакционная стадия.....	71
3.2.1	Классификация химических реакторов.....	71
3.2.2	Аппаратурное оформление реакторных узлов и способы регулирования режима их работы в непрерывном режиме	73
3.2.2.1	Реакторы для проведения газофазных реакций. Катализатор – отсутствует.....	73
3.2.2.2	Реакторы для проведения газофазных реакций. Катализатор – стационарный слой.....	74
3.2.2.3	Реакторы для проведения газофазных реакций. Катализатор – псевдоожиженный.....	76

3.2.2.4	Реакторы для проведения реакций в системе газ-жидкость. Катализатор – гомогенный или отсутствует.....	76
3.2.2.5	Реакторы для проведения жидкофазных реакций. Катализатор – гомогенный или отсутствует.....	79
3.2.2.6	Реакторы для проведения жидкофазных реакций. Катализатор – жидкий (плохо растворимый в реакционной смеси).....	79
3.2.2.7	Реакторы для проведения жидкофазных реакций. Катализатор – стационарный слой.....	80
3.2.2.8	Реакторы для проведения реакций в системе газ-жидкость. Катализатор – стационарный слой.....	86
3.2.2.9	Реакторы для проведения реакций в системе газ-жидкость. Катализатор – жидкий, ограниченно растворимый в жидких веществах.....	86
3.2.2.10	Реакторы для проведения реакций в системе газ-жидкость. Катализатор – суспендированный.....	87
3.2.2.11	Реакторы для проведения реакций в системе жидкость-жидкость (реагенты – две жидкие ограниченно растворимые друг в друге фазы). Катализатор – стационарный слой.....	87
3.3	Стадия переработки продуктов реакции.....	89
	Список используемой литературы.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Технология – это наука о рациональных способах и средствах осуществления производственных процессов, направленных на:

- переработку сырья и материалов в продукты потребления или средства производства;
- переработку отходов в безопасные вещества и т.п.

Под рациональными способами следует понимать способы, характеризующиеся минимальными затратами (материалов, энергии и т.п.), технической и экологической безопасностью (исключающие взрыв, пожар или выброс токсичных веществ в окружающую среду), и обеспечивающие получение продуктов требуемого качества.

Обычно процессы, целью которых является производство или переработка каких-либо продуктов, называют технологическими процессами.

Технологический процесс может включать одну или несколько операций (действий над веществом или материалом), различных по своей природе (физические, химические) и условиям их осуществления (температура, давление и т.п.).

В общем виде под технологическим процессом следует понимать совокупность операций, производимых над сырьем или отходами в определенной последовательности при определенных условиях, конечной целью которых является получение продуктов требуемого качества с минимальными затратами материалов, энергии и др.

В случае, когда в основе хотя бы одной из операций технологического процесса лежит целенаправленное химическое превращение веществ и/или материалов, процесс называют химико-технологическим процессом.

Иначе говоря, химико-технологический процесс – это совокупность химических и физических операций, проводимых над исходным сырьем в определенной последовательности.

Наиболее распространенные физические операции химико-технологических процессов – нагрев, охлаждение, испарение, конденсация, смешение, разделение (дистилляция, кристаллизация).

Таким образом, химическую технологию можно охарактеризовать как науку о рациональных способах осуществления производственных процессов, в основе которых лежат целенаправленные химические превращения веществ и/или материалов.

Учитывая специфические свойства химических веществ, обращающихся в химико-технологических процессах – токсичность, способность к воспламенению и/или взрыву при контакте с воздухом, – большинство химических и физических операций осуществляют в одном или нескольких аппаратах различного типа и объема, изолированных от окружающей среды.

Аппарат, предназначенный для проведения химических превращений, называют химическим реактором или просто реактором.

Аппараты для проведения других технологических операций обычно называют по имени того физического процесса, для проведения которого предназначен данный аппарат. Например, сепаратор, ректификационная колонна, абсорбционная колонна, испаритель, холодильник, емкость для хранения и др.

Для безопасного перемещения химических веществ из одного аппарата в другой, аппараты соединяют друг с другом определенным образом и в определенной последовательности технологическими линиями, как правило, трубопроводами, а перемещение веществ по трубопроводам осуществляют с помощью насосов и компрессоров или за счет разности давления или уровня в аппаратах.

Каждую технологическую операцию химико-технологического процесса осуществляют при определенных условиях (при определенном режиме), который характеризуется набором параметров процесса – температурой, давлением, концентрацией веществ, скоростью подачи веществ (расходом веществ), уровнем веществ в аппарате.

Для осуществления большинства химических и физических операций необходимо четкое поддержание вышеуказанных параметров в узком интервале их значений в течение длительного периода времени (непрерывные процессы) или в течение нескольких часов (периодические процессы). Невыполнение этих требований может привести к протеканию

ряда нежелательных физических и химических процессов, последствиями которых могут быть снижение качества продукта, пожар, взрыв и т.д.

Число контролируемых и регулируемых параметров в разных процессах колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен. При этом иногда требуется поддерживать разные значения параметра в разных точках аппарата и трубопровода.

Чтобы выполнить данное условие (а именно, чтобы поддерживать требуемый режим в каждом из аппаратов) необходимы, во-первых, средства, позволяющие измерять значения данных параметров, а во-вторых, средства, позволяющие воздействовать на величину параметров в случае их отклонения в ту или иную сторону от требуемого значения.

Для управления химико-технологическими процессами и, в частности процессами основного органического синтеза, в подавляющем большинстве случаев используют измерительные устройства и преобразователи, автоматические системы контроля, регулирования, в том числе и ЭВМ.




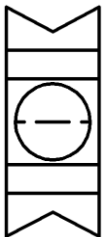
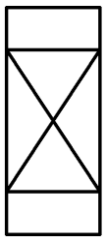
Следует отметить, что без вышеуказанных средств измерения и автоматизации невозможна работа ни одного современного химико-технологического процесса.

Определенное количество химико-технологических аппаратов, предназначенных для проведения одной или нескольких технологических операций, связанных между собой технологическими линиями (трубопроводами), а также установленных в определенном месте на аппаратах и/или технологических линиях измерительных устройств и средств автоматизации, называется химико-технологической системой производства, а её отображение на бумажном носителе – химико-технологической схемой (ХТС).

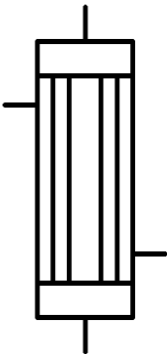
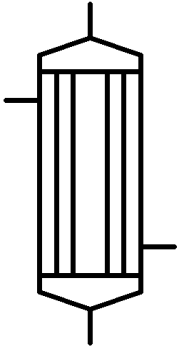
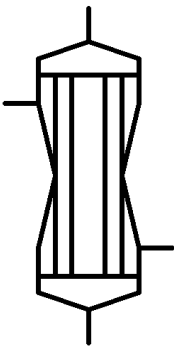
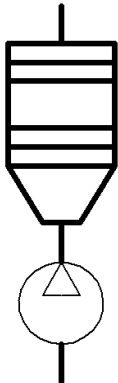
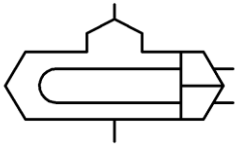
Аппараты, а также средства измерения и автоматизации на химико-технологической схеме изображают по правилам Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и располагают последовательно по ходу материальных потоков слева направо. Трубопроводы, соединяющие аппараты, изображают в виде четких линий. На них стрелками указывают направление материальных потоков.

1. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА И УСЛОВНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ЕГО НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ

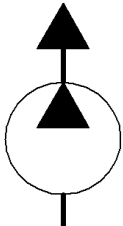
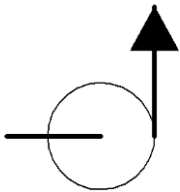
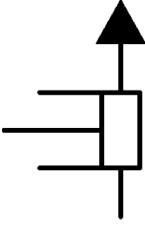
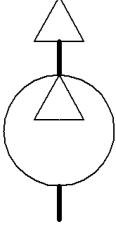
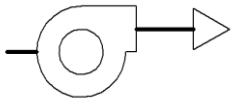
Массообменные аппараты (ректификационные колонные, абсорберы, скрубберы и др.)

Тарельчатые				Насадочные
Общее обозначение	Колпачковые	Клапанные $P > 1$ ата	Ситчатые $P < 1$ ата	Насыпная насадка
				




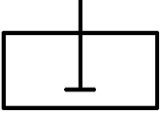
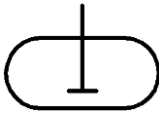
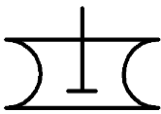
Аппараты теплообменные

Кожухотрубные теплообменники			Воздушный холодильник	Испаритель с паровым пространством
Общее обозначение	$P > 1$ ата в трубном пространстве	$P < 1$ ата в межтрубном пространстве		
				

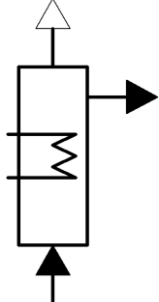
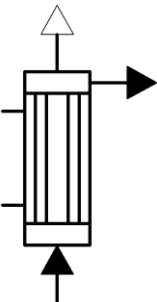
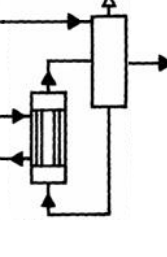
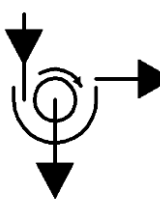
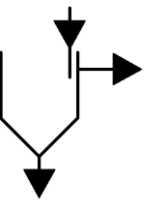
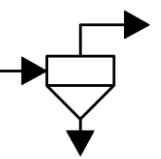
Насосы, компрессоры, вентиляторы

Общее обозначение	Центробежный	Поршневой	Компрессор	Вентилятор
				



Емкости и аппараты с перемешивающими устройствами

Емкости			Аппараты		
P = 1 ата	P > 1 ата	P < 1 ата	P = 1 ата	P > 1 ата	P < 1 ата
					

Аппараты выпарные, фильтры, циклоны

Аппараты выпарные			Фильтры, отстойники и циклоны		
Общее обозначение	С соосной тепловой камерой	С выносной тепловой камерой	Барабанный	Отстойник	Гидроциклон
					

Направление распространения потоков

Жидкости	Газа
	

2. СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Регулированием называют поддержание параметров объекта (температура, давление, расход, уровень, качество) вблизи требуемых (постоянных или переменных) значений путем подачи на объект управляющего (регулирующего) воздействия через исполнительный механизм.

Под объектом следует понимать не только какой-либо конкретный аппарат, но также и трубопроводы.

Система регулирования, как правило, включает в себя первичный измерительный преобразователь, регулятор и исполнительное устройство. Также система регулирования может включать в себя вторичные преобразователи (усилители сигналов и энергии).

Исполнительное устройство состоит из двух функциональных блоков: исполнительного механизма (пневматического, электрического или гидравлического) и регулирующего органа, например, регулирующего клапана, который, как правило, устанавливают на трубопроводах.

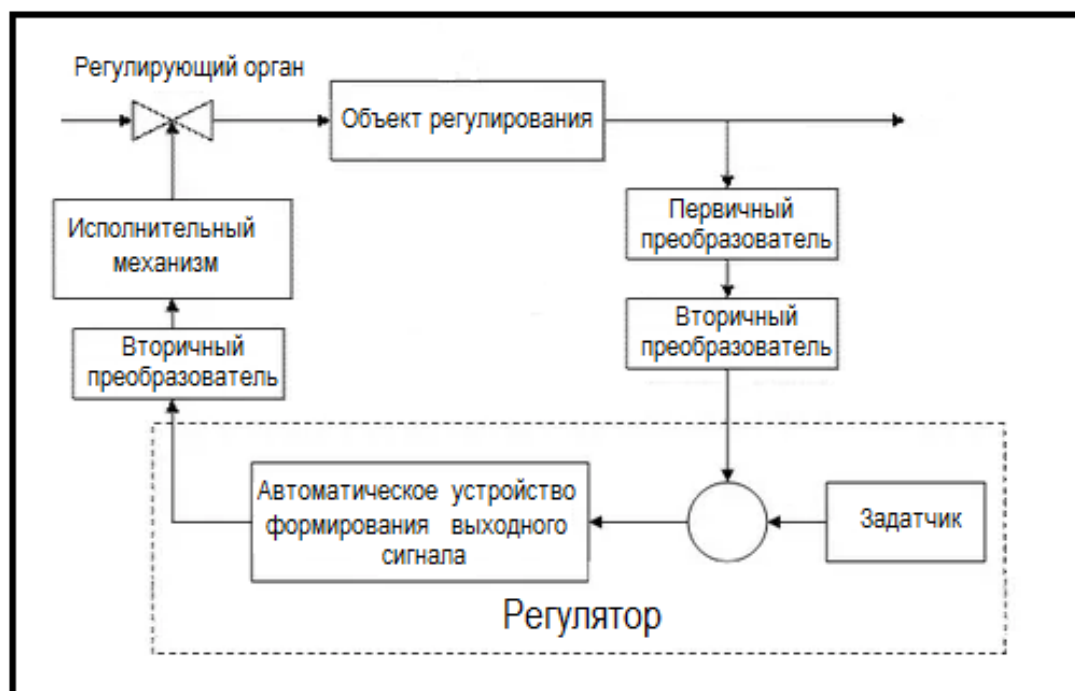


Рис. 1. Блок-схема регулирования параметров объекта

2.1. Условное графическое отображение приборов и средств автоматизации на технологической схеме

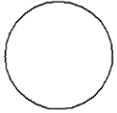
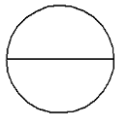
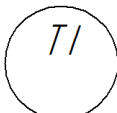
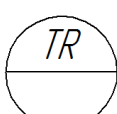
Основные обозначения измеряемых и регулируемых величин на технологической схеме.

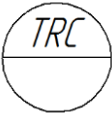
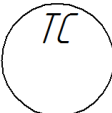
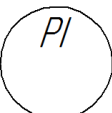
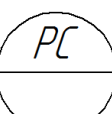
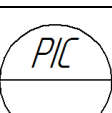

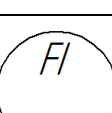
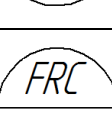
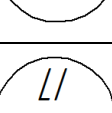
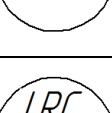
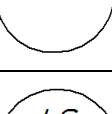
Наименование измеряемой и/или регулируемой величины	Обозначение
Температура	T
Давление, разрежение	P
Расход	F
Уровень	L
Состав смеси, концентрация вещества	Q


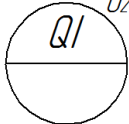
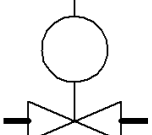
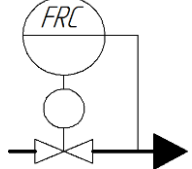
Основные условные обозначения функциональных признаков на технологической схеме.

Наименование функционального признака	Обозначение
Показание	I
Регистрация	R
Регулирование, управление	C
Включение, отключение, переключение	S

Примеры отображения приборов и средств автоматизации на технологической схеме.

	Устройство (прибор), установленный по месту (на трубопроводе, аппаратуре)
	Устройство (прибор), установленный на щите, пульте
	Прибор для регистрации температуры, установленный на месте измерения
	Прибор для регистрации температуры, установленный на щите

	Регулятор температуры, регистрирующий, установленный на щите
	Регулятор температуры, бесшкальный, установленный по месту
	Прибор для измерения давления, установленный по месту (манометр)
	Регулятор давления, бесшкальный, установленный на щите
	Регулятор давления, установленный на щите (с индикацией текущего давления)
	Регулятор давления, регистрирующий, установленный на щите
	Прибор для измерения расхода, установленный по месту (например, ротаметр)
	Регулятор расхода, регистрирующий, установленный на щите
	Прибор для измерения уровня, установленный по месту
	Регулятор уровня, регистрирующий, установленный на щите
	Прибор для регулирования уровня с контактным устройством

	Регулятор качества продукта, регистрирующий (с рН-метром)
	Прибор для измерения качества продукта, показывающий (газоанализатор)
	Исполнительное устройство (исполнительный механизм и регулирующий орган)
	Схема соединения первичного преобразователя, регулятора, исполнительного механизма и регулирующего устройства

2.2. Способы регулирования основных параметров

2.2.1. Регулирование расхода жидкости и газа

Эффективное и безопасное осуществление химико-технологических процессов в промышленности основного органического синтеза, как правило, требует строгого дозирования жидких и/или газообразных веществ (реагенты, вспомогательные вещества, теплоагенты и т.п.) в несколько аппаратов с определенным (конкретным) расходом.

Так, подача исходных реагентов в химический реактор с постоянным расходом необходима для обеспечения заданной производительности установки по целевому продукту.

Подача горячего теплоносителя в теплообменник с постоянным или переменным расходом позволяет поддерживать температуру нагреваемого потока вещества на требуемом уровне.

Для подачи или перемещения (транспортировки) веществ между аппаратами обычно используют механические устройства, которые по принципу действия можно разделить на два типа – динамические (лопастные и трения) и объемные (возвратно-поступательного действия, роторные). К первому типу относятся центробежные, осевые, вихревые насосы, а также газодувки и вентиляторы. Ко второму типу – поршневые,

плунжерные, шестеренные, винтовые насосы, а также компрессоры для подачи и перемещения газа.

В ряде случаев жидкие и газообразные вещества могут быть поданы (перемещены) из одного аппарата в другой за счет разности давлений. Именно таким образом из аппаратов, находящихся при повышенном давлении, в аппараты, работающие при более низком давлении, подают технологический пар, оборотную воду, технический азот и др. Кроме того, жидкости могут быть перемещены из одного аппарата в другой за счет разности уровня в них.

Наибольшее распространение для подачи (транспортировки) жидкостей в промышленности основного органического синтеза получили центробежные и поршневые насосы, а для перемещения газа – компрессоры и газодувки.

Для подачи жидкостей в аппараты, работающие до давления 1.0 МПа, как правило, используют центробежные насосы, а при давлениях свыше 1.0 МПа поршневые насосы.

Для подачи газов в аппараты, работающие до давления 0.01 МПа, используют вентиляторы; до давления 0.1 МПа – газодувки, и свыше давления 0.1 МПа – компрессоры.

В качестве первичных измерительных преобразователей расхода наибольшее распространение получили расходомеры (преобразователи) переменного перепада давления с сужающим устройством, работа которых основана на зависимости перепада давления, образующегося на сужающем устройстве, от расхода газа или жидкости. Расходомер состоит из сужающего устройства и дифференциального манометра, соединенного с местами измерения давления до и после сужающего устройства.

Используют также ультразвуковые расходомеры, принцип измерения расхода которых основан на зависимости скорости распространения звука в среде от направления ее движения (звуковой сигнал в направлении потока распространяется быстрее, чем против потока), а также электромагнитные расходомеры, предназначенные для измерения расхода электропроводных жидкостей.

Регулирование расхода центробежных насосов, газодувок и вентиляторов осуществляют путем изменения сечения регулирующего клапана, установленного на нагнетательном (напорном) трубопроводе (рис. 2 а, б, в).

При использовании поршневых насосов и компрессоров применение такого способа регулирования недопустимо, т.к. при работе насоса регулирующий клапан может закрыться полностью, а насос будет продолжать нагнетать жидкость или газ в пространство между насосом и клапаном, что может привести к разрыву трубопровода в данном месте.

Поэтому для регулирования расхода поршневых насосов и компрессоров используют прием переброса избытка вещества из нагнетательного (напорного) трубопровода во всасывающий (подводящий) трубопровод через обводную (байпасную) линию, а регулирование расхода осуществляют путем изменения сечения регулирующего клапана, установленного на байпасной линии (рис. 3 а, б, в). Иногда регулирование расхода осуществляют путем изменения числа оборотов двигателя насосов, газодувок и вентиляторов.

Наиболее распространенные схемы регулирования расхода центробежных и поршневых насосов, компрессоров и вентиляторов приведены на рисунках 2 и 3.

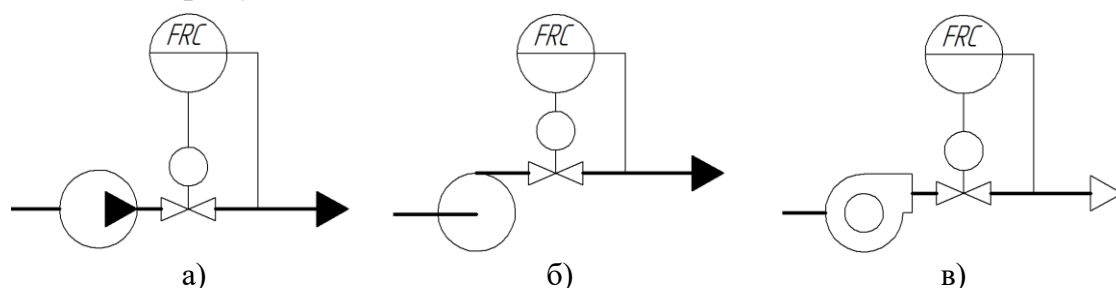


Рис.2. Регулирование расхода центробежных насосов (а, б) и вентиляторов (в)

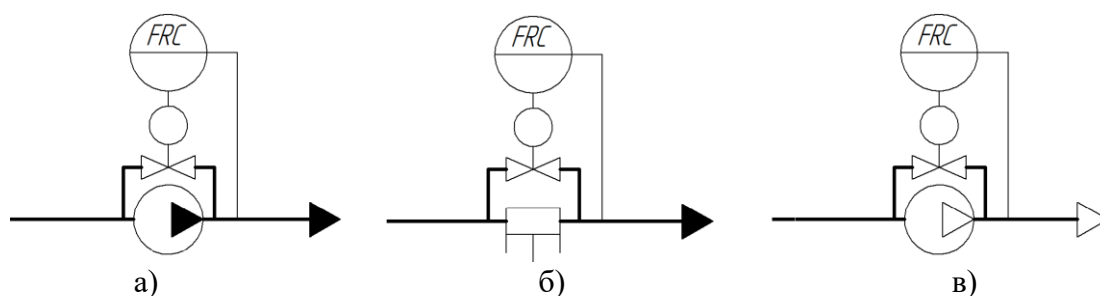


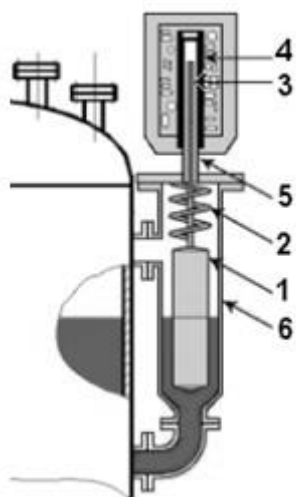
Рис.3. Регулирование расхода поршневых насосов (а, б) и компрессоров (в)

2.2.2. Регулирование уровня жидкости

Постоянство уровня в аппарате является косвенным показателем гидродинамического равновесия в аппарате, при котором приток жидкости равен стоку, а скорость изменения уровня равна нулю.

В качестве первичных измерительных преобразователей уровня используют буйковые и поплавковые уровнемеры, которые работают на основе выталкивающей силы плавающего на поверхности жидкости поплавка или частично погруженного в жидкость тела буйка.

Так, чувствительным элементом в буйковых уровнемерах является цилиндрический буюк, изготовленный из материала с плотностью большей плотности жидкости. Буюк находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. При изменении уровня в аппарате вес буйка в жидкости изменяется пропорционально изменению уровня.



Преобразование веса буйка в сигнал измерительной информации осуществляется с помощью унифицированных преобразователей «сила — давление» и «сила — ток».

Так, изменение уровня жидкости в сосуде 6, в которую погружен буюк 1, находящийся под действием корректирующей пружины 2, вызывает вертикальное перемещение сердечника 3 внутри линейно-регулируемого дифференциального трансформатора 4.

Для измерения уровня вязких, налипающих, неоднородных, выпадающих в осадок и взрывоопасных жидких сред используют акустические датчики уровня, принцип действия которых основан на локации уровня звуковыми импульсами, проходящими через газовую среду, находящуюся над контролируемой жидкостью, и явлении отражения этих импульсов от границы раздела газ — контролируемая жидкая среда.

Уровень в аппаратах (емкость, сборник, сепаратор, реактор) можно регулировать тремя способами:

- изменяя расход жидкости на выходе из аппарата;
- изменяя расход жидкости на входе в аппарат;
- изменяя соотношение расходов жидкости на входе и выходе из аппарата.

В промышленности основного органического синтеза наибольшее распространение получил способ поддержания уровня первым способом, т.е. изменяя расход жидкости на выходе из аппарата за счет изменения сечения регулирующего клапана, установленного на линии отвода жидкости.

Наиболее распространенные схемы регулирования приведены на рисунках 4 а, б, в.

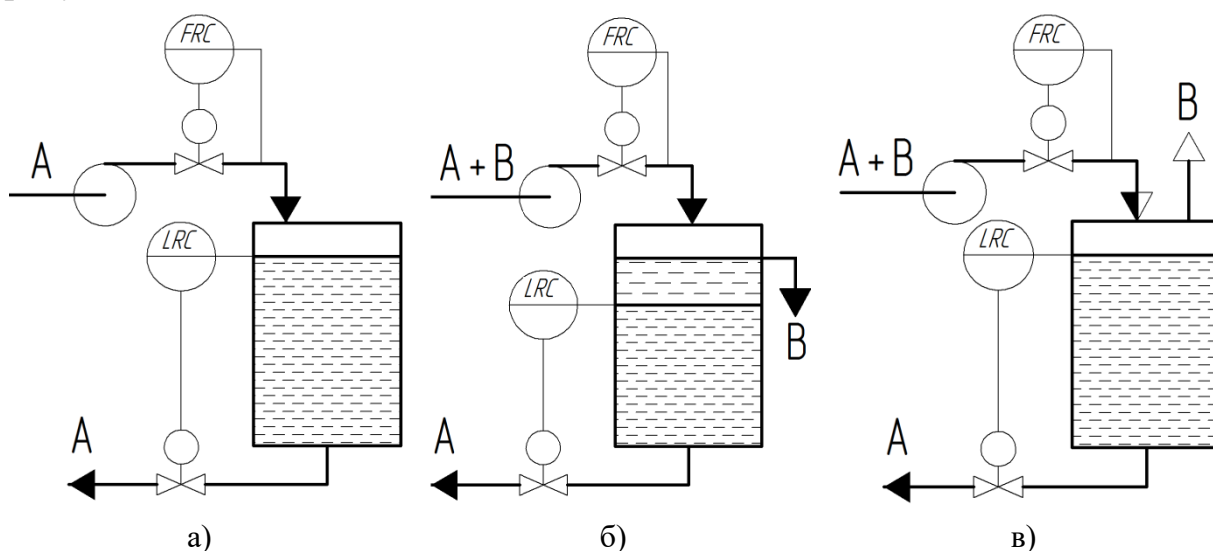


Рис. 4. Регулирование уровня в проточном аппарате (а), сепараторах Ж-Ж (б) и Г-Ж (в)

2.2.3. Регулирование давления

Проведение химико-технологических процессов при атмосферном, повышенном или пониженном давлении определяется, главным образом, химизмом процесса и/или свойствами веществ.

1. Проведение химических процессов при повышенном давлении в системе жидкость-жидкость (Ж-Ж) позволяет увеличить температуру кипения веществ и обеспечить нахождение всех компонентов смеси в жидком состоянии при повышенной температуре.

2. Проведение химических процессов при повышенном давлении в системе газ-жидкость (Г-Ж) позволяет увеличить растворимость газа в

жидком реагенте и, как следствие, увеличить скорость химической реакции и удельную производительность процесса.

3. Проведение химических процессов при повышенном давлении в системе Г-Г (все реагенты газообразные вещества) позволяет увеличить концентрации реагентов в газовом потоке и, соответственно, увеличить скорость химической реакции и удельную производительность процесса.

4. Проведение химических процессов при повышенном давлении в системе Г-Г (все реагенты газообразные вещества) используют для увеличения степени конверсии равновесных газофазных реакций, протекающих с уменьшением объема.

5. Проведение химических процессов при пониженном давлении (под вакуумом) используют для увеличения степени конверсии равновесных газофазных реакций, протекающих с увеличением объема.

6. Проведение физических процессов дистилляции при пониженном давлении (под вакуумом) позволяет снизить температуру кипения компонентов разделяемой смеси.

7. Проведение физических процессов дистилляции при повышенном давлении позволяет разделять вещества с температурой кипения ниже температуры окружающей среды.

Следует отметить, что для исключения попадания воздуха в технологический аппарат и обеспечения пожаро-взрывобезопасности, большинство химико-технологических аппаратов находятся при небольшом повышенном давлении 0.2-1 ати (например, инертного газа – азота).

В качестве первичных преобразователей давления используют пьезодатчики (датчики давления), принцип действия которых основан на упругой деформации пластинки из полупроводникового материала от давления среды. При деформации пластинки меняется ее сопротивление. Сама пластинка представляет собой одно из плеч моста сопротивления, к которому подводится постоянный ток. При изменении сопротивления одного из его элементов происходит разбаланс мостовой схемы и на выходе появляется сигнал, величина которого может быть измерена милливольтметром. Величина сигнала линейно зависит от давления.

В аппаратах проточного типа давление является показателем соотношения расходов жидкой или газовой фаз на входе в аппарат и выходе из него, а постоянство давления свидетельствует о соблюдении материального баланса жидкой или газовой фаз. Давление в этом случае создают насосами (жидкость) или компрессорами (газ), а его регулирование осуществляют за счет изменения сечения клапана, установленного на выходе жидкости или газа из данного аппарата.

Для системы газ-жидкость давление в аппарате создают компрессором, а регулируют клапаном, установленным на линии отвода газовой фазы из аппарата.

В аппаратах периодического и полупериодического действия давление можно создавать газообразным реагентом (система Г-Ж), инертным газом (система Ж-Ж) или за счет увеличения парциального давления паров жидких реагентов. Давление в этих случаях можно регулировать (поддерживать на требуемом уровне) за счет изменения сечения регулирующего клапана, установленного на выходе газообразного реагента или инертного газа из аппарата, или температуры реакционной смеси. Наиболее распространенные схемы регулирования давления на рис.5–8.

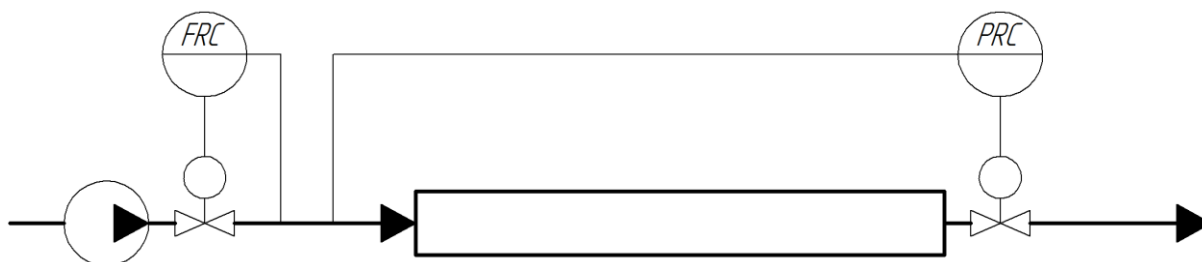


Рис.5. Регулирование давления в аппарате, создаваемым центробежным насосом.

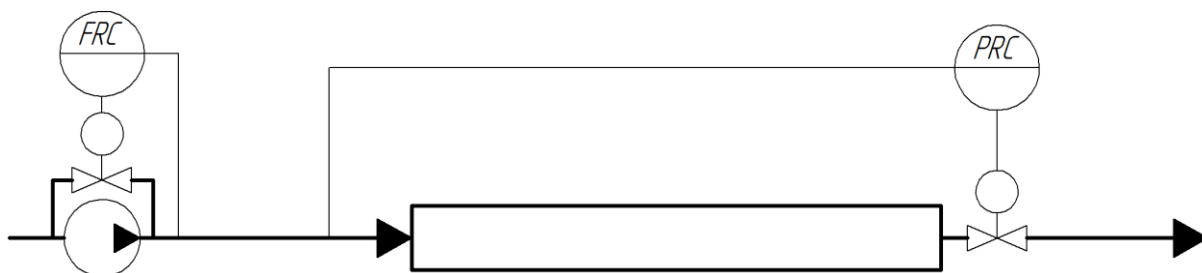


Рис.6. Регулирование давления в аппарате, создаваемым поршневым насосом.

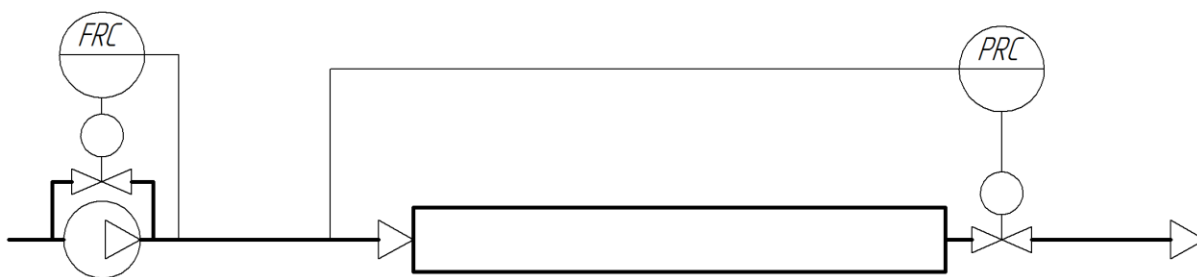


Рис.7. Регулирование давления в аппарате, создаваемым компрессором.

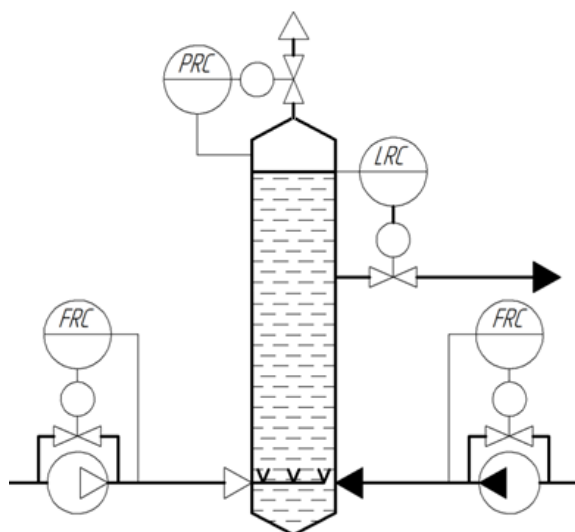


Рис.8. Регулирование давления в аппарате в системе газ – жидкость.

2.2.4. Регулирование температуры

Температура – физическая величина, характеризующая степень нагретости тел.

В качестве первичных измерительных преобразователей температуры используют термопары, термометры сопротивления и пирометры.

Динамические характеристики объектов в системах регулирования температуры зависят от физико-химических параметров процесса и конструкции аппарата. Поэтому общие рекомендации по выбору системы регулирования температуры сформулировать невозможно, для этого требуется анализ каждого конкретного процесса.

В общем виде поддержание температуры объекта на требуемом уровне заключается в изменении количества теплового потока, подводимого или отводимого от объекта регулирования. Схемы регулирования температуры для конкретных объектов будут приведены ниже.

3. СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОЦЕССОВ ОСНОВНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Технологическая схема, как правило, включает в себя три основных стадии:

- стадию подготовки веществ, используемых в технологическом процессе (исходные реагенты, катализатор, растворители, вспомогательные вещества и др.);

- реакционную стадию;

- стадию переработки продуктов реакции.

3.1. Стадия подготовки веществ

В общем виде может включать в себя следующие узлы:

- узлы нагрева, охлаждения, испарения, конденсации;

- узел очистки веществ;

- узел смешения;

- узел подготовки катализатора.

3.1.1 Узлы нагрева, охлаждения, испарения и конденсации

В общем виде регулирование температуры объекта, скорости испарения и конденсации сводится к изменению скорости подвода тепла к объекту или скорости отвода тепла от него, т.е. изменению количества тепла, передаваемого от одного потока (газ, жидкость) к другому потоку (газ, жидкость) в единицу времени.

В химической технологии основными средствами подвода или отвода тепла к объекту являются жидкие или газообразные теплоносители, при принудительном движении которых тепло отводится от объекта или передается объекту (вынужденная конвекция).

В ряде случаев подвод тепла к объекту может быть осуществлен за счет конденсации газообразного теплоносителя, а отвод тепла – за счет кипения жидкого теплоносителя. Для достижения высоких температур подвод тепла к объекту может быть осуществлен с помощью лучеиспускания (излучения) от нагретого до высокой температуры тела.

Поскольку скорость подвода или отвода тепла пропорциональна величине коэффициента теплопередачи, поверхности теплопередачи и температурному напору, регулирование температуры объекта можно

осуществлять путем изменения коэффициента теплопередачи, поверхности теплопередачи и температурного напора.

Учитывая тот факт, что поверхность теплопередачи большинства объектов регулирования – величина фиксированная (постоянная), регулирование режима работы узлов нагрева, охлаждения, испарения, конденсации сводится к изменению скорости подвода тепла к объекту или отвода тепла от него за счет изменения коэффициента теплопередачи и/или температурного напора.

3.1.1.1. Аппаратурное оформление узлов нагрева жидких и газообразных веществ и способы регулирования температуры

Для нагрева жидких или газообразных веществ могут быть использованы следующие способы и теплоносители:

- нагрев технологическим водяным паром низкого (0,2-0,3 МПа), среднего (0,3-0,9 МПа) и высокого (0,9-1,5 МПа) давления с температурой до 200°C;
- нагрев промежуточными теплоносителями с температурой до 300°C;
- нагрев в печи за счет излучения и топочными газами за счет вынужденной конвекции до 1000°C.

При нагреве первым способом технологический пар конденсируется, образуя водный конденсат, при этом выделяется тепло, равное теплоте его конденсации (~2000 кДж/кг).

Нагрев веществ может быть осуществлен «острым» паром, путем ввода технологического пара в объем нагреваемого вещества, или «глухим» паром – нагрев через стенку.

Нагрев «острым» паром обычно используют для нагрева жидкостей и водных растворов солей. В этом случае исключается возможность отложения солей на поверхности теплообмена из-за отсутствия последней, но при этом происходит разбавление нагреваемых веществ образующимся водным конденсатом. Обязательным условием использования данного способа является отсутствие взаимодействия воды с нагреваемыми веществами.

В тех случаях, когда нагреваемая жидкость может реагировать с водой, нагрев жидких и газообразных веществ осуществляют «глухим»

паром через стенку, разделяющую паровое пространство и нагреваемую среду, например, в различных типах теплообменников (кожухотрубных, типа «труба в трубе» и др.).

При нагреве через стенку для исключения потерь тепла с несконденсировавшимся водяным паром на выходе потока пара из теплообменного оборудования устанавливают так называемый конденсатоотводчик, который выполняет роль гидрозатвора, препятствующего проскоку пара.

На рисунке 9 а, б изображены поплавковый (а) и сильфонный (б) конденсатоотводчики, а также их условное отображение (в) на технологических схемах по правилам ЕСКД.

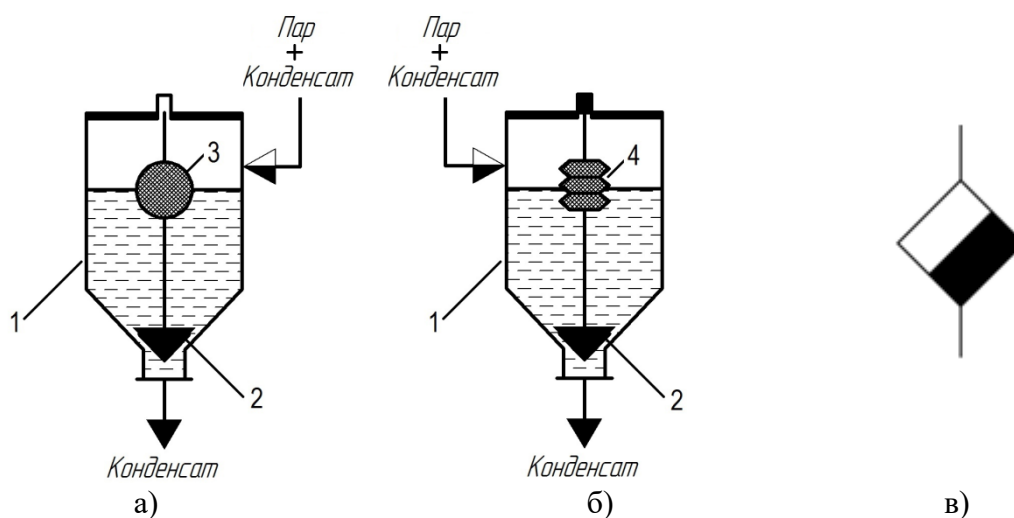


Рис.9. Поплавковый (а) и сильфонный (б) конденсатоотводчики, а также их условное отображение (в) на технологических схемах по правилам ЕСКД. 1 – корпус; 2 – клапан; 3 – поплавок; 4 – сильфон.

Основные способы нагрева потоков жидких и газообразных веществ технологическим «глухим» паром в теплообменниках представлены на рис. 10 и 11. В них регулирование температуры нагреваемого потока газа и жидкости осуществляют путем изменения количества технологического пара, подаваемого в межтрубное или трубное пространство теплообменников (рис.10) или давления технологического пара в межтрубном или трубном пространстве теплообменников (рис.11). Все это достигается изменением сечения клапана, установленного на трубопроводе (линии) подачи пара. При этом скорость подвода тепла в обоих случаях регулируют за счет изменения температурного напора, меняя давление и,

как следствие, температуру конденсации пара в межтрубном или трубном пространстве теплообменников.

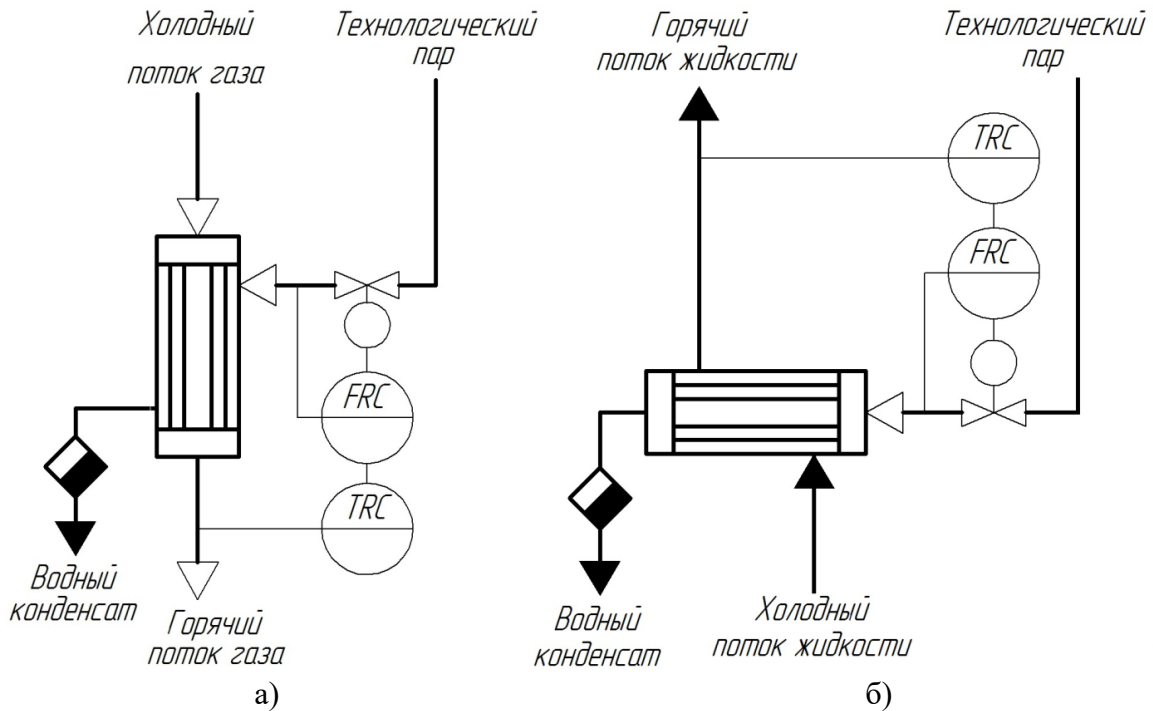


Рис.10. Аппаратурное оформление узла нагрева потоков газа (а) и жидкости (б). Регулирование температуры потоков газа и жидкости за счет изменения количества технологического пара, подаваемого в межтрубное (а) и трубное (б) пространство кожухотрубных теплообменников.

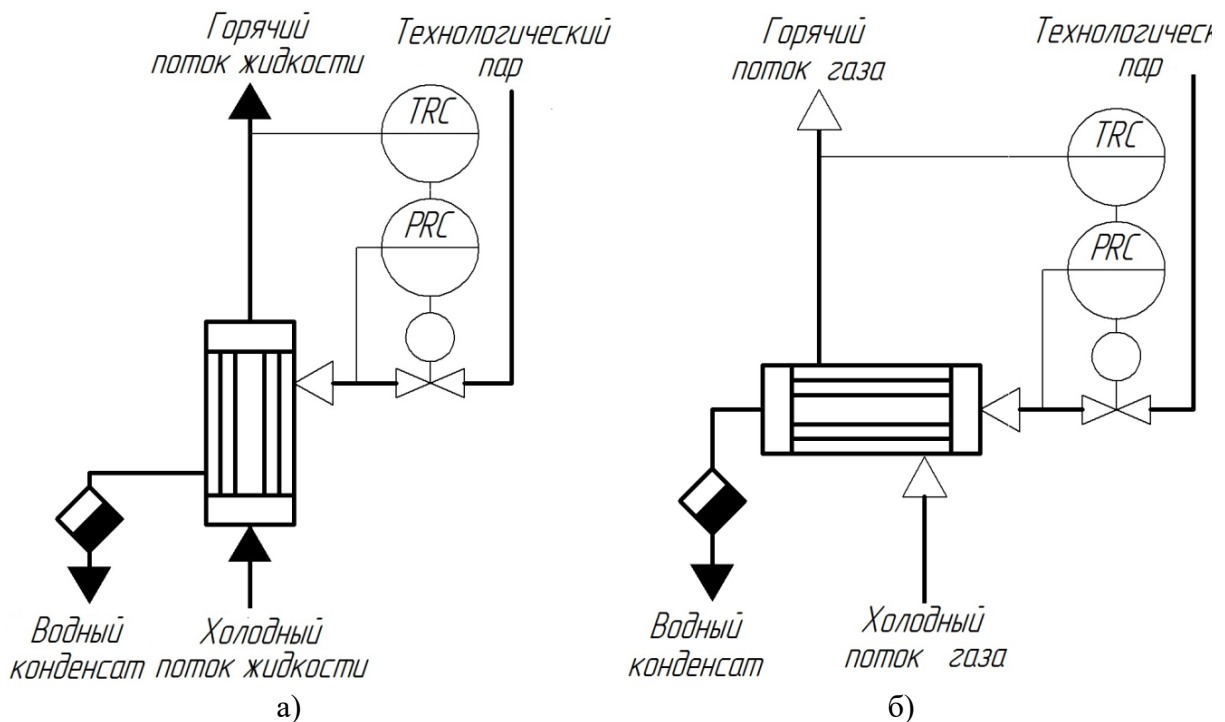


Рис.11. Аппаратурное оформление узла нагрева потоков жидкости (а) и газа (б). Регулирование температуры потоков жидкости и газа за счет изменения давления пара в межтрубном (а) и трубном (б) пространстве кожухотрубных теплообменников.

На рис.12 приведено аппаратное оформление узла нагрева жидкости «острым» паром и способ регулирования температуры нагреваемого вещества, путем изменения количества пара, подаваемого в аппарат с нагреваемым веществом (за счет изменения сечения клапана, установленного на трубопроводе подачи пара в аппарат).

Нагрев веществ до температуры 1000°C в промышленности основного органического синтеза, как правило, осуществляют в промышленных трубчатых печах, имеющих радиантную камеру, где тепло к нагреваемому потоку передается за счет излучения от горелки, и конвективную камеру, в которой тепло передается за счет конвекции. Регулирование температуры нагреваемого потока осуществляют за счет изменения количества сжигаемого топлива в печи. Для поддержания оптимального режима сгорания топлива количество подаваемого в горелку воздуха регулируют регулятором соотношения топливо/воздух (FFRC).

Аппаратное оформление узла нагрева в печи и способ регулирования температуры приведены на рис.13.

Основным недостатком нагрева в печи является возможность перегрева веществ из-за неравномерности нагрева.

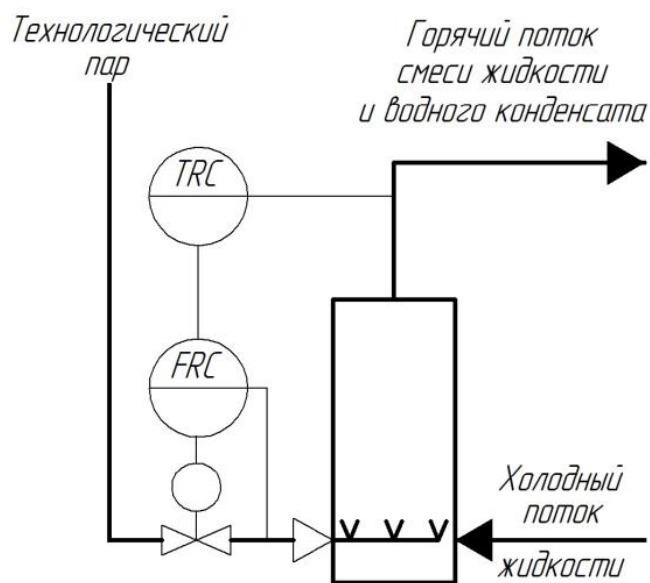


Рис.12. Аппаратное оформление узла нагрева потока жидкости «острым» паром и способ регулирования температуры.

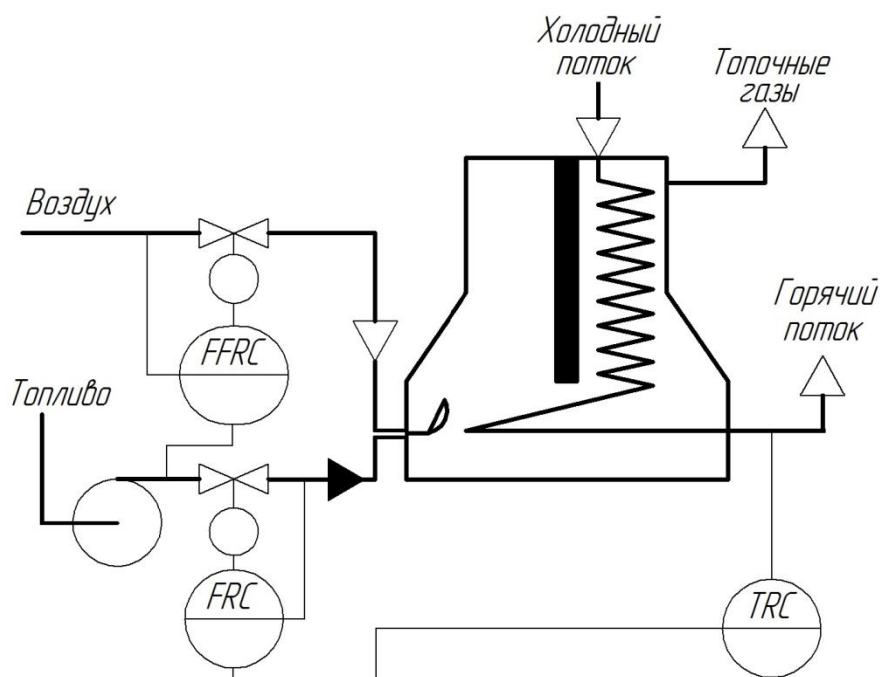


Рис.13. Аппаратурное оформление узла нагрева потока газа в трубчатой печи и способ регулирования температуры.

В тех случаях, когда при нагревании веществ до высоких температур недопустим даже кратковременный перегрев, используют так называемые «промежуточные» теплоносители. Данные жидкие теплоносители сначала нагревают в трубчатых печах, электропечах или в теплообменниках до требуемой температуры (обычно до 160-400°C), после чего нагретый теплоноситель направляют на подогрев веществ.

В качестве промежуточных теплоносителей используют:

- воду (водный конденсат) при нормальном и повышенном давлении (до 1.0-2.0МПа);
- высококипящие органические теплоносители ВОТ (минеральное масло до 300°C; даутерм и силиконы до 400°C);
- высококипящие неорганические теплоносители ВНТ (расплавы неорганических солей до 550°C).

При использовании промежуточных теплоносителей система регулирования температуры зависит от агрегатного состояния нагреваемого вещества.

Так, для нагрева потока жидких веществ температуру нагреваемого потока, как правило, регулируют путем изменения скорости подачи

теплоносителя в кожух теплообменника. При изменении скорости подачи теплоносителя, меняется коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя и, как следствие, общий коэффициент теплопередачи. Все это приводит к изменению температуры нагреваемого потока жидкости.

Для регулирования температуры потока газообразных веществ такой способ неэффективен, т.к. из-за низких коэффициентов теплоотдачи со стороны газовой фазы изменение коэффициента теплоотдачи со стороны жидкого теплоносителя незначительно повлияет на общий коэффициент теплопередачи. Поэтому регулирование температуры нагреваемого газового потока заключается в изменении температурного напора за счет изменения температуры теплоносителя.

На рис.14 приведены аппаратное оформление узла нагрева потока жидкости промежуточным теплоносителем в кожухотрубном теплообменнике и способ регулирования температуры нагретого потока за счет изменения скорости подачи теплоносителя в кожух теплообменника (путем изменения сечения клапана, установленного на линии подачи промежуточного теплоносителя). Температура промежуточного теплоносителя, подаваемого в кожух теплообменника, при этом является постоянной величиной.

Выходящий из кожуха охлажденный промежуточный теплоноситель подогревается в электропечи до заданной температуры, например, за счет изменения питающего напряжения на обмотке электропечи, и возвращается в промежуточную емкость. Отсюда он вновь поступает в кожух теплообменника.

На рис.15 и 16 приведено аппаратное оформление узла нагрева потоков газа промежуточным теплоносителем в кожухотрубном теплообменнике и способ регулирования температуры нагретого потока за счет изменения температуры теплоносителя, подаваемого в кожух теплообменника. Скорость подачи промежуточного теплоносителя в кожух теплообменника при этом является постоянной величиной.

В первом случае (рис.15) необходимую температуру теплоносителя поддерживают (регулируют) на заданном уровне, например, за счет изменения питающего напряжения на обмотке электропечи.

Во втором случае (рис.16) необходимую температуру теплоносителя поддерживают (регулируют) на заданном уровне, например, за счет изменения количества сжигаемого топлива в трубчатой печи.

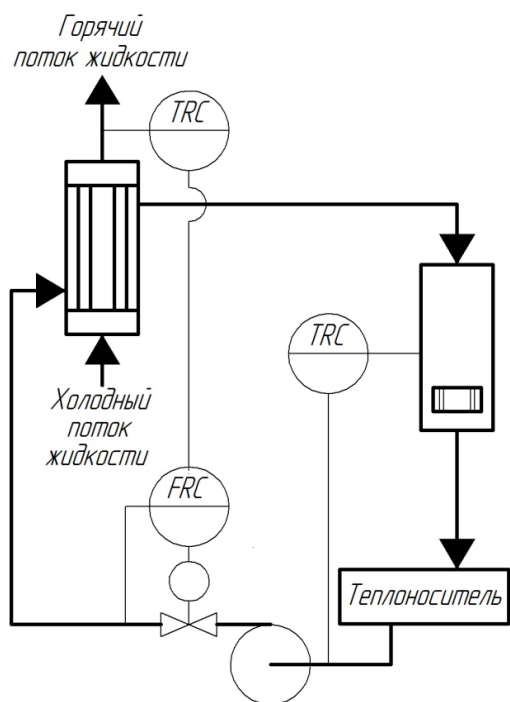


Рис.14. Аппаратурное оформление узла нагрева потока жидкости промежуточным теплоносителем в кожухотрубном теплообменнике и способ регулирования температуры.

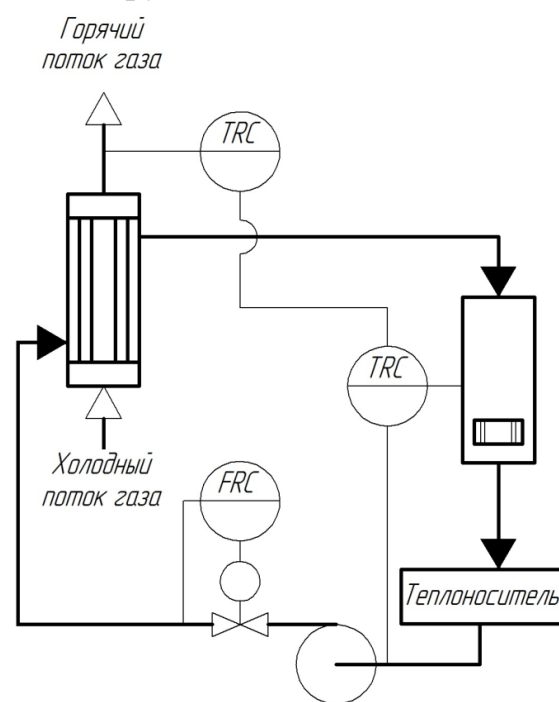


Рис.15. Аппаратурное оформление узла нагрева потока газа промежуточным теплоносителем в кожухотрубном теплообменнике и способ регулирования температуры.

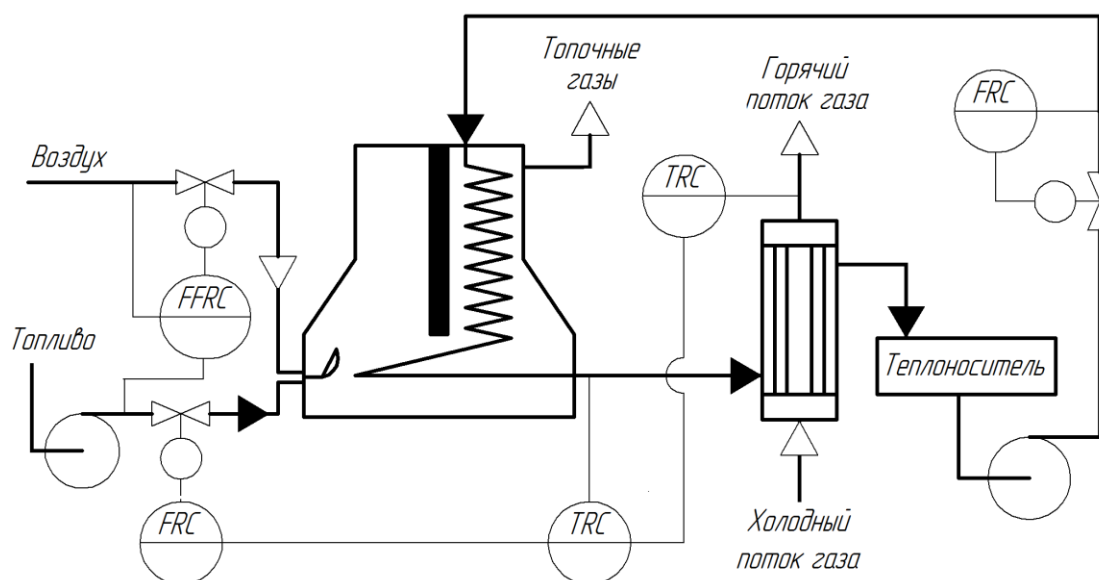


Рис.16. Аппаратурное оформление узла нагрева потока газа промежуточным теплоносителем в кожухотрубном теплообменнике и способ регулирования температуры.

3.1.1.2. Аппаратурное оформление узлов охлаждения жидких и газообразных веществ и способы регулирования температуры

Для охлаждения потоков газов и жидкостей обычно используют так называемую оборотную воду с температурой окружающей среды (от 5 до 30°C) и низким содержанием взвешенных частиц и солей. Обратную воду стремятся максимально использовать, поэтому нагретые потоки «отработанной» оборотной воды после теплообменников не сбрасывают в канализацию, а направляют на охлаждение в градирни, в которых её охлаждают до температуры окружающей среды за счет её частичного испарения, и возвращают в процесс. Потери воды в процессе её испарения в градирнях компенсируют подачей свежей оборотной воды. Кроме того, чтобы снизить её потери, рекомендуется обеспечивать такой режим, при котором температура нагретой «отработанной» воды, выходящая из теплообменника, не превышала бы 40-50°C.

Следует отметить, что из-за возможной температурной деформации труб и кожуха оборотную воду, как правило, используют для охлаждения горячих потоков газов и жидкостей, температура которых не превышает 150-160°C. На рисунке 17 приведено аппаратное оформление узлов охлаждения потоков газа (а) и жидкости (б) оборотной водой в кожухотрубном теплообменнике, а также способ регулирования температуры охлаждаемых потоков.

В тех случаях, когда температура охлаждаемых потоков газа и жидкости превышает 150-160°C, их охлаждение может быть осуществлено за счет кипения теплоносителя – водного конденсата под давлением или при использовании ранее упомянутых промежуточных теплоносителей (водный конденсат под давлением, высококипящие органические и неорганические теплоносители), нагретых до определенной температуры.

В первом случае в процессе теплосъема получается пар, который может быть использован в качестве теплоагента (после соответствующей обработки). Во втором случае перегретые промежуточные теплоносители охлаждают и возвращают в цикл.

В качестве аппаратов для охлаждения потоков газа или жидкости кипящим водным конденсатом используют испарители с паровым

пространством (котлы-утилизаторы), в трубное пространство которых подают поток охлаждаемой жидкости или газа, а в межтрубном пространстве происходит кипение водного конденсата с образованием пара.

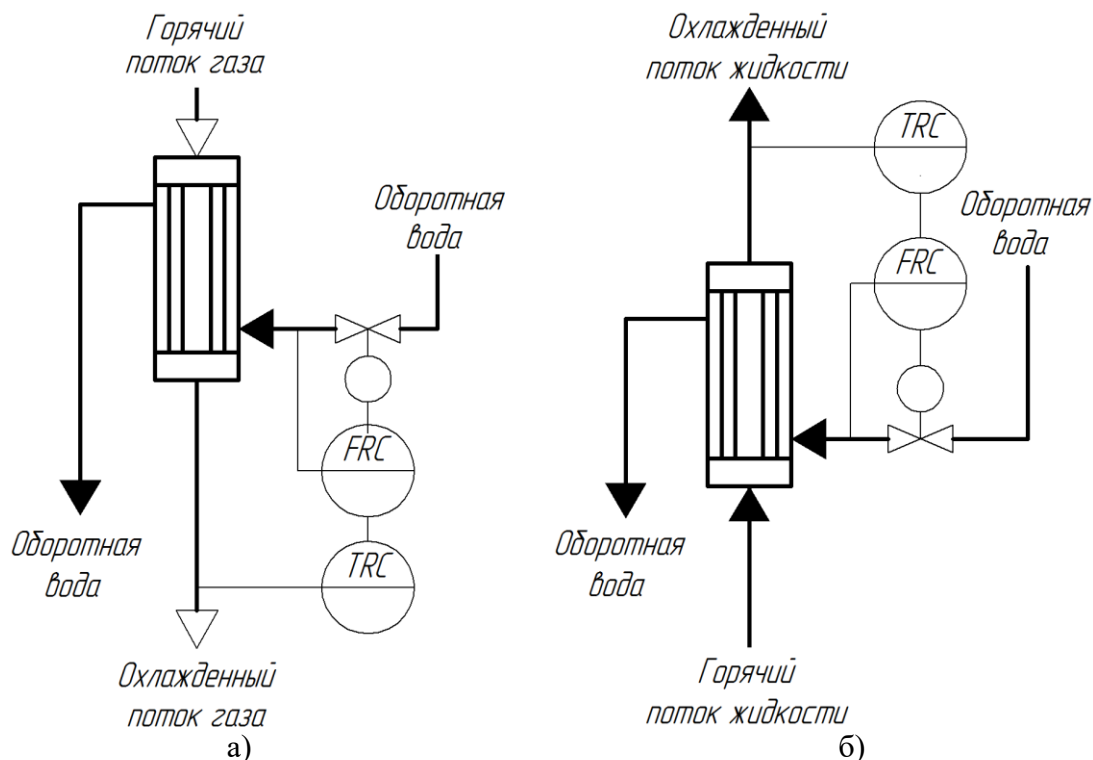


Рис.17. Аппаратурное оформление узлов охлаждения потоков газа (а) и жидкости (б) оборотной водой в кожухотрубном теплообменнике, а также способ регулирования температуры охлаждаемых потоков.

Для компенсации потери испаренного водного конденсата в межтрубное пространство котла-утилизатора непрерывно, по уровню, подают свежий водный конденсат.

Температуру охлаждаемого потока жидкости или газа на выходе из трубного пространства котла-утилизатора регулируют за счет изменения температурного напора, меняя температуру кипения водного конденсата, которая в свою очередь непосредственно связана с давлением в паровом пространстве котла-утилизатора. Данное давление регулируют путем изменения сечения клапана, установленного на линии отвода пара из межтрубного пространства котла-утилизатора. Аппаратурное оформление узла охлаждения горячих потоков жидкости (а) и газа (б) кипящим водным конденсатом под давлением и способы регулирования температуры охлаждаемых потоков приведены на рис. 18.

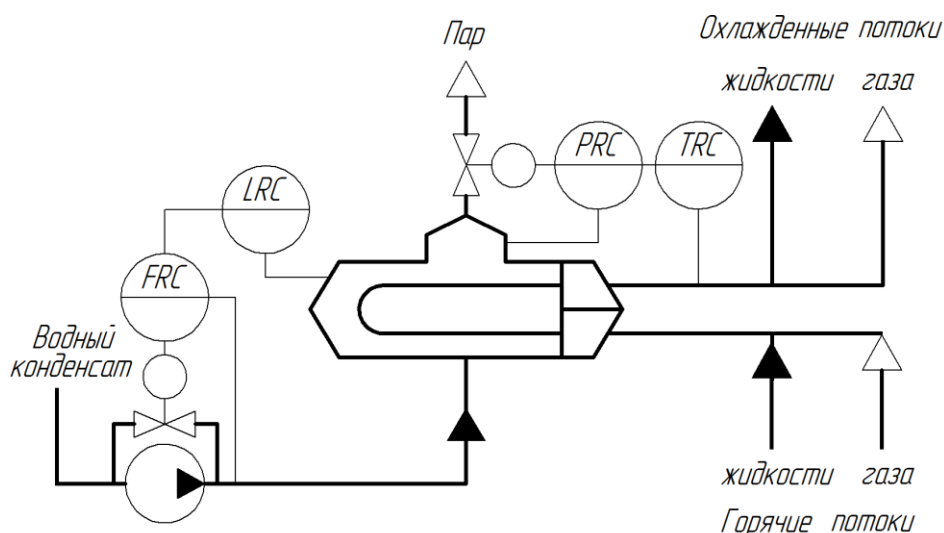


Рис.18. Аппаратурное оформление узла охлаждения горячих потоков жидкости или газа кипящим водным конденсатом под давлением, и способ регулирования температуры охлаждаемых потоков.

Для охлаждения горячих потоков жидких веществ промежуточными теплоносителями (ВОТ, ВНТ) температуру охлажденного потока жидкости регулируют путем изменения скорости подачи теплоносителя в кожух теплообменника. На рис.19 представлено аппаратурное оформление узла охлаждения горячего потока жидкости промежуточным теплоносителем (ВОТ) и способ регулирования температуры.

Для регулирования температуры охлаждаемых потоков газообразных веществ такой способ неэффективен (см. способы нагрева газообразных потоков). Поэтому регулирование температуры охлаждаемого газового потока осуществляют за счет изменения температурного напора, меняя температуру теплоносителя. На рис.20 представлено аппаратурное оформление узла охлаждения горячего потока газа промежуточным теплоносителем (ВОТ) и способ регулирования температуры.

В обоих представленных на рис.19 и 20 вариантах выходящий из кожуха теплообменника нагретый промежуточный теплоноситель охлаждается до заданной температуры в испарителе с паровым пространством и возвращается в емкость, из которой вновь поступает в кожух теплообменника.

При использовании в качестве промежуточного теплоносителя водного конденсата под давлением (вынужденная конвекция), принципы

регулирования охлаждаемых потоков жидкости и газа аналогичны описанным выше для ВОТ и ВНТ.

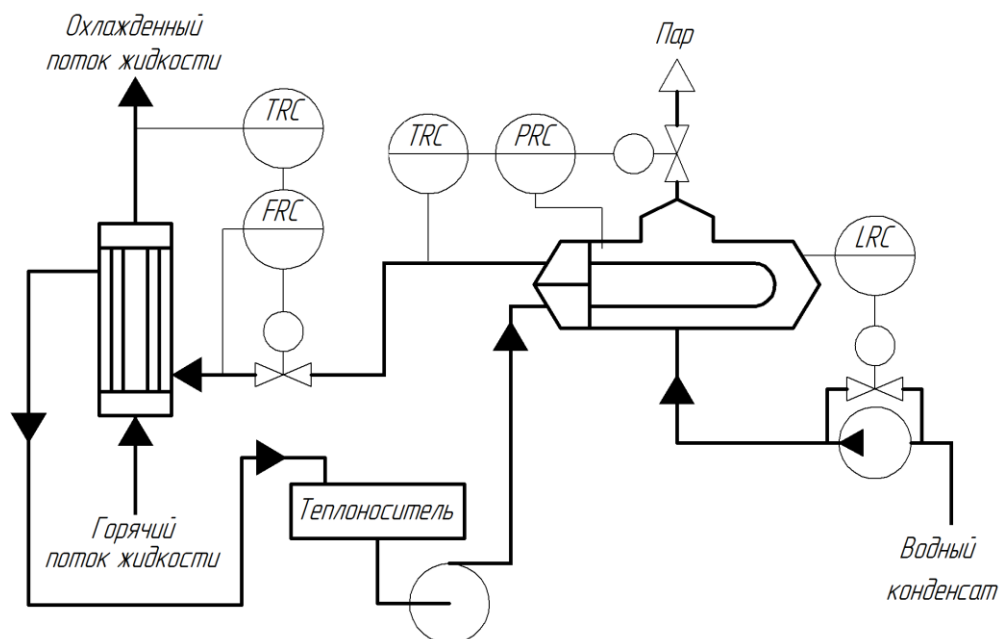


Рис.19. Аппаратурное оформление узла охлаждения горячего потока жидкости промежуточным теплоносителем (ВОТ) и способ регулирования температуры.

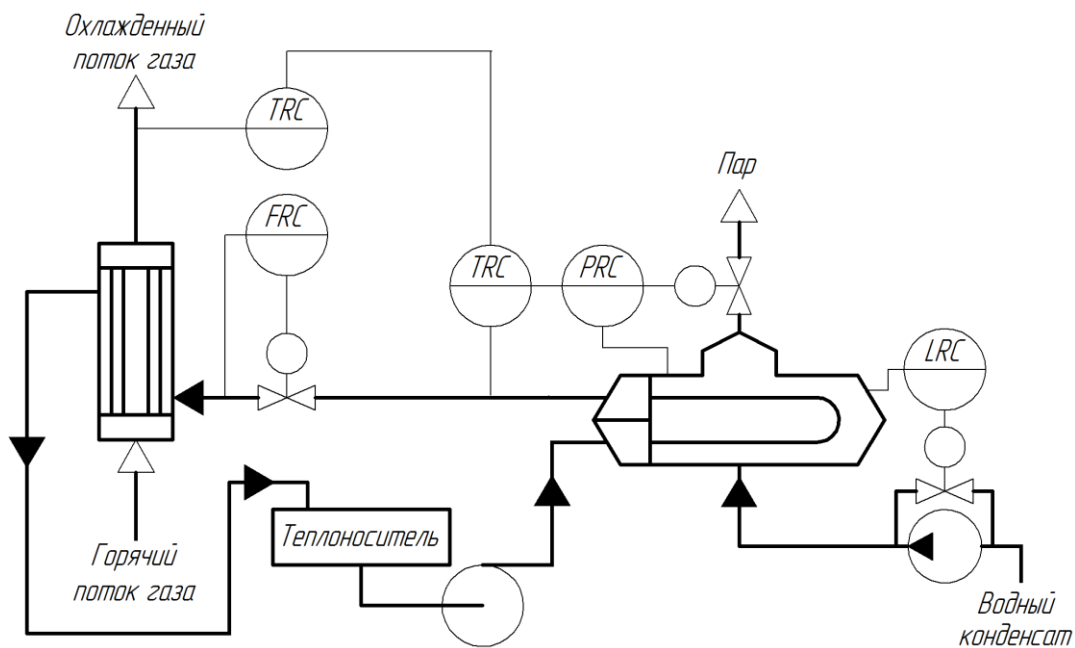


Рис.20. Аппаратурное оформление узла охлаждения горячего потока газа промежуточным теплоносителем (ВНТ) и способ регулирования температуры.

Однако регенерация (охлаждение до заданной температуры) нагретого промежуточного теплоносителя отличается. Она заключается в частичном сбросе давления в промежуточном сепараторе до значения,

обеспечивающего охлаждение водного конденсата до заданной температуры. На рис.21 и 22 представлено аппаратное оформление узлов охлаждения горячих потоков жидкости и газа промежуточным теплоносителем – водным конденсатом под давлением и способ регулирования температуры.

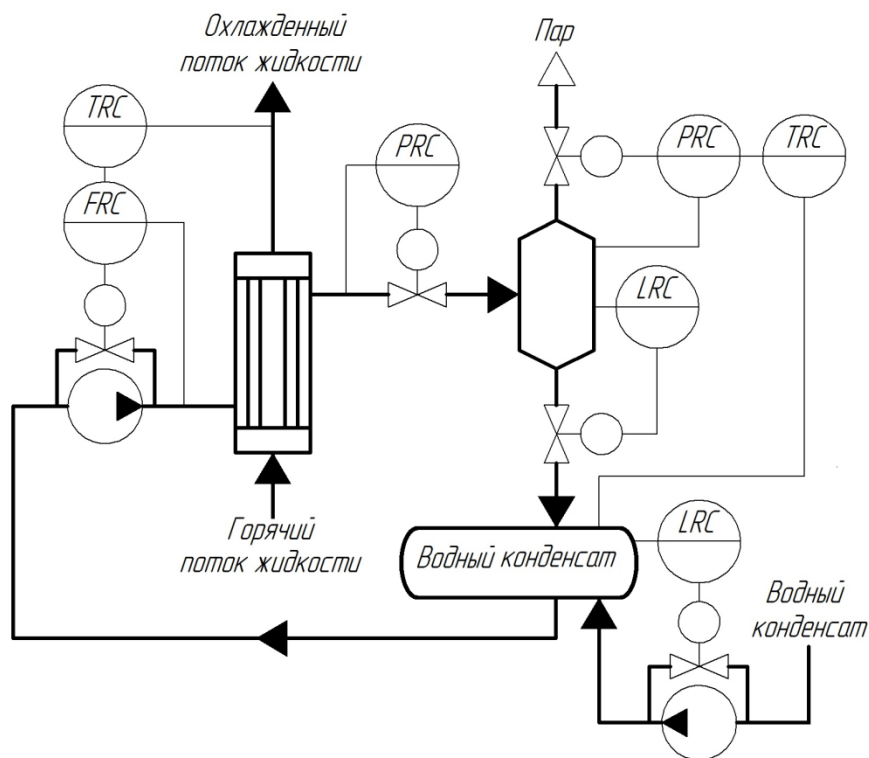


Рис.21. Аппаратурное оформление узла охлаждения горячего потока жидкости промежуточным теплоносителем – водным конденсатом под давлением и способ регулирования температуры.

Немаловажным по значимости теплоагентом, используемым для охлаждения потоков газа и жидкостей, является воздух. По сравнению с водой воздух более доступен и, несмотря на то, что он обладает значительно меньшими значениями коэффициентов теплоотдачи и теплоемкостью, в химической технологии его достаточно часто используют в качестве охлаждающего агента. Кроме того, воздух не загрязняет поверхность теплоотдачи отложениями, что положительно сказывается на сроке службы воздушных холодильников.

На рис. 23 представлено аппаратное оформление узлов охлаждения горячих потоков жидкости и газа воздухом и способ регулирования температуры.

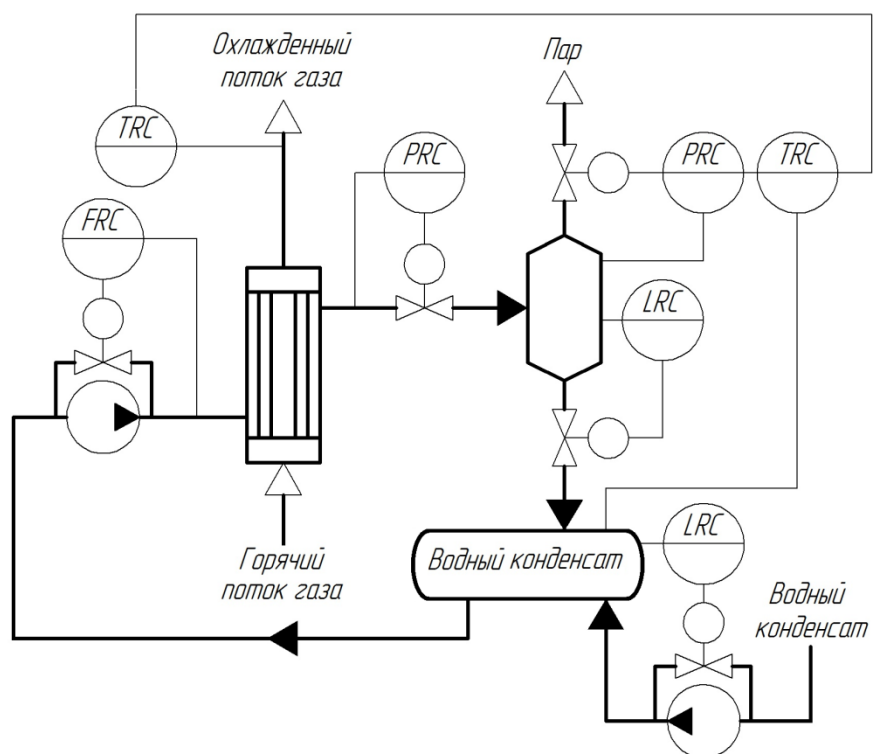


Рис.22. Аппаратурное оформление узла охлаждения горячего потока газа промежуточным теплоносителем – водным конденсатом под давлением и способ регулирования температуры.

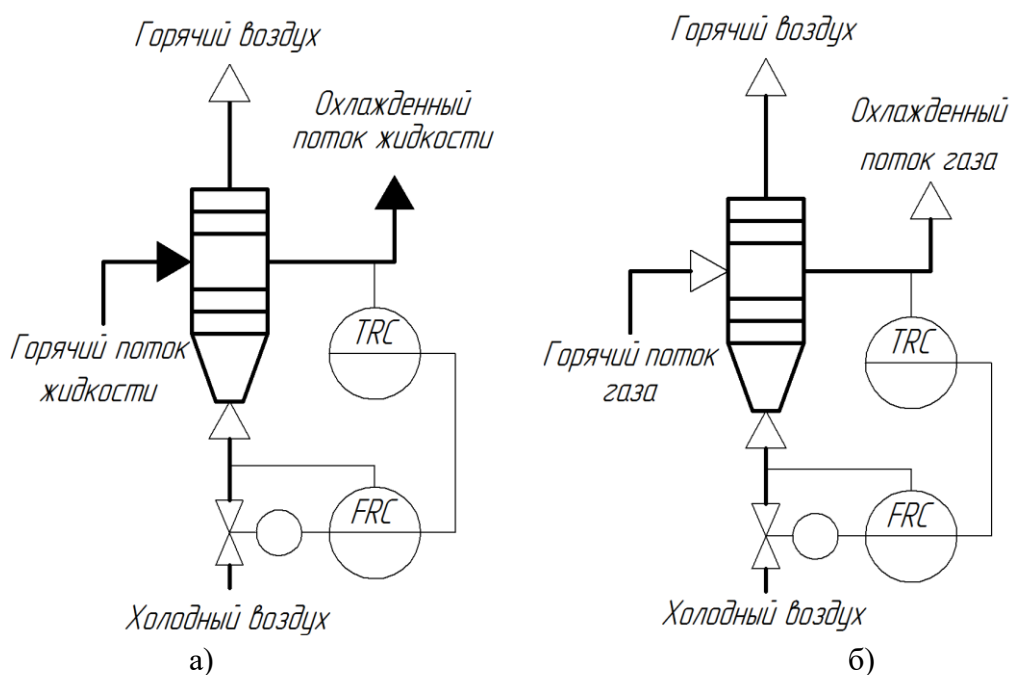


Рис.23. Аппаратурное оформление узлов охлаждения горячих потоков жидкости (а) и газа (б) воздухом и способ регулирования температуры.

В меньшей степени для охлаждения веществ до температуры, недостижимой при охлаждении обратной водой (т.е. температуры ниже

температуры окружающей среды), а также для перевода газообразных при нормальных условиях веществ в жидкие (т.е. для их конденсации), используют низкотемпературные теплоносители (рассолы, антифризы и др.).

Для получения низких температур ($-5 \div -20^{\circ}\text{C}$) используют холодильные установки, а сам низкотемпературный теплоноситель размещают в отдельных теплоизолированных емкостях, откуда его подают насосами в теплообменники и другие аппараты. Аппаратурное оформление узлов охлаждения потоков газов и жидкостей низкотемпературными теплоносителями и способы регулирования температуры охлаждаемых потоков аналогичны способам охлаждения промежуточными теплоносителями.

3.1.1.3 Аппаратурное оформление узлов испарения и способы регулирования режима их работы в непрерывном режиме

В общем виде процесс испарения можно рассматривать как переход вещества из жидкого состояния в газообразное (парообразное), которое наблюдается при любой температуре жидкости. Для химической технологии наибольший интерес представляет собой процесс перехода жидкости в пар при температуре, при которой давление насыщенного пара равно (или больше) величины внешнего давления, т.е. при температуре кипения. В этом случае переход жидкого вещества в пар происходит во всем объеме жидкости с образованием пузырьков пара.

На рис.24 представлено аппаратурное оформление непрерывно действующего узла испарения потока жидкости в испарителе с паровым пространством. Основным условием стабильной работы узла является выполнение условий:

- массовая скорость подачи жидкого потока испаряемого вещества в межтрубное пространство испарителя должна быть равна массовой скорости отвода парообразной испаренной жидкости из парового пространства испарителя;

- трубки испарителя должны быть полностью погружены в жидкое испаряемое вещество.

Тогда система регулирования испарителя сводится к поддержанию постоянного уровня в паровом пространстве, что обеспечивается изменением (корректировкой) количества технологического пара, подаваемого в трубное пространство испарителя.

Изображенный на рис.24 вариант аппаратного оформления узла испарения позволяет также регулировать температуру испаренного вещества за счет изменения температуры кипения испаряемой жидкости, меняя сечение клапана, установленного на линии отвода испаренного вещества (т.е. меняя давление в зоне испарения).

На рисунке 25 представлен вариант аппаратного оформления узла испарения при использовании других теплоагентов (ВОТ, ВНТ, топочных газов и др.). Принцип регулирования уровня и температуры узла такой же, как и при варианте с использованием технологического пара.

На рис.26 и 27 представлены варианты аппаратного оформления узлов испарения жидких веществ, применяемых в процессах выпарки, перегонки и ректификации. Задача регулирования заключается в поддержании постоянного уровня жидкости в зоне испарения (куб выпарного аппарата, ректификационной колонны и т.п.).

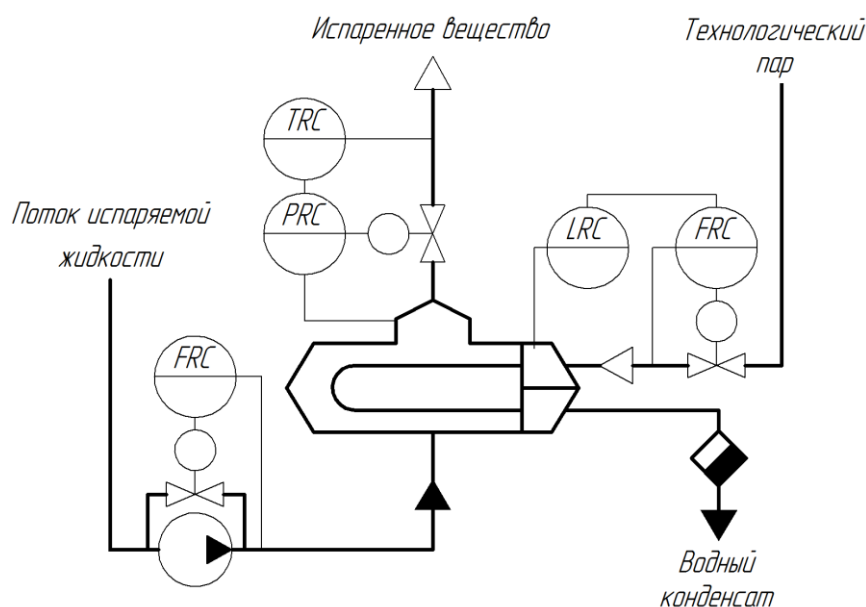


Рис.24. Аппаратное оформление узла испарения жидкости в испарителе с паровым пространством (теплоагент – технологический пар).

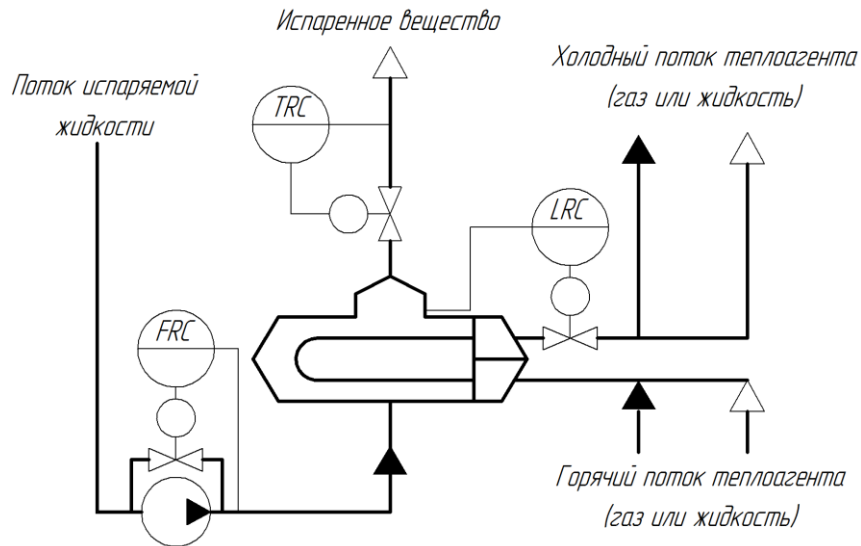


Рис.25. Аппаратурное оформление узла испарения жидкости в испарителе с паровым пространством (теплоагент – ВОТ, топочные газы и др.).

В первом случае (рис.26) это достигается изменением количества жидкости, прокачиваемой насосом через выносной теплообменник, обогреваемый технологическим паром, где она под давлением нагревается до заданной температуры, а потом дросселируется в зону испарения. Во втором случае (рис.27) это достигается изменением количества пара, подаваемого во встроенный в куб колонны теплообменник.

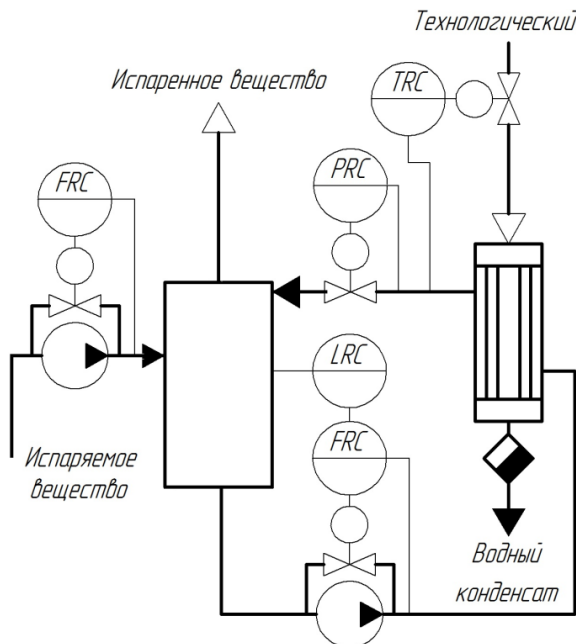


Рис. 26. Аппаратурное оформление узла испарения жидкости с нагревом в выносном контуре и схема регулирования уровня.

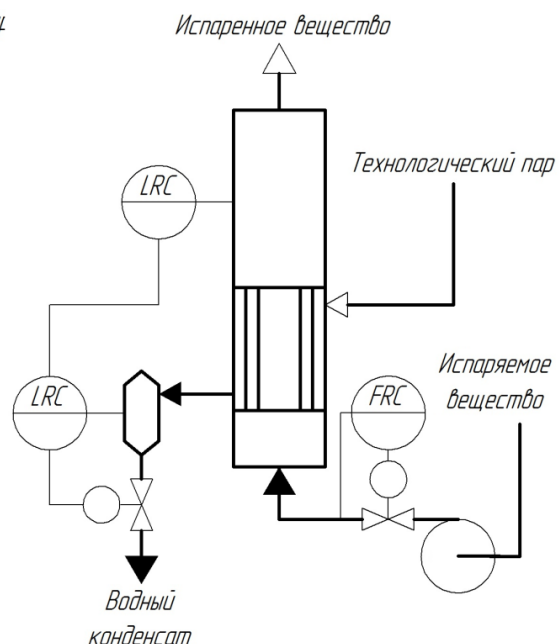


Рис.27. Аппаратурное оформление узла испарения жидкости во встроенном теплообменнике и схема регулирования уровня.

На рис. 28 и 29 представлены варианты аппаратного оформления узлов испарения жидкости перегретым потоком газообразного вещества в и схема регулирования уровня за счет изменения температуры газа.

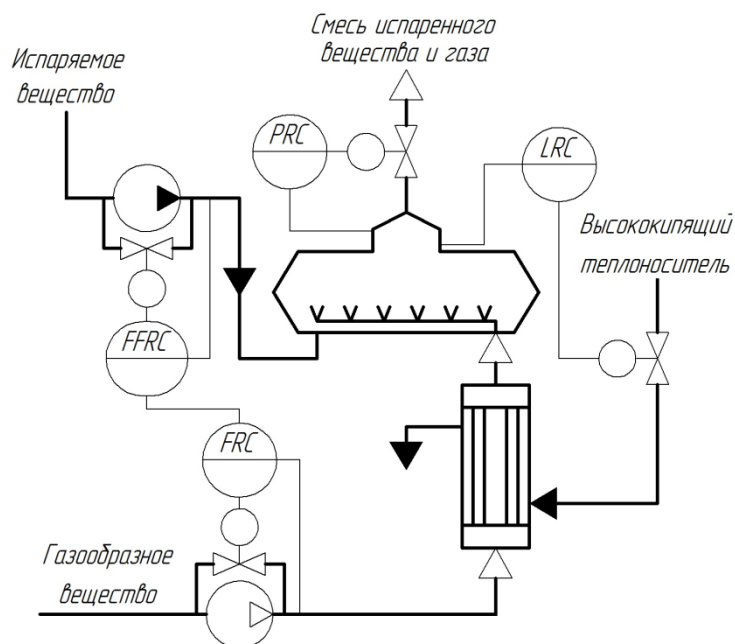


Рис.28. Аппаратурное оформление узла испарения жидкости перегретым потоком газообразного вещества и схема регулирования уровня испаряемой жидкости (теплоагент – ВОТ).

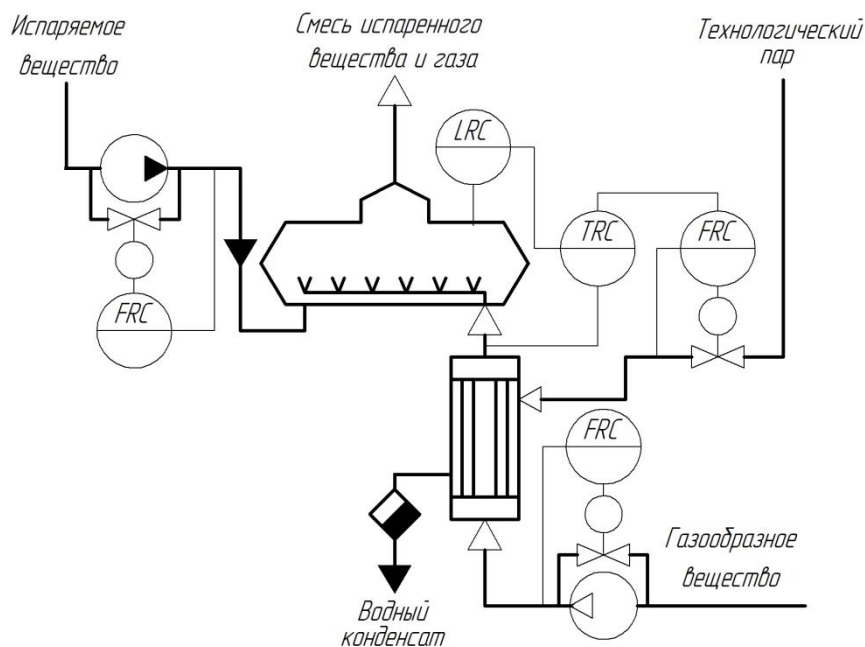


Рис.29. Аппаратурное оформление узла испарения жидкости перегретым потоком газообразного вещества и схема регулирования уровня испаряемой жидкости (теплоагент – технологический пар).

Данные варианты испарения жидких веществ позволяют совместить стадию перевода жидкого компонента в газообразное состояние со стадией его смешения с газообразным компонентом. Однако они эффективны только при использовании большого массового избытка газообразного компонента по отношению к испаряемому жидкому компоненту.

3.1.2 Узлы очистки веществ от примесей и способы регулирования режима их работы в непрерывном режиме

Назначение узла: удаление присутствующих в очищаемых веществах примесей, которые:

а) отравляют катализатор и/или снижают его активность.

Примеры таких примесей:

- вода (дезактивирует катализаторы, например, кислоты Льюиса – комплекс Густавсона, $ZnCl_2$, BF_3 , используемые в качестве катализаторов в процессе алкилирования, и др.);
- кислотные примеси (дезактивирует нуклеофильные каталитические системы);
- сероводород, соединения серы, аммиак и т.п. (дезактивируют активные центры ряда гетерогенных катализаторов - Pt, Pd, Ni и др.);

б) снижают селективность целевой реакции.

Примеры таких примесей:

- вода (наличие воды в исходных спиртах приводит к снижению селективности процесса оксиалкилирования спиртов за счет протекания побочной реакции гидратации оксида с образованием гликолей);

в) затрудняют выделение целевых продуктов из реакционной смеси.

Примеры таких примесей:

- соединения, имеющие температуру кипения равную или близкую к температуре кипения целевых продуктов или образующие азеотропные смеси с целевыми продуктами;
- соединения, которые в процессе выделения могут взаимодействовать с продуктами реакции или катализировать процессы разложения продуктов реакции;

г) увеличивающих пожаро-взрывоопасность процесса;

Примеры таких примесей:

- соединения, образующие пожаро-взрывоопасные смеси с исходными веществами и продуктами (главным образом, кислород).

В тех случаях, когда такие примеси отсутствуют в исходных веществах, узла очистки на технологической схеме нет.

Основные способы удаления примесей

Из жидких исходных реагентов:

- отдувка (продувка) инертным газом при повышенной температуре и/или пониженном давлении. Применяется для удаления легколетучих примесей (с $t_{\text{кип}} < 100^\circ\text{C}$) от высококипящих веществ с $t_{\text{кип}} > 160\text{-}200^\circ\text{C}$. Пример: осушка высших жирных спиртов (удаление воды). Данный метод используют для удаления примесей, когда их количество невелико;
- перегонка (простая, азеотропная, экстрактивная). Применяют, когда температура кипения примеси (примесей) отличается от температуры кипения основного вещества более чем на 80°C ($\Delta t_{\text{кип}} = 80^\circ\text{C}$);
- ректификация (простая, азеотропная, экстрактивная). Применяют для удаления примесей, у которых температура кипения близка к температуре кипения основного вещества ($\Delta t_{\text{кип}} < 80^\circ\text{C}$);
- нейтрализация (для удаления примеси кислот);
- гидроочистка (гидрирование непредельных соединений на гетерогенных катализаторах). Используется для удаления непредельных примесей.

Из газообразных исходных реагентов:

- поглощение примесей жидким поглотителем (абсорбционная очистка).

Пример: поглощение газообразного HCl водой в скруббере;

- поглощение примесей поверхностью твердых тел (адсорбционная очистка).

Пример: поглощение паров воды с использованием цеолитов;

- поглощение примесей веществом (жидким или твердым), основанное на химическом взаимодействии (хемосорбционная очистка);

Пример: поглощение хлористого водорода водным раствором NaOH или Na₂CO₃;

- перевод примесей, трудно удаляемых первыми тремя методами, в другие соединения, которые могут быть удалены этими методами (гидроочистка, окислительная очистка).

Как правило, очистку газов обычно осуществляют с использованием комбинаций вышеуказанных методов, например, гидроочистка – абсорбция – хемосорбция; окислительная очистка – адсорбция и т.п. Выбор того или иного способа очистки или их комбинаций определяется природой примесей, их количеством в очищаемом веществе и требованиями, предъявляемым к качеству очищаемых соединений.

3.1.2.1. Аппаратурное оформление узлов отдувки примесей инертным газом

В промышленности основного органического синтеза процесс отдувки осуществляют непрерывным способом. В качестве инертного газа используют газ, который не взаимодействует с очищаемым веществом, например, азот (иногда – воздух). Процесс проводят при атмосферном давлении или под вакуумом. Использование вакуума позволяет интенсифицировать процесс и/или проводить его при более низкой температуре. Это особенно важно при очистке термически нестойких веществ. На рис. 30-35 приведено аппаратурное оформление процессов отдувки примесей инертным газом – азотом, и система регулирования качества очищенного вещества.

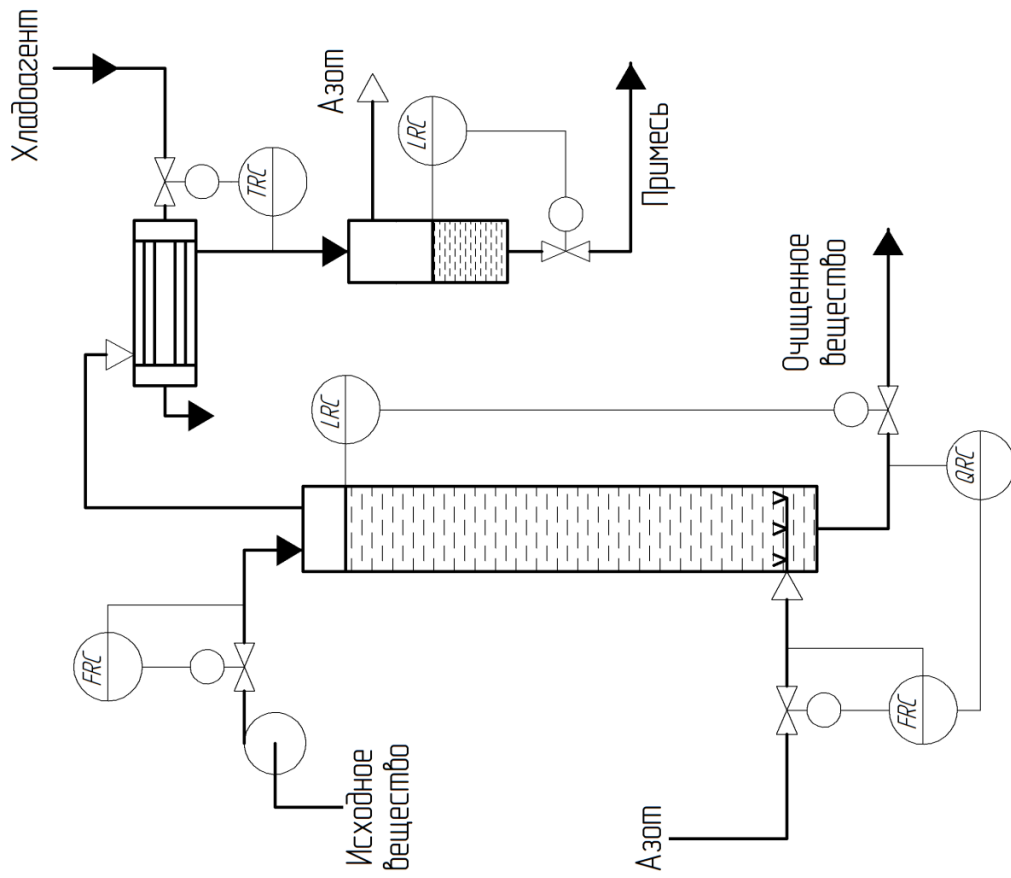


Рис.30. Отдувка примесей при атмосферном давлении и температуре окружающей среды. Диспергирование газа в объеме жидкой фазы.

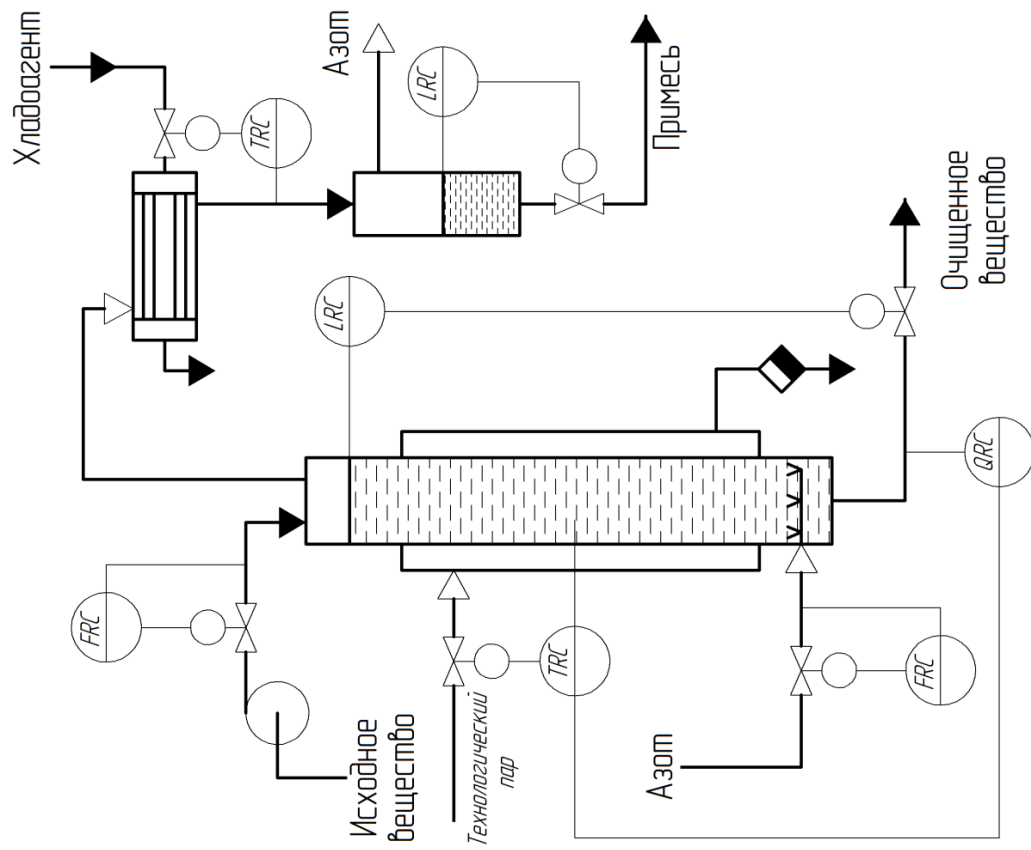


Рис.31. Отдувка примесей при атмосферном давлении и повышенной температуре. Диспергирование газа в объеме жидкой фазы.

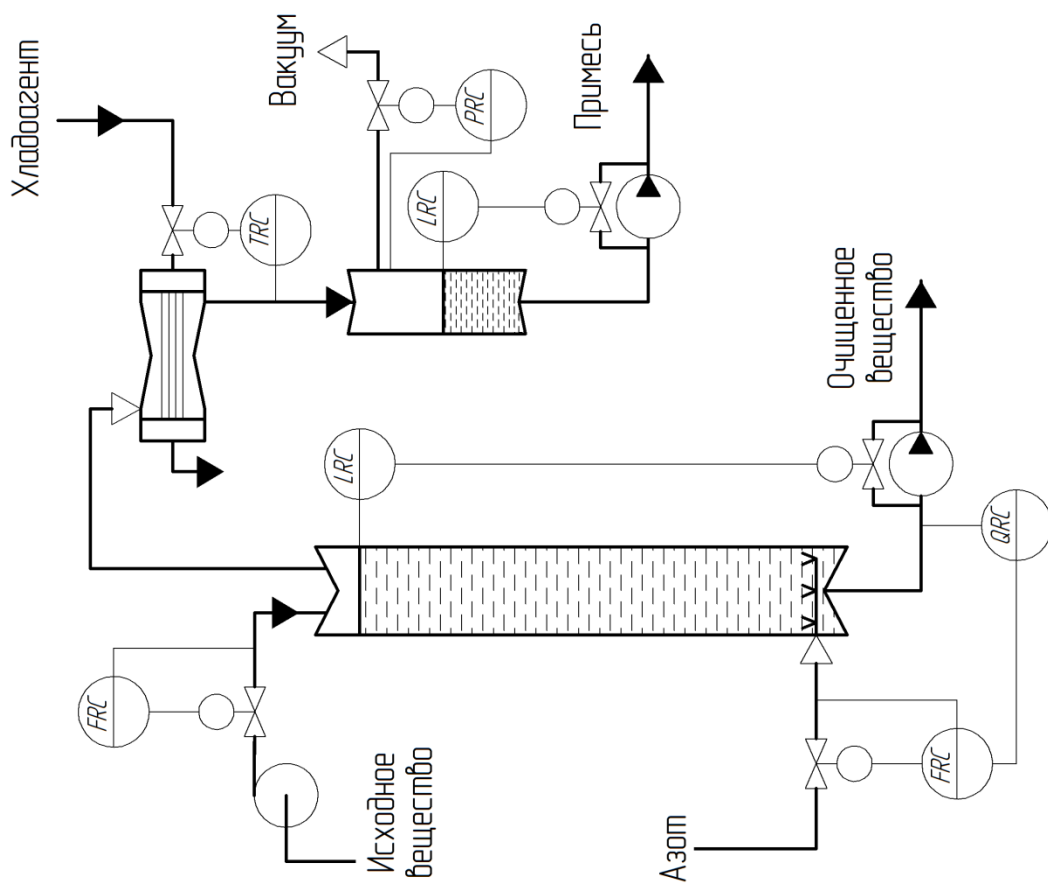


Рис.32. Отдувка примесей под вакуумом и температуре окружающей среды. Диспергирование газа в объеме жидкой фазы.

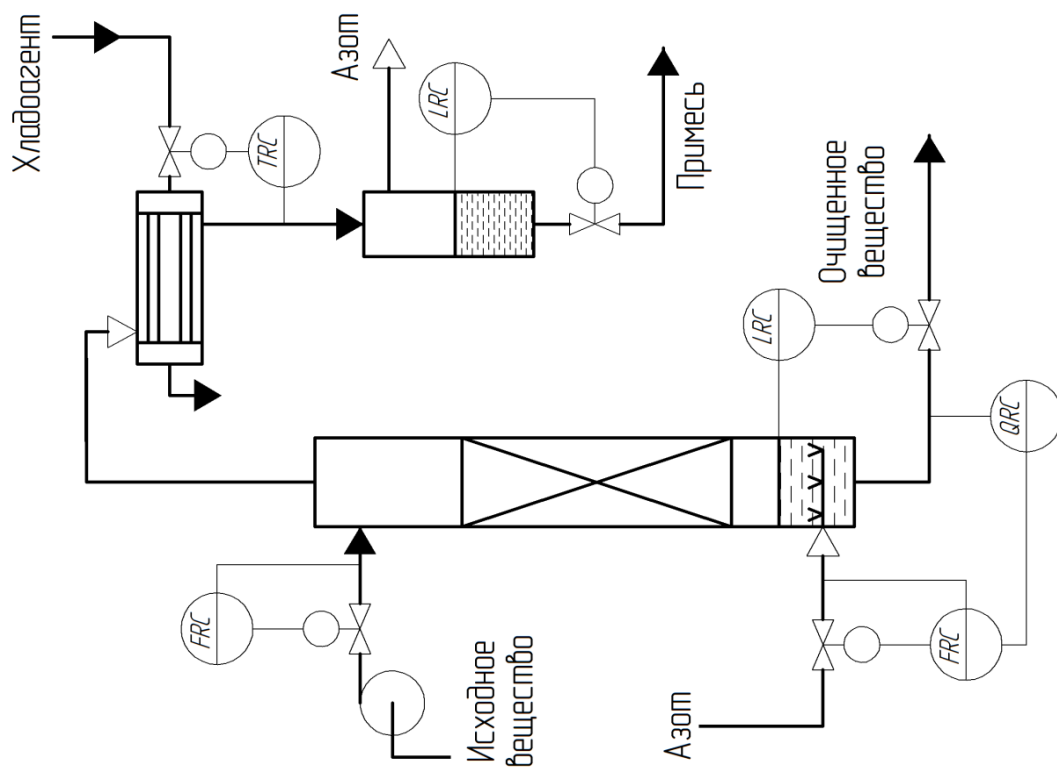


Рис.33. Отдувка примесей при атмосферном давлении температуре окружающей среды. Диспергирование жидкой фазы в объеме газа.

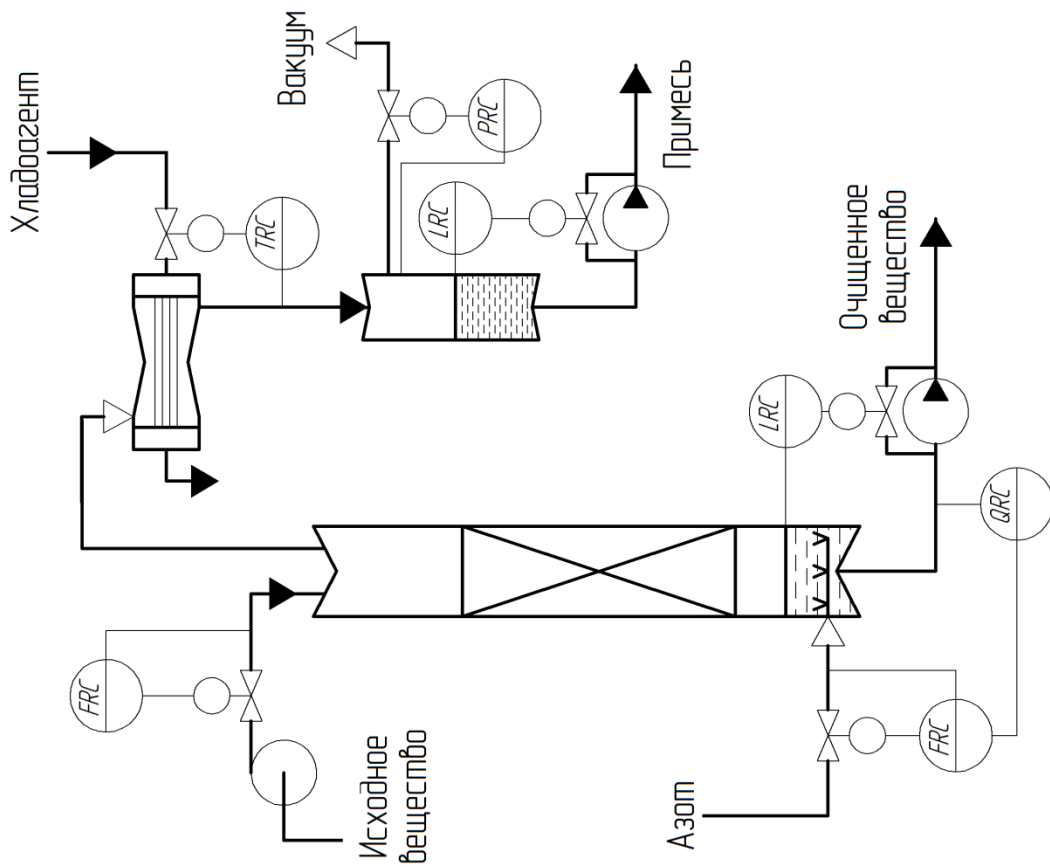


Рис.35. Отдувка примесей под вакуумом и температуре окружающей среды. Диспергирование жидкой фазы в объеме газа.

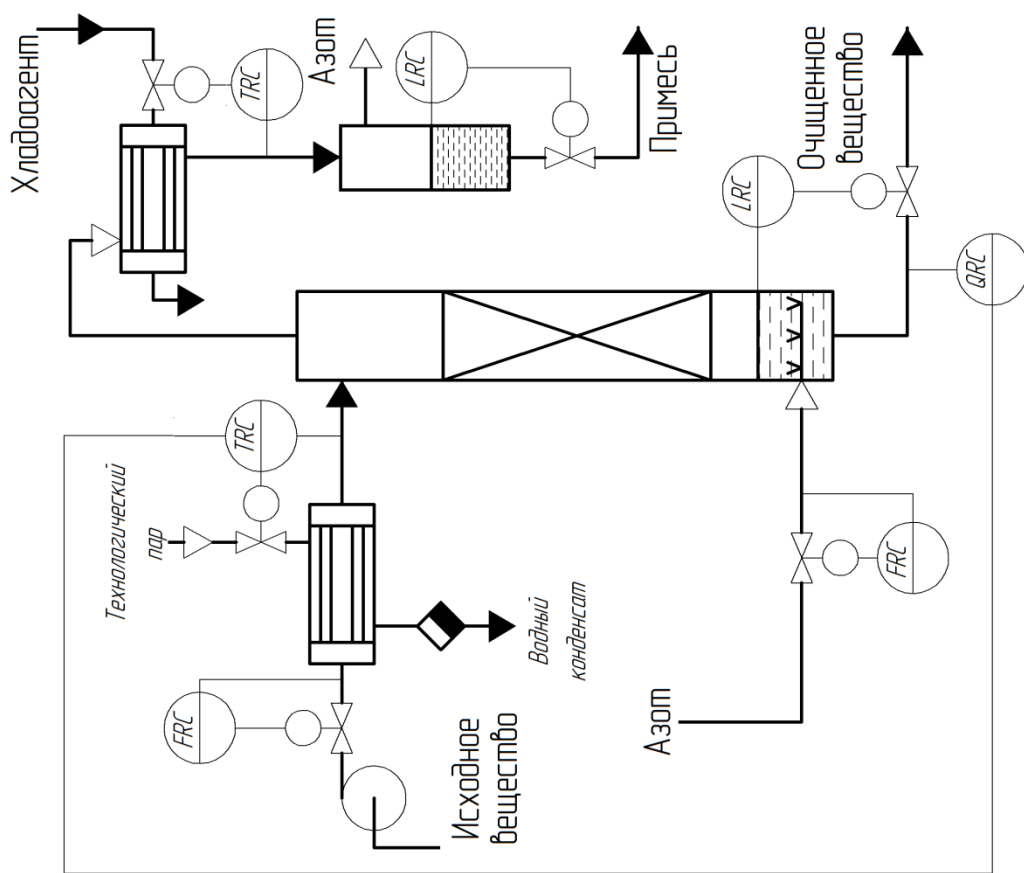


Рис.34. Отдувка примесей при атмосферном давлении и повышенной температуре. Диспергирование жидкой фазы в объеме газа.

3.1.2.2. Аппаратурное оформление узлов перегонки и ректификации

В основе процесса дистилляции (простой перегонки и ректификации) лежит испарение компонента(ов) жидкости с образованием пара и последующее его охлаждение и конденсация с образованием жидкости – т.н. дистиллята.

В процессе простой перегонки низкокипящий компонент (НК), испаряясь, переходит в пар, а высококипящий компонент (ВК) остается в жидком состоянии. Полученные пары затем конденсируют с образованием дистиллята, а неиспарившаяся жидкость называется кубовым остатком. Однако данный процесс практически никогда не позволяет провести полное разделение веществ, т.к. в парах всегда будут находиться все компоненты смеси, а их количество (соотношение) как в парах, так и остатке будет определяться разностью их летучести (в частности, температуры их кипения).

Для достижения наиболее полного разделения компонентов жидкой смеси используют более сложный вид перегонки – ректификацию, которая заключается в противоточном взаимодействии паров, образующихся при перегонке, с жидкостью, полученной при конденсации паров (дистиллятом).

В процессе ректификации горячие пары, образующиеся при кипении жидкости в нижней части колонны и содержащие главным образом ВК с примесью НК, поднимаясь вверх колонны, контактируют с потоком жидкого вещества с температурой меньшей, чем температура горячего пара и содержащего в основном НК с примесью ВК.

В процессе такого контакта происходит передача тепла от горячего потока пара к холодному потоку жидкости, в результате чего из жидкости испаряется (переходит в пар) НК компонент, а из паров конденсируется (переходит в жидкость) ВК, т.е. происходит обогащение паров НК, а жидкости ВК.

Обязательным условием ректификации является организация принудительного противоточного движения паров и жидкости в аппарате и

наличие устройства для их многократного контакта. В качестве таких контактных устройств применяют тарелки или насадку, обеспечивающие развитую поверхность контакта между жидкостью и паром.

На рис. 36–42 приведено аппаратное оформление узлов перегонки и ректификации при атмосферном, повышенном и пониженном давлении, узлы азеотропной и экстрактивной ректификации, а также система регулирования качества получаемого дистиллята за счет изменения флегмового числа.

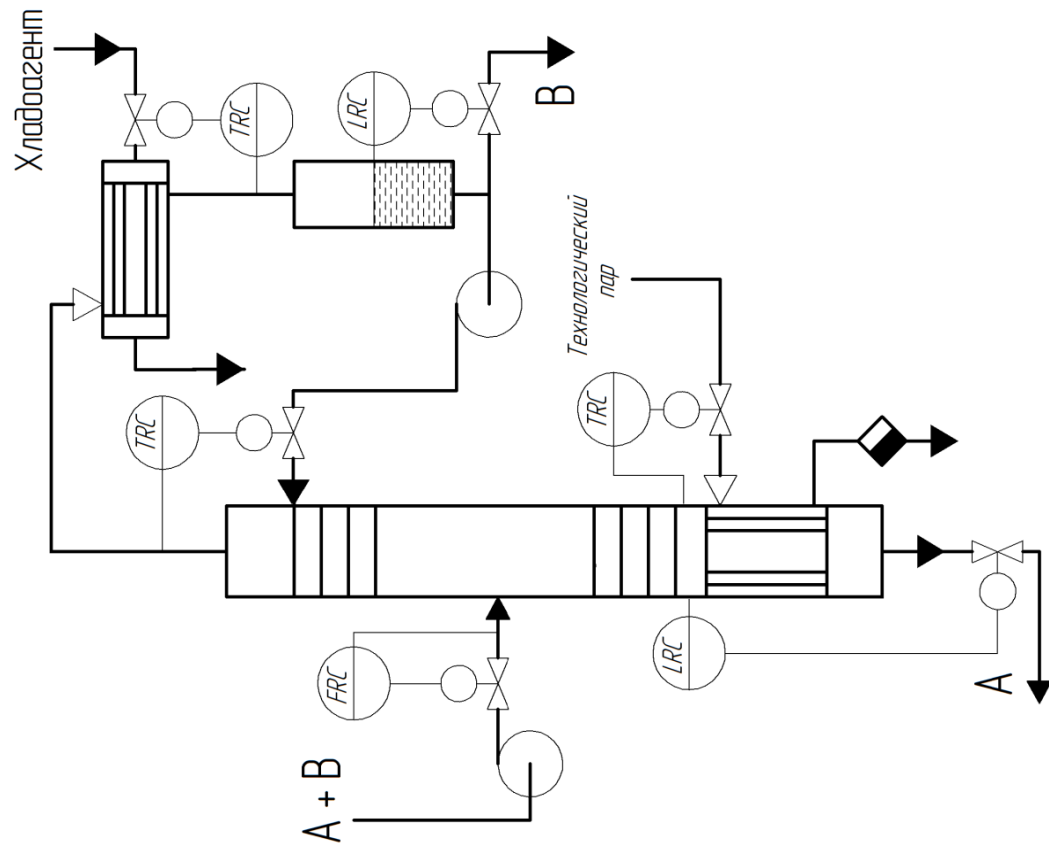


Рис.37. Удаление примесей при ректификации при атмосферном давлении.

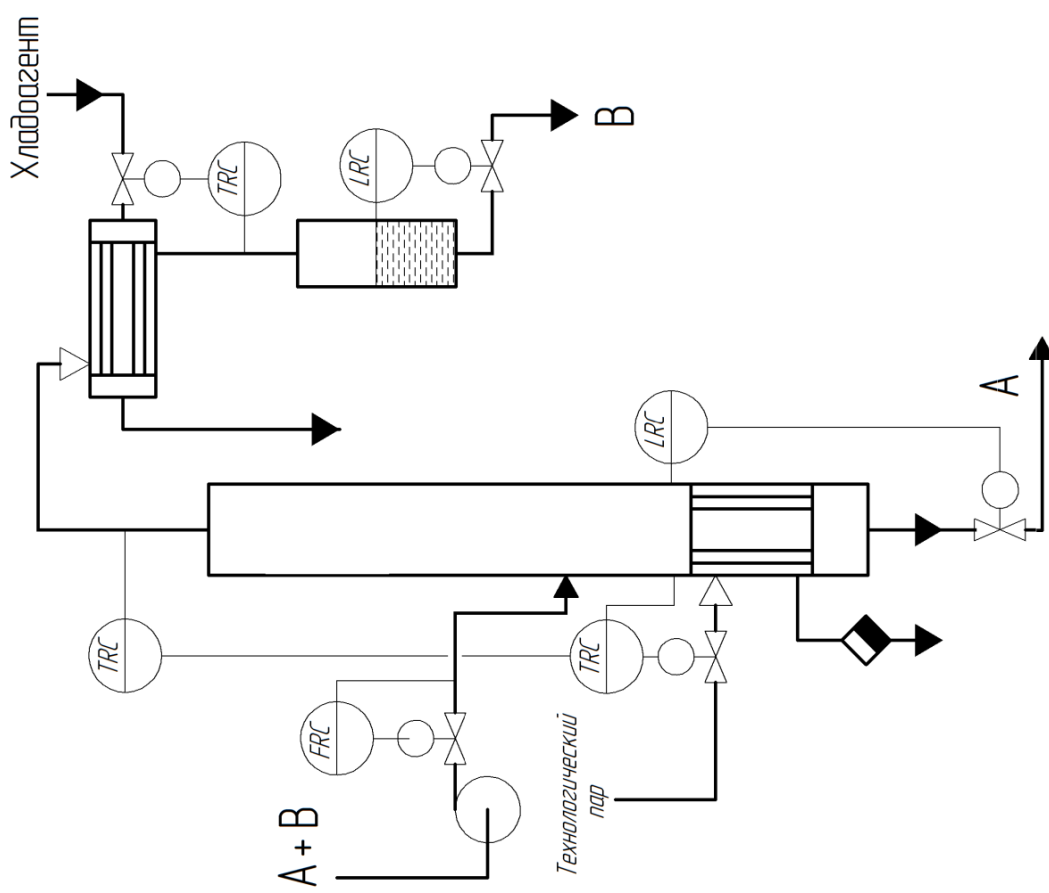


Рис.36. Удаление примесей перегонкой при атмосферном давлении.

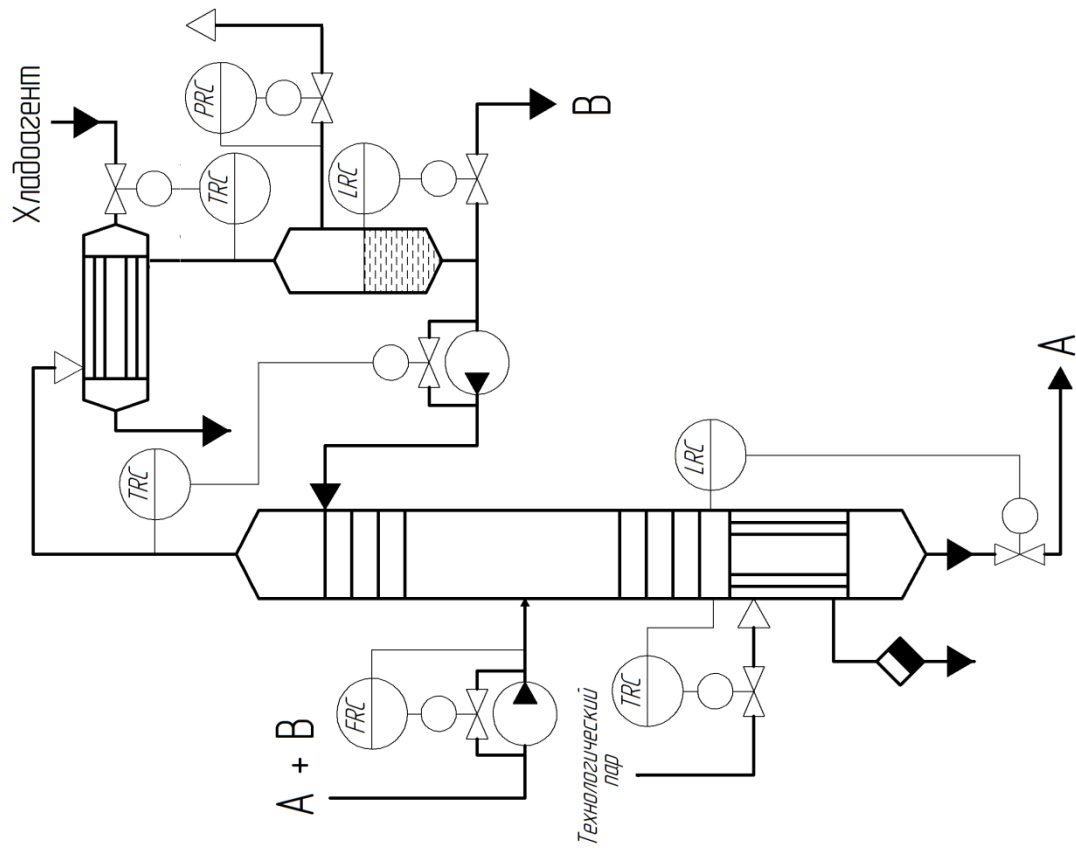


Рис.39. Удаление примесей ректификацией под давлением.

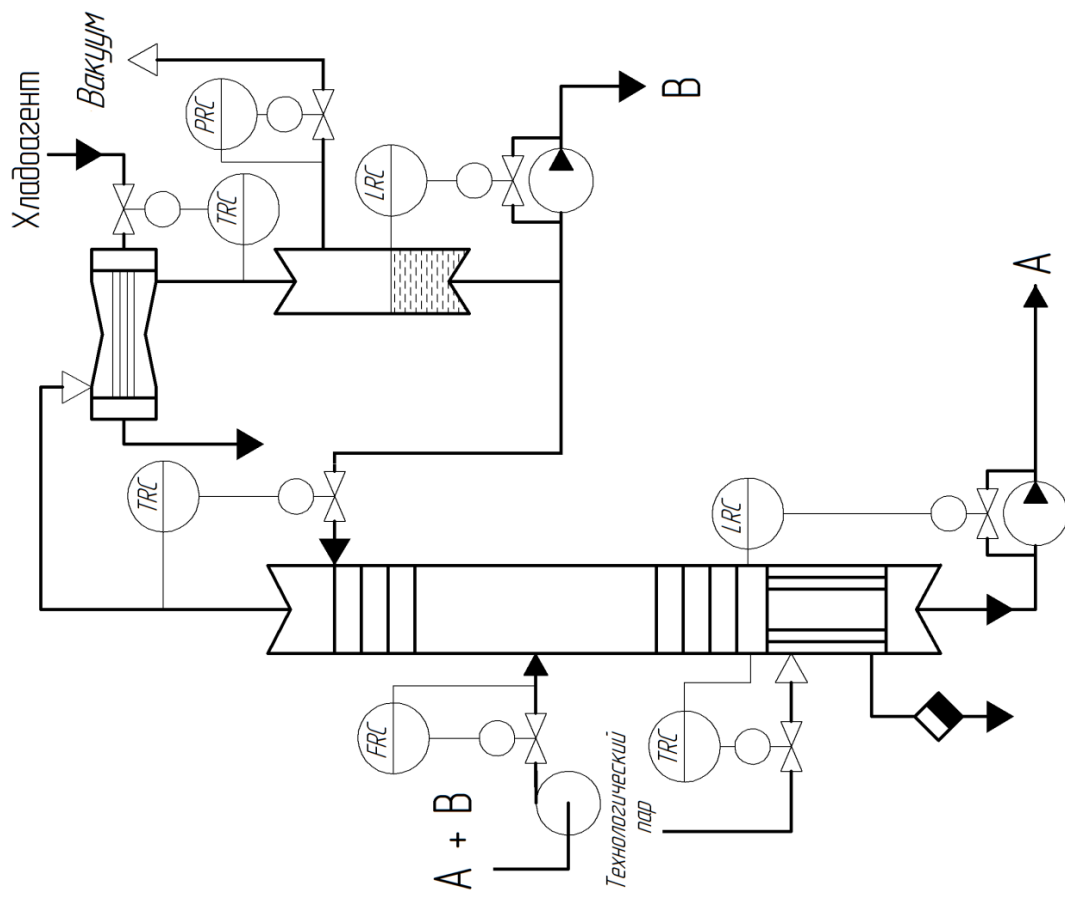


Рис.38. Удаление примесей ректификацией под вакуумом

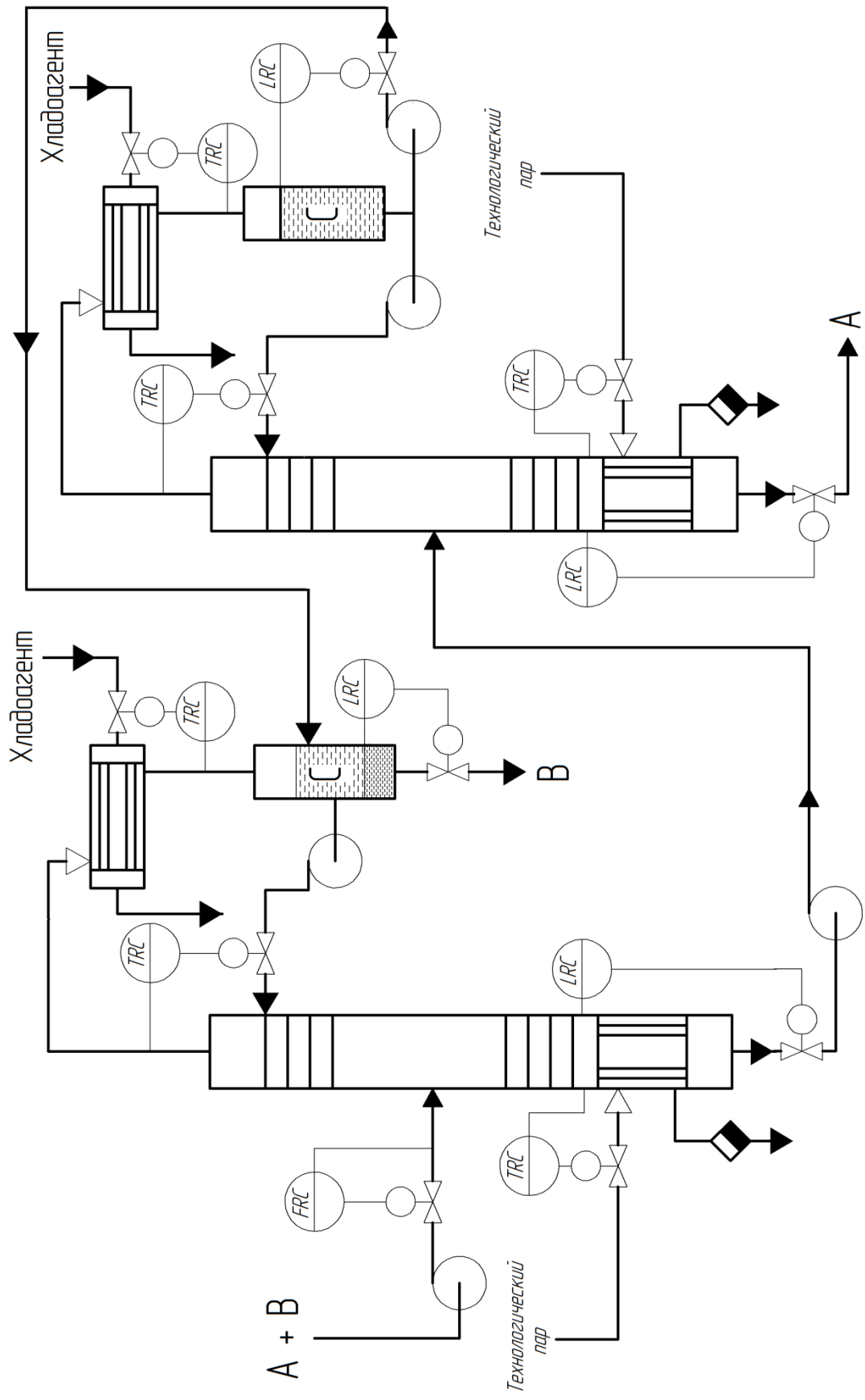


Рис.40. Удаление примесей азеотропной ректификацией

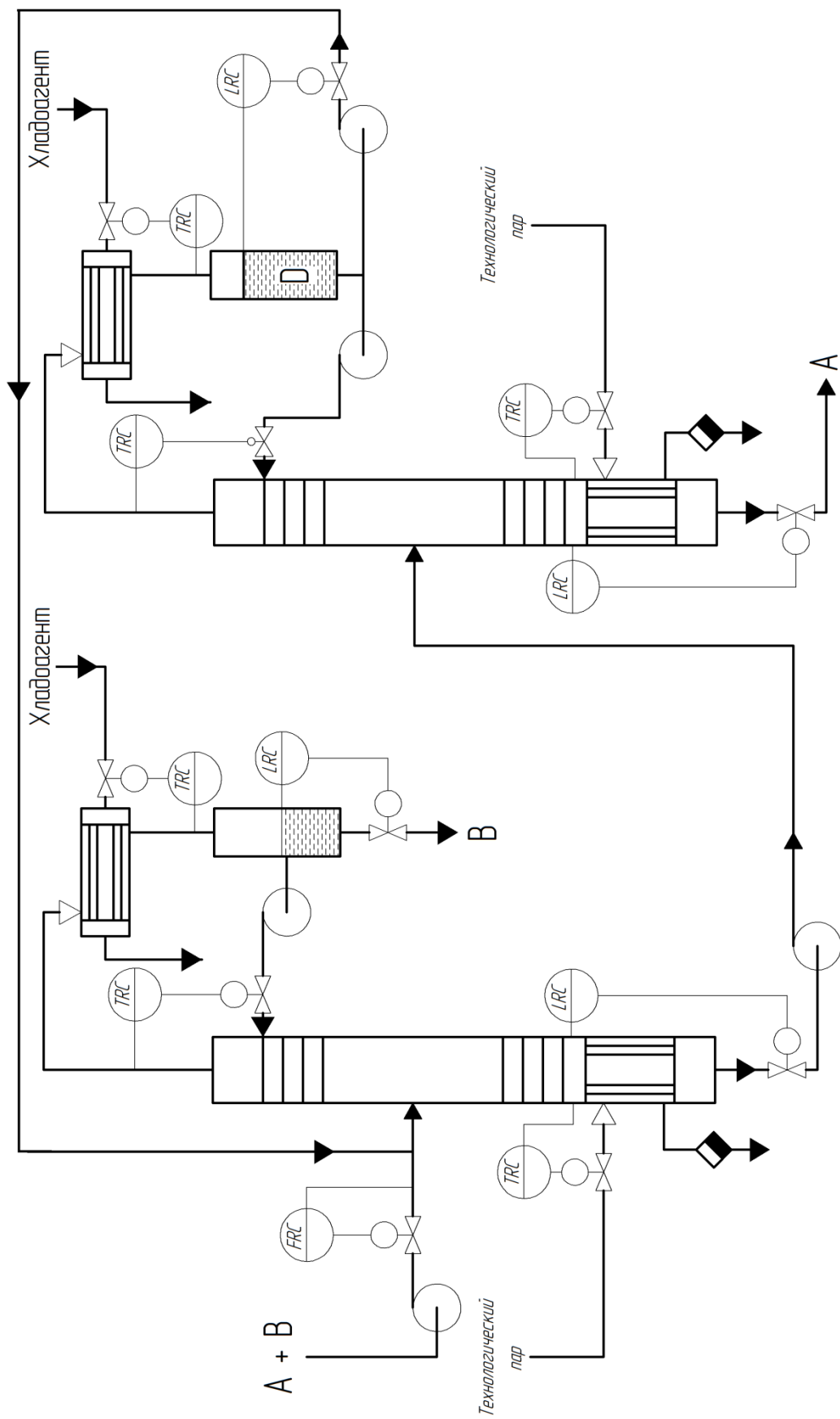


Рис. 41. Удаление примесей экстрактивной ректификацией

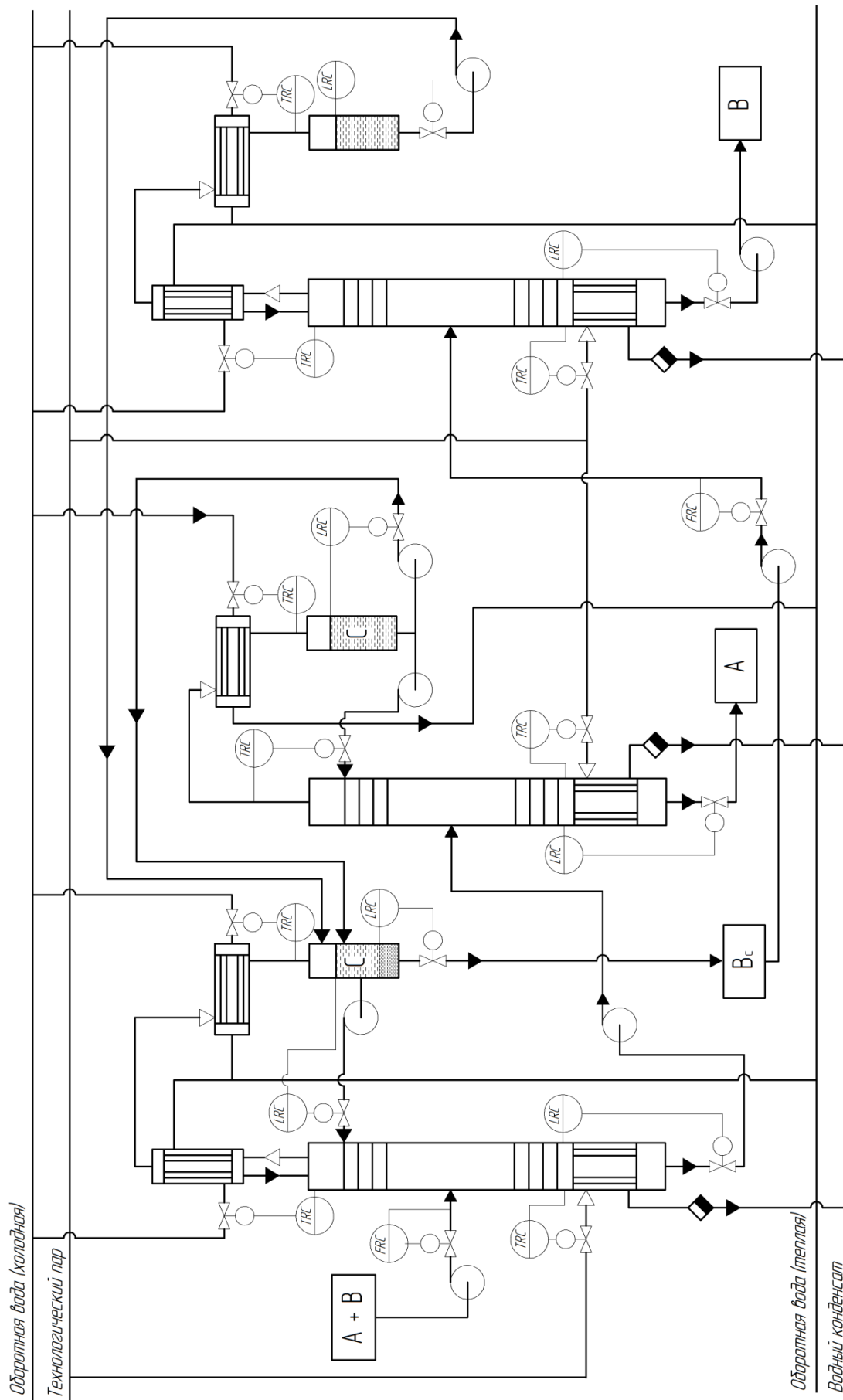


Рис. 42. Удаление примесей азеотропной ректификацией (вариант)

3.1.2.3. Аппаратурное оформление узлов экстракции

В общем виде экстракцией называют процесс перехода вещества из одной фазы (твердой или жидкой) в другую жидкую фазу – фазу растворителя (экстрагента). В химической технологии широкое распространение получил процесс экстракции при условии, что обе жидкие фазы ограниченно растворимы друг в друге.

В результате экстракции получают:

- экстракт – раствор извлеченного (экстрагируемого) вещества в экстрагенте;
- рафинат – остаточный раствор, обедненный извлеченным веществом.

В промышленности основного органического синтеза экстракцию осуществляют, как правило, в непрерывном режиме в массообменных аппаратах, обеспечивающих развитую поверхность контакта фаз за счет диспергирования одной фазы в другой. В качестве массообменных аппаратов обычно используют насадочные колонны.

Задача управления (регулирования) работы массообменных аппаратов определяется целью экстракции, а также физическими свойствами смеси и экстрагента (концентрация, плотность, взаимная растворимость веществ).

В первом варианте, когда целью процесса является получение рафината с заданным содержанием в нем экстрагируемого компонента, регулируемым параметром является концентрация экстрагируемого компонента в рафинате.

Во втором варианте, когда стоит задача в получении экстракта с заданным содержанием в нем экстрагируемого компонента, регулируемым параметром является концентрация экстрагируемого компонента в экстракте.

Регулирующим параметром в обоих случаях является расход экстрагента.

Первый вариант регулирования обычно используют для очистки жидких потоков от примесей, когда основной задачей является достижение

максимальной степени удаления примеси из потока жидкого вещества (т.е. достижение минимальной концентрации примеси в рафинате).

Данный вариант регулирования также может быть использован для извлечения ценных компонентов из жидких потоков, когда основной задачей является достижение максимальной степени его извлечения и, как следствие, снижение потерь извлекаемых веществ с потоком рафината.

Второй вариант регулирования может быть использован при извлечении целевого вещества из жидких продуктов реакции, когда основной задачей является достижение максимальной концентрации целевого вещества в экстракте.

На рис. 43-46 приведено аппаратное оформление узлов экстракции вещества «В» из смеси с веществом «А» экстрагентом «С» и схемы регулирования насадочных экстракционных колонн, работающих в непрерывном режиме.

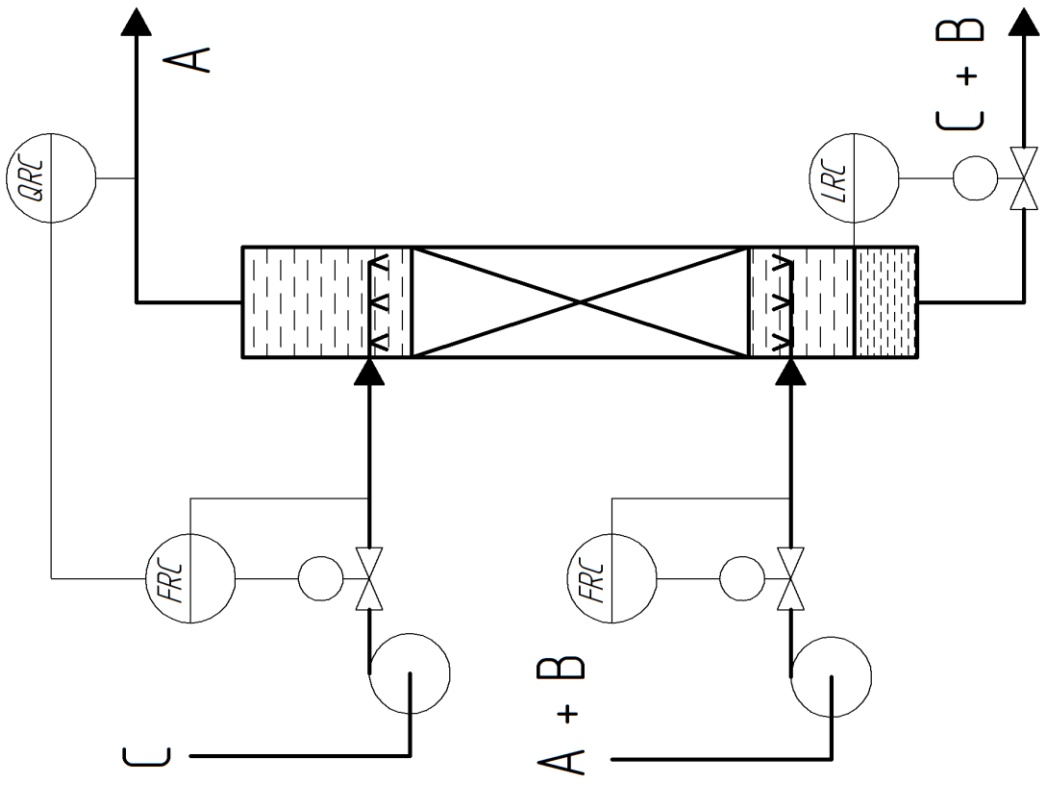


Рис.44. Аппаратурное оформление узла экстракции вещества «В» из смеси с веществом «А» экстрагентом «С». Диспергирование экстрагента «С» в смеси «А+В». $\rho_C > \rho_{A+B}$;

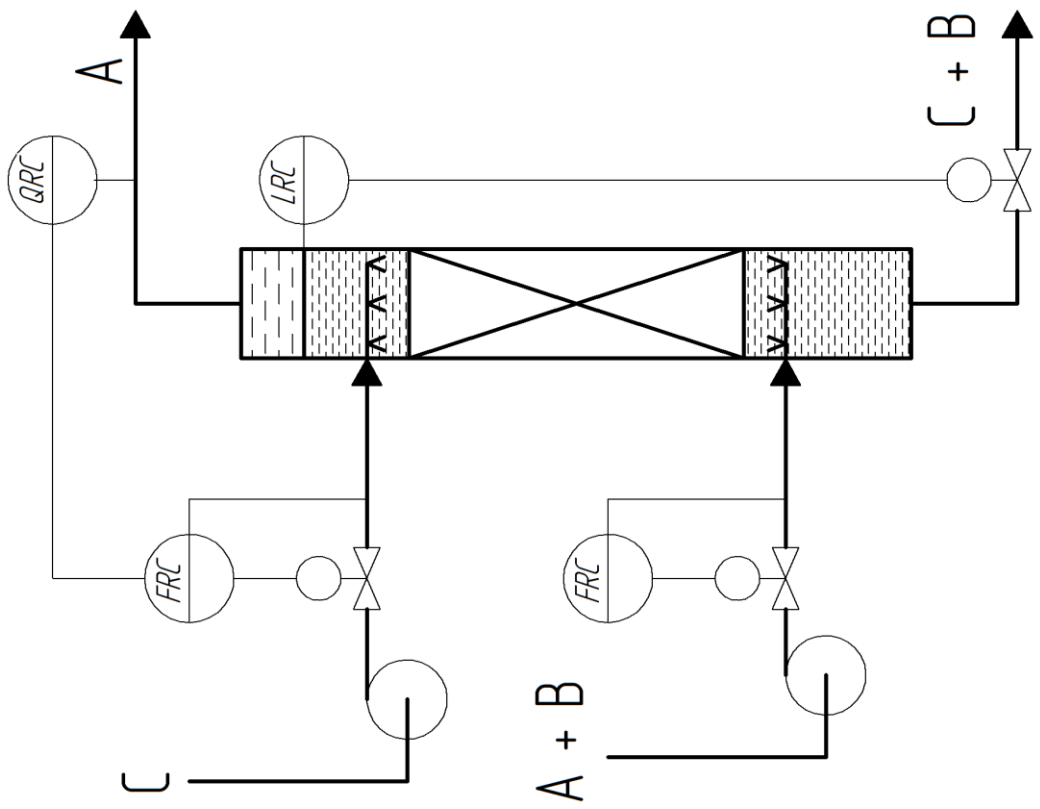


Рис.43. Аппаратурное оформление узла экстракции вещества «В» из смеси с веществом «А» экстрагентом «С». Диспергирование смеси «А+В» в экстрагенте «С». $\rho_C > \rho_{A+B}$;

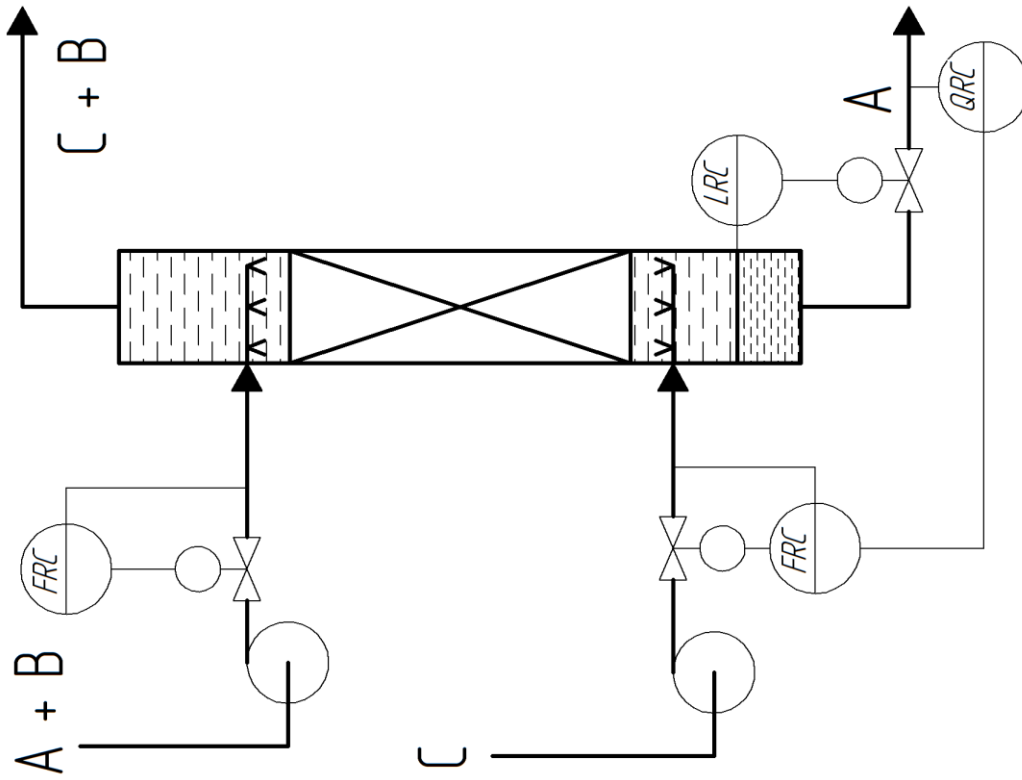


Рис.45. Аппаратурное оформление узла экстракции вещества «В» из смеси с веществом «А» экстрагентом «С». Диспергирование смеси «А+В» в экстрагенте «С». $\rho_C < \rho_{A+B}$;

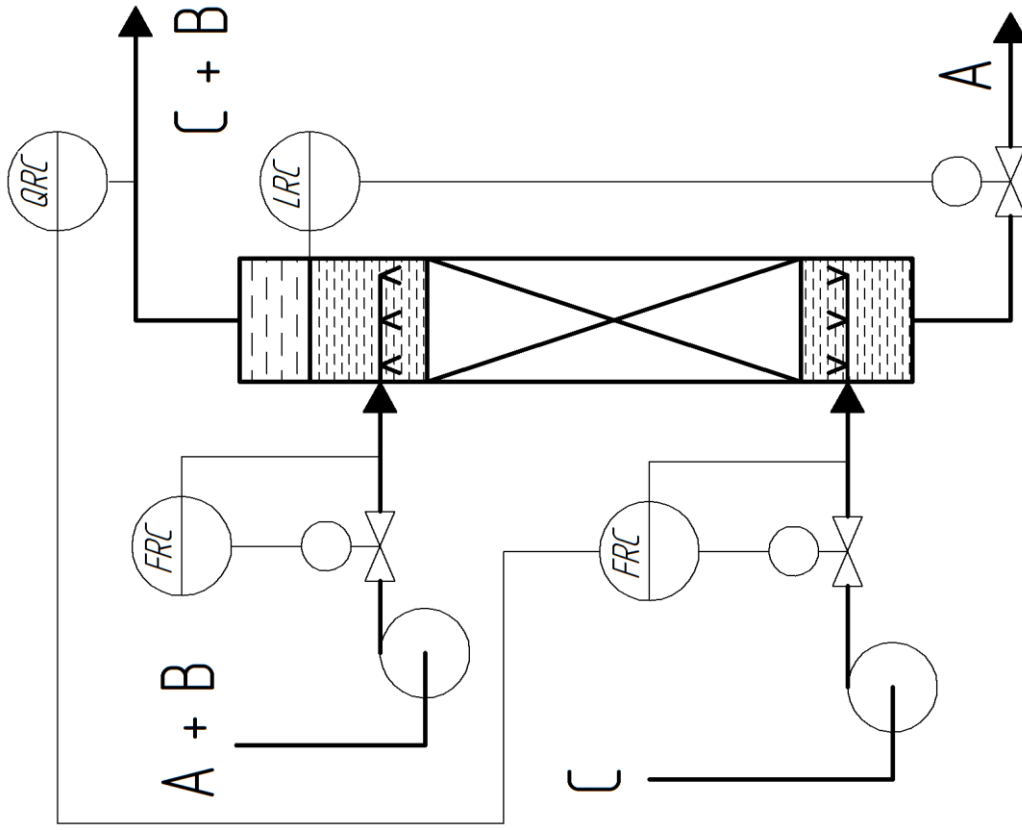


Рис.46. Аппаратурное оформление узла экстракции вещества «В» из смеси с веществом «А» экстрагентом «С». Диспергирование экстрагента «С» в смеси «А+В». $\rho_C < \rho_{A+B}$;

3.1.2.4. Аппаратурное оформление узлов абсорбции

Абсорбцией называют процесс поглощения газообразного вещества жидким веществом – абсорбентом, за счет образования физической связи между молекулами вещества и абсорбента. В химической технологии абсорбцию чаще всего применяют для выделения ценных компонентов из газовых смесей или для очистки газов от вредных примесей. В ряде случаев абсорбированные вещества могут быть вновь извлечены из абсорбента, например, посредством его нагрева.

В промышленности основного органического синтеза процессы абсорбции осуществляют в непрерывном режиме в массообменных аппаратах, обеспечивающих развитую поверхность контакта между газом и жидким абсорбентом. В качестве массообменных аппаратов могут быть использованы полые или насадочные колонны, в которых развитую поверхность контакта фаз обеспечивают за счет диспергирования газа в объеме жидкости (барботажа) или за счет диспергирования жидкости в объеме газа, например, при движении (стекании) жидкости в виде пленки по поверхности насадки.

Задача управления (регулирования) работы массообменных аппаратов определяется целью процесса.

В первом варианте, когда стоит задача выделения ценного компонента из потока газа, регулируемым параметром может быть концентрация ценного компонента в абсорбенте на выходе из массообменного аппарата.

Во втором варианте, когда целью процесса является очистка потока газа от вредной примеси, регулируемым параметром является концентрация вредной примеси в потоке газа на выходе из массообменного аппарата.

Регулирующим параметром в обоих случаях является расход абсорбента.

Аппаратурное оформление непрерывных процессов абсорбции для очистки газа от примесей при различной организации движения фаз и способов их диспергирования, а также схемы их регулирования, приведены на рисунках 47-50.

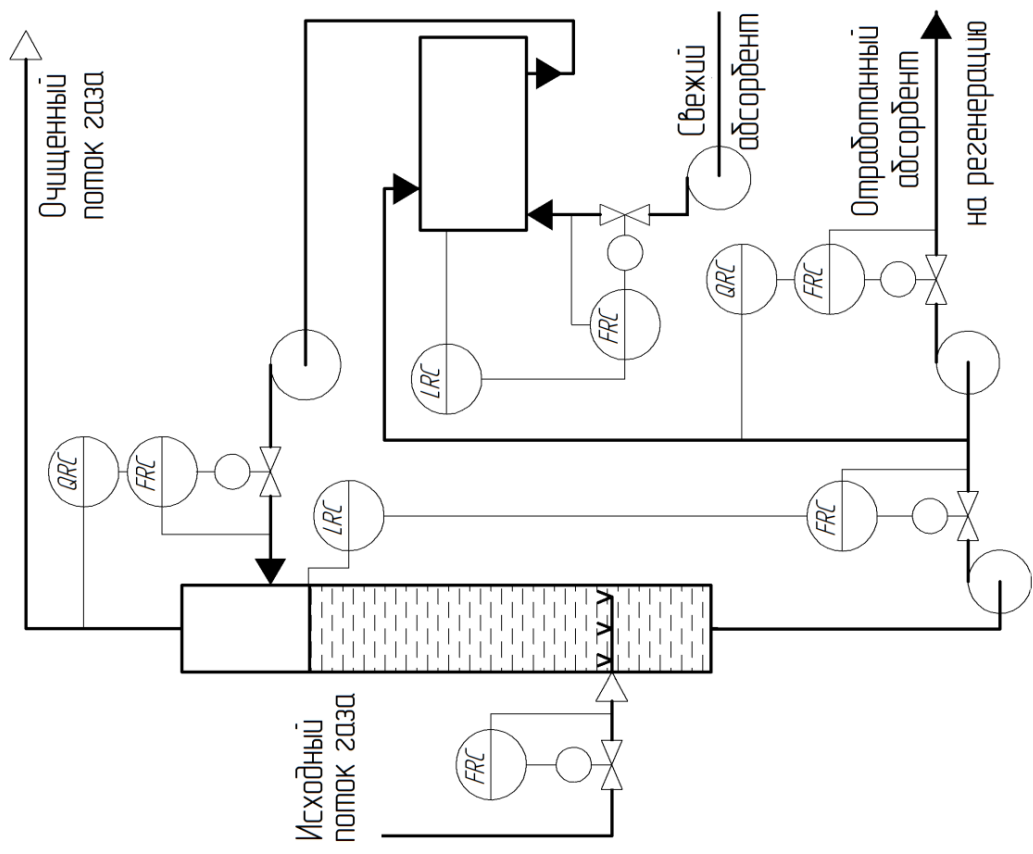


Рис.48. Диспергирование газа в жидкой фазе абсорбента. Движение фаз – противоток.

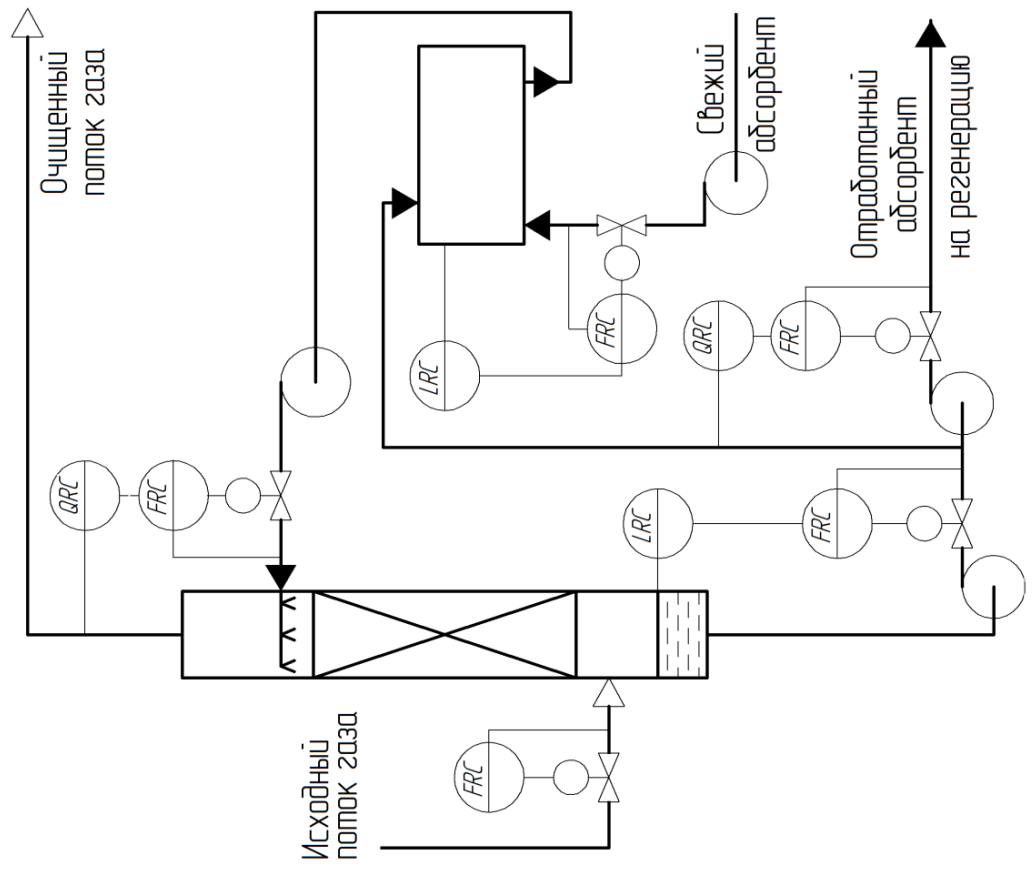


Рис.47. Диспергирование жидкого абсорбента в газовой фазе. Движение фаз – противоток.

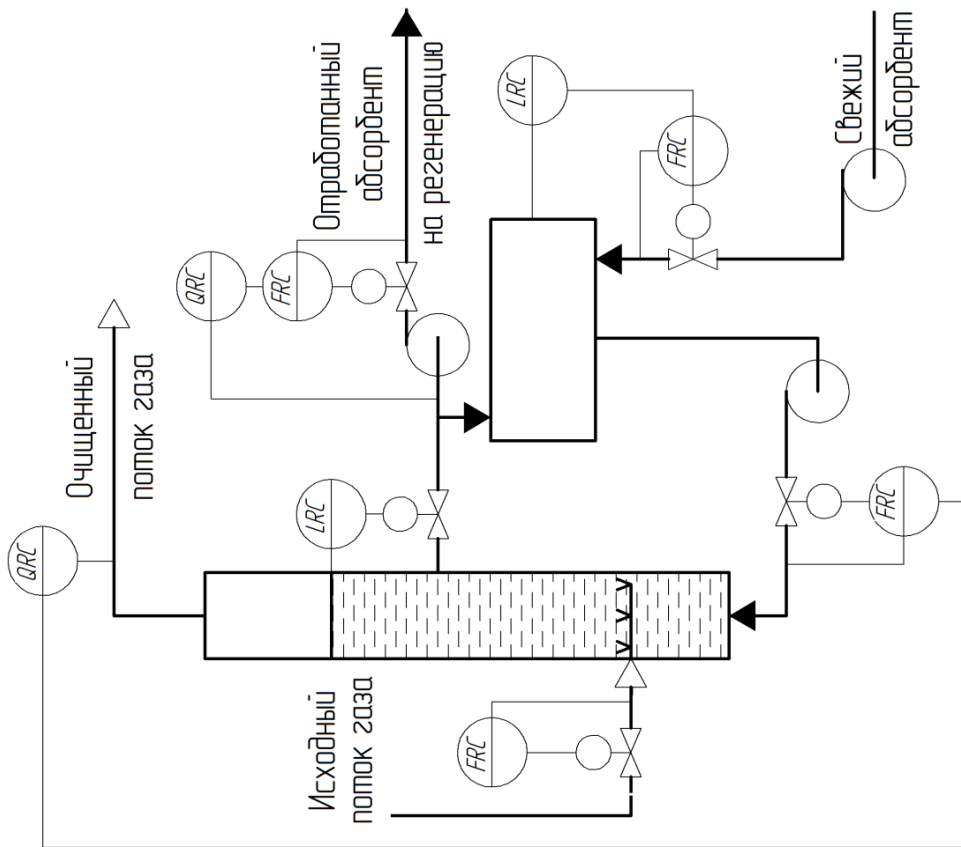


Рис.50. Диспергирование газа в жидкой фазе абсорбента. Движение фаз – прямоток.

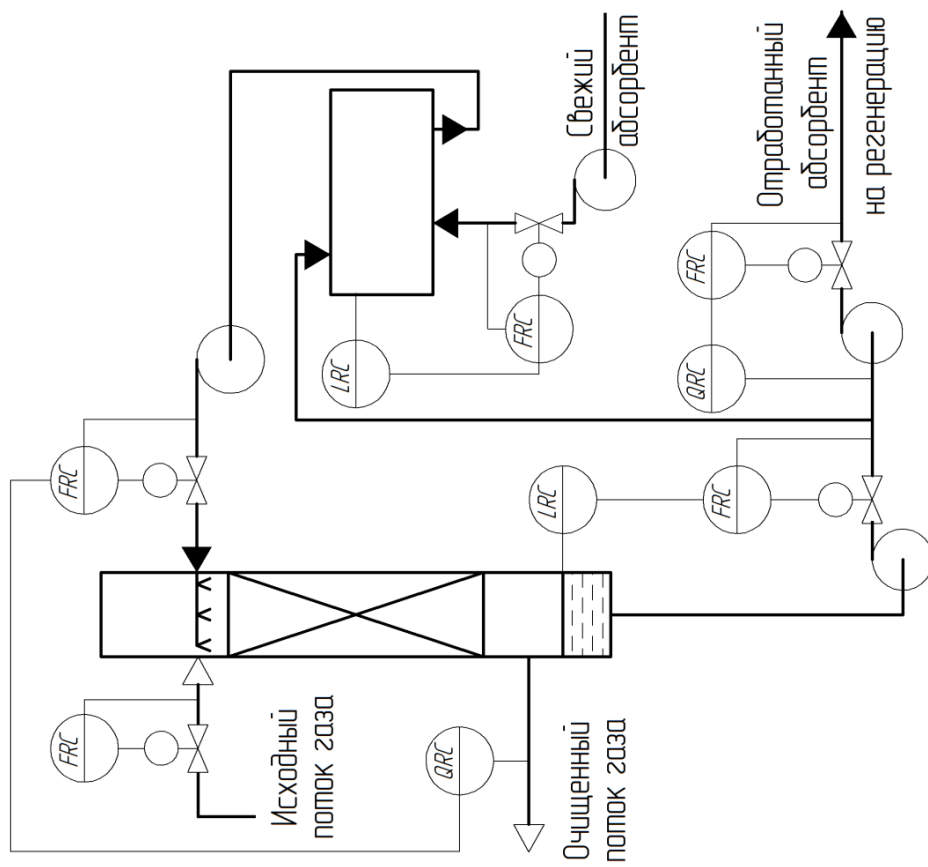


Рис.49. Диспергирование жидкого абсорбента в газовой фазе. Движение фаз – прямоток.

3.1.2.5. Аппаратурное оформление узлов адсорбции

Адсорбцией называют процесс поглощения газообразного вещества твердым веществом – адсорбентом, за счет образования физической связи между молекулами вещества и адсорбента. В промышленности основного органического синтеза данный процесс чаще всего применяют для очистки газообразных веществ от вредных примесей.

В качестве адсорбентов широко используют дисперсные вещества с большой удельной поверхностью и/или большим объемом пор, например, активированный уголь, силикагель, цеолиты и т.п. В ряде случаев адсорбент может быть регенерирован путем удаления из него адсорбированных веществ обработкой горячим газом или водяным паром при пониженном давлении и/или повышенной температуре. Процессы адсорбции осуществляют в непрерывном или полупериодическом режиме с неподвижным (стационарным), перемещающимся или «кипящим» слоем адсорбента.

В качестве массообменных аппаратов со стационарным слоем адсорбента могут быть использованы полые колонны, заполненные адсорбентом. Для очистки потока газа в непрерывном режиме обычно устанавливают параллельно несколько колонн (не менее 2-х). Часть колонн работает в режиме адсорбции, а другая часть в это же время в режиме регенерации (десорбции).

Регулируемым параметром в данном процессе является концентрация примеси в потоке газа на выходе из адсорбера. При превышении концентрации примеси определенного значения в потоке очищаемого газа, данный поток автоматически переключается на колонну со свежим адсорбентом, а колонна с отработанным адсорбентом начинает работать в режиме регенерации, для чего в нее начинается автоматическая подача горячего потока инертного газа (пара).

Аппаратурное оформление процесса адсорбции для очистки газа от примесей в двух попеременно работающих колоннах со стационарным слоем адсорбента, а также схема регулирования режима работы адсорберов, приведены на рисунке 51.

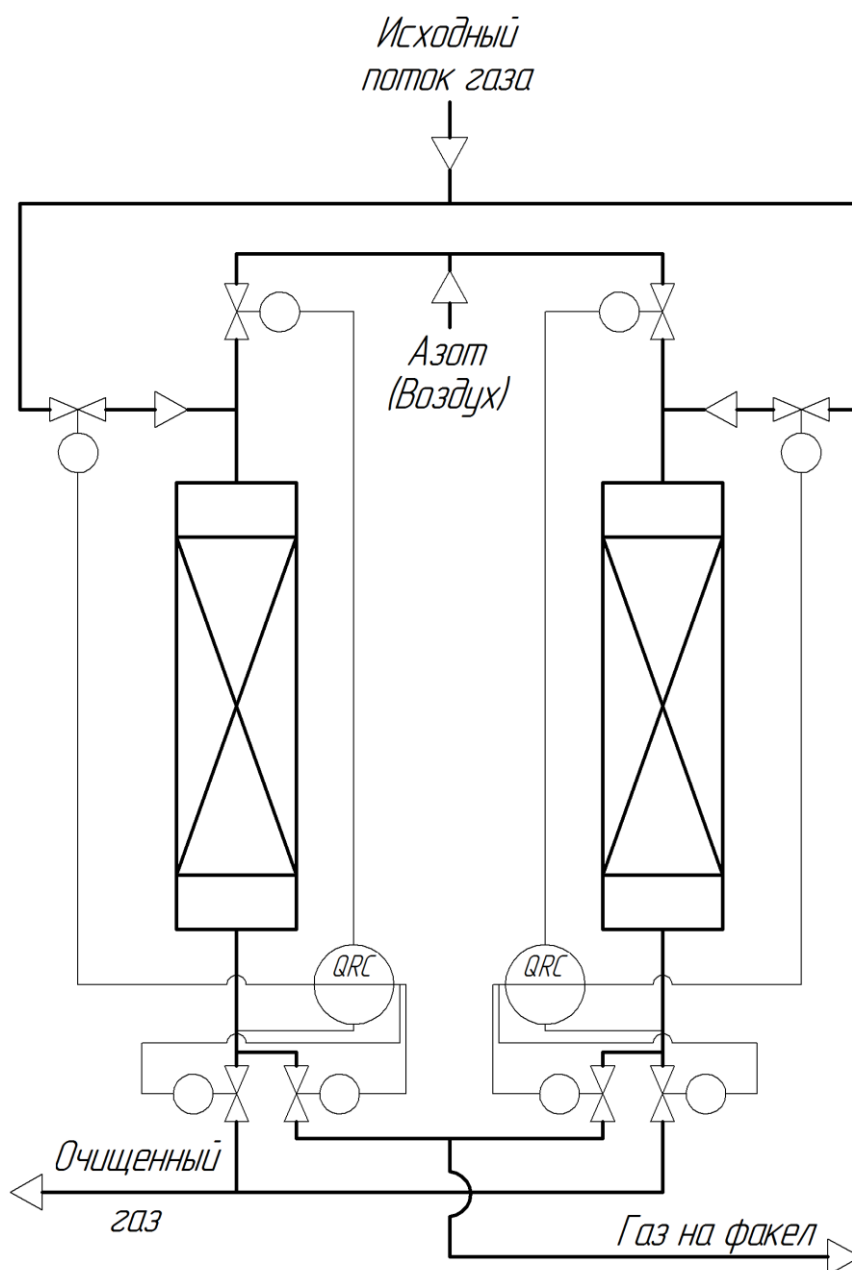


Рис.51. Аппаратурное оформление процесса адсорбции для очистки газа от примесей в двух попеременно работающих колоннах со стационарным слоем адсорбента, и схема регулирования режима работы.

Следует отметить, что все процессы экстракции, абсорбции и адсорбции являются равновесными процессами и не позволяют полностью удалить примесь из потока газа или жидкости. В этом случае для полного удаления примесей может быть использован так называемый метод хемосорбции.

3.1.2.6. Аппаратурное оформление узлов хемосорбции

Хемосорбция (химическая сорбция) – процесс поглощения вещества (жидкого или газообразного) другим веществом – хемосорбентом (жидким или твердым) с образованием нового химического соединения в результате образования химической связи между молекулами вещества и хемосорбента.

В тех случаях, когда образование нового химического соединения протекает по обратимой реакции, хемосорбент может быть регенерирован, например, путем разложения полученного химического соединения (например, карбонатная очистка газов от диоксида углерода). Кроме того, процесс хемосорбции может быть использован для выделения химических веществ из сложных смесей (выделение изобутилена, парафинов и др.). В качестве хемосорбентов могут быть использованы чистые жидкие химические вещества или их растворы.

В промышленности основного органического синтеза хемосорбцию чаще всего применяют для глубокой очистки газообразных и жидких веществ от примесей, когда образование нового химического соединения между веществом и хемосорбентом протекает по необратимой реакции.

Процессы хемосорбции осуществляют в непрерывном режиме в массообменных аппаратах, обеспечивающих развитую поверхность контакта между жидким хемосорбентом и потоком газа или жидкости, содержащим поглощаемое вещество.

В качестве массообменных аппаратов могут быть использованы полые или насадочные колонны, в которых развитую поверхность контакта фаз обеспечивают за счет диспергирования газа или жидкости в объеме жидкого хемосорбента или за счет диспергирования хемосорбента в объеме газа, например, путем распределения хемосорбента в виде пленки на поверхности насадки. Следует отметить, что аппаратурное оформление процессов хемосорбции аналогично аппаратурному оформлению процессов абсорбции, если удаляемое вещество находится в газовой фазе, и аналогично аппаратурному оформлению процесса экстракции, если удаляемое вещество находится в жидкой фазе.

Задача управления (регулирования) работы массообменных аппаратов определяется целью процесса хемосорбции.

В первом варианте, когда стоит задача выделения ценного компонента из потока газа (жидкости), регулируемым параметром является концентрация ценного компонента в потоке газа (жидкости) на выходе из массообменного аппарата.

Во втором варианте, когда целью процесса является очистка потока газа (жидкости) от нежелательной примеси, регулируемым параметром является концентрация примеси в потоке газа (жидкости) на выходе из массообменного аппарата.

Регулирующим параметром в обоих случаях является расход потока хемосорбента.

Аппаратурное оформление непрерывных процессов хемосорбции для очистки газа и жидкости от примесей, а также процесса хемосорбции с регенерацией хемосорбента (карбонатная очистка), а также схемы их регулирования приведены на рисунках 52-60. На рис. 61 приведено аппаратурное оформление процесса очистки газа от примесей с использованием комбинации узлов абсорбции и хемосорбции.

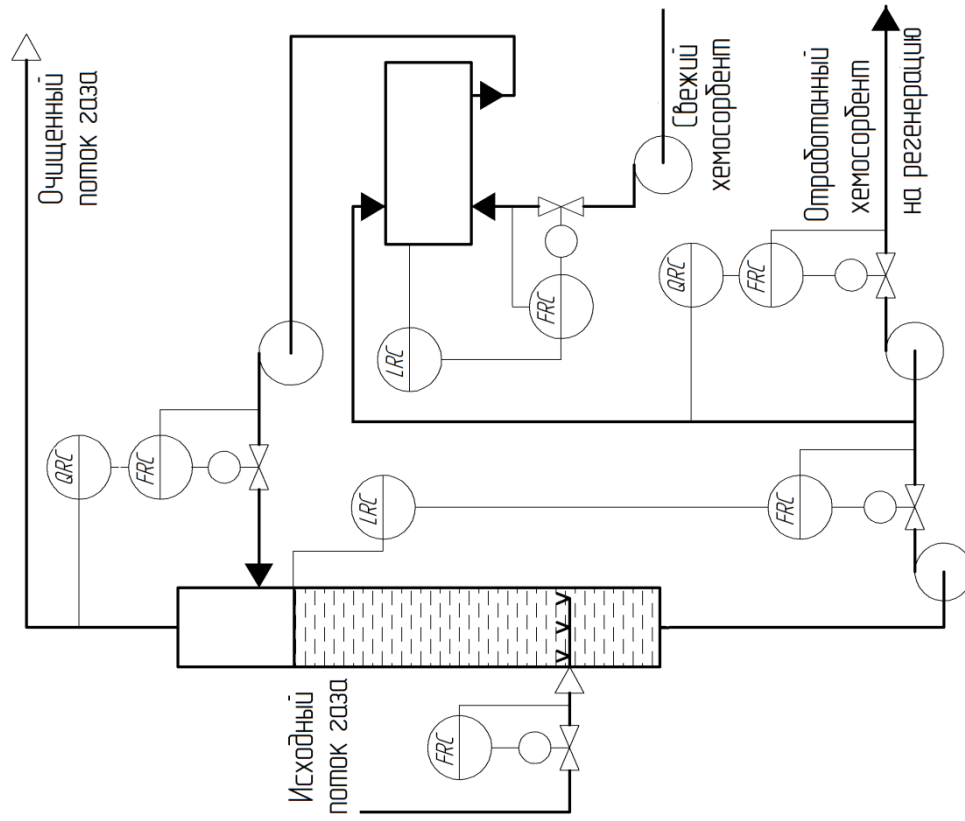


Рис.53. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки газа от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование очищаемого газа в объеме жидкого хемосорбента. Движение фаз – противоток.

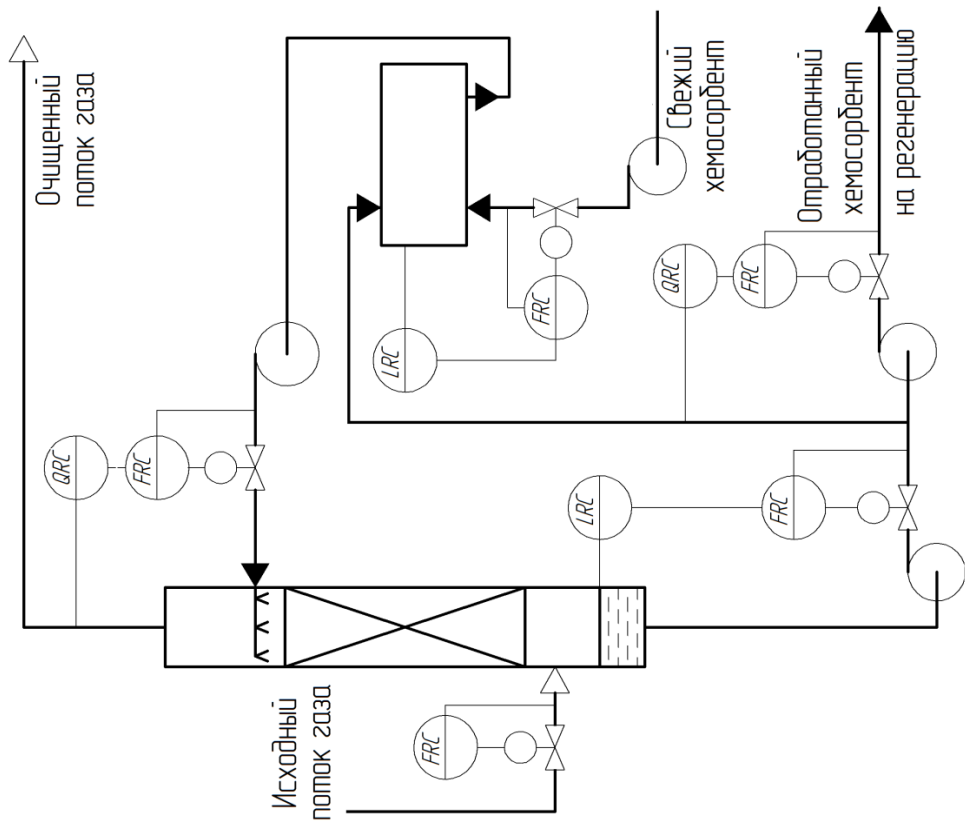


Рис.52. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки газа от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование жидкого хемосорбента в объеме очищаемого газа. Движение фаз – противоток.

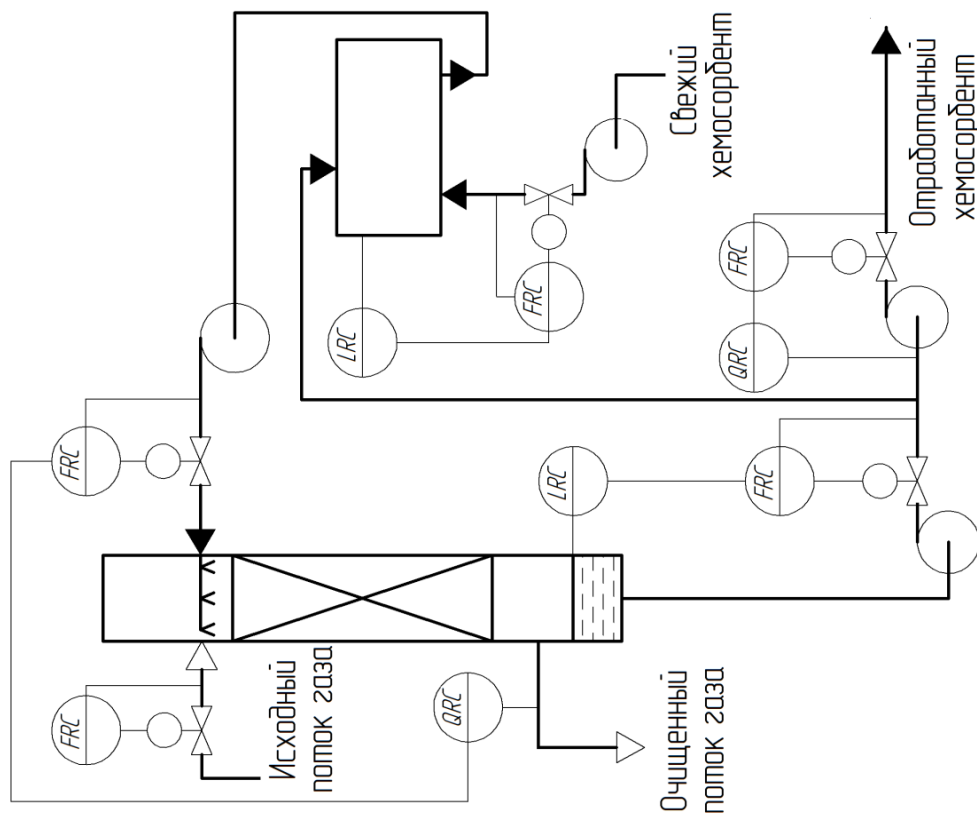


Рис.54. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки газа от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование жидкого хемосорбента в объеме очищаемого газа. Движение фаз – прямоток.

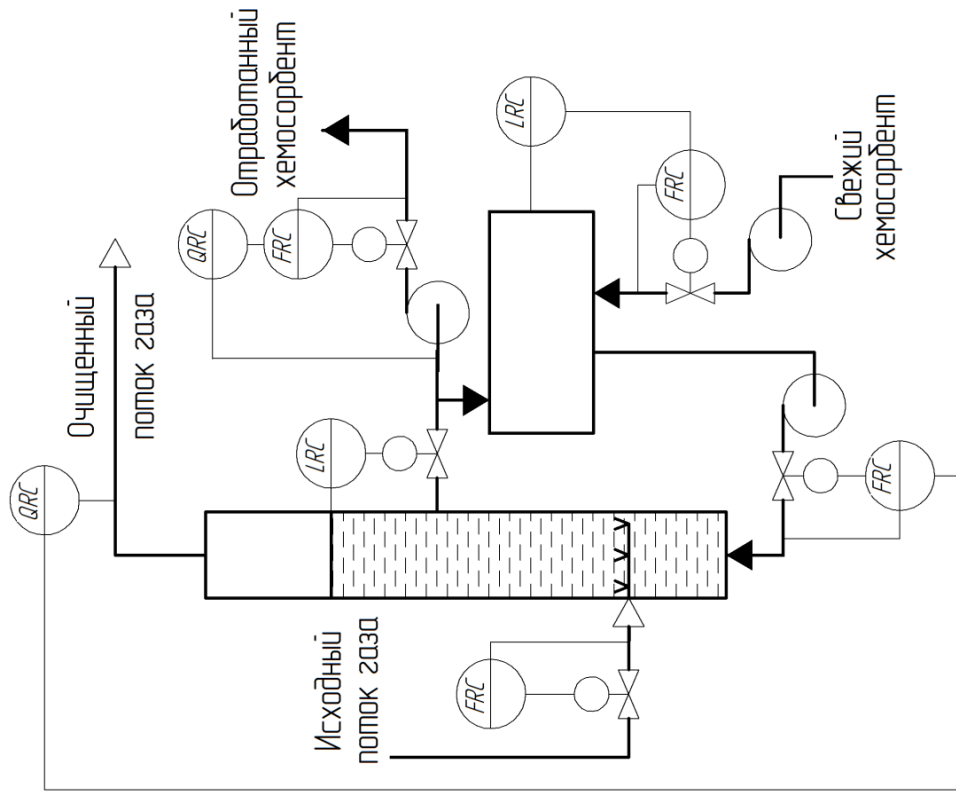


Рис.55. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки газа от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование очищаемого газа в объеме жидкого хемосорбента. Движение фаз – прямоток.

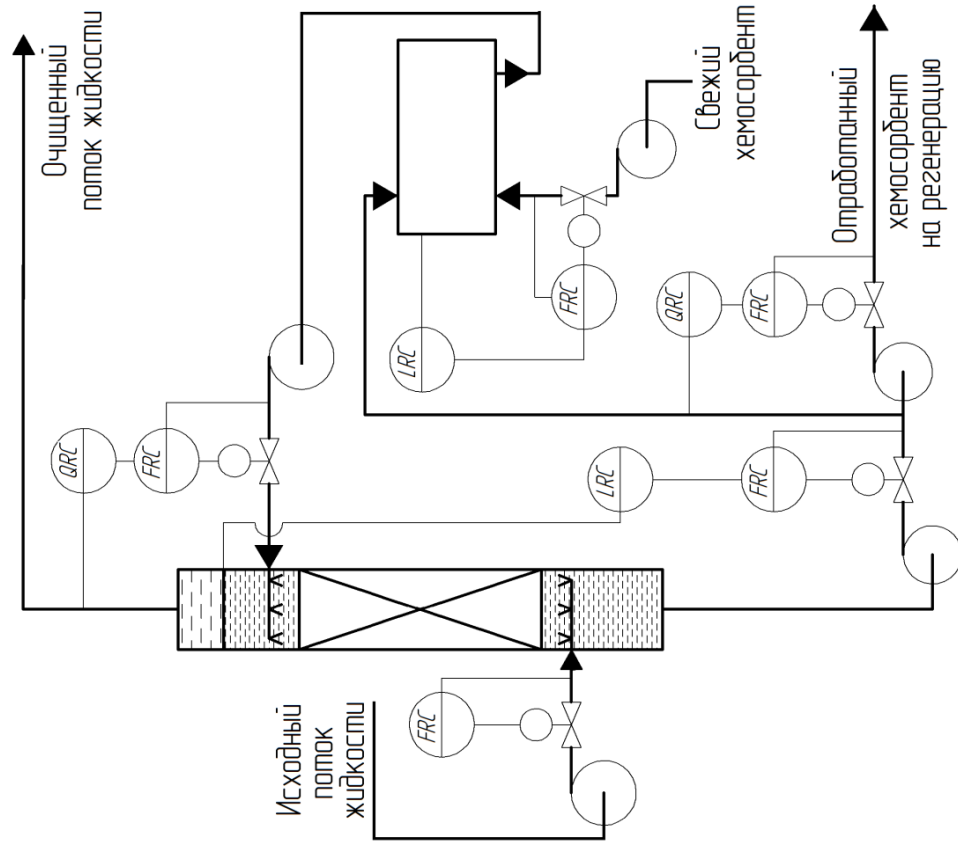


Рис.56. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки жидкости от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование жидкого хемосорбента в объеме очищаемой жидкости. Движение фаз – противоток.

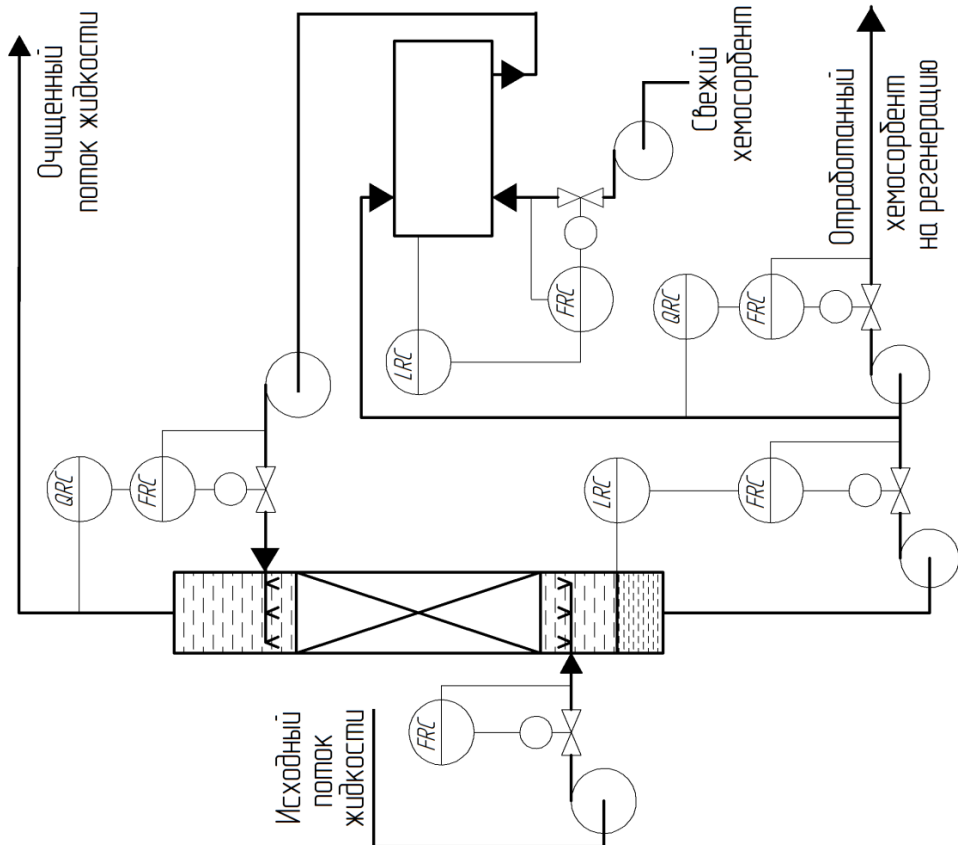


Рис.57. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки жидкости от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование жидкого хемосорбента в объеме очищаемой жидкости. Движение фаз – противоток.

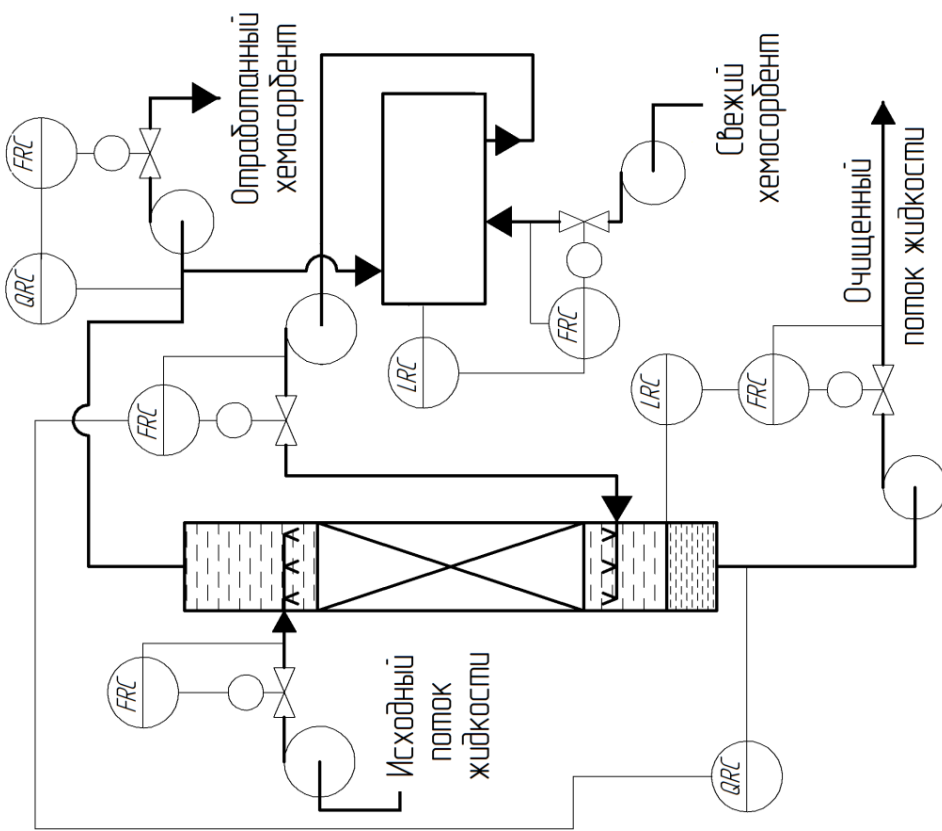


Рис.58. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки жидкости от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование очищаемой жидкости в объеме жидкого хемосорбента. Движение фаз – противоток.

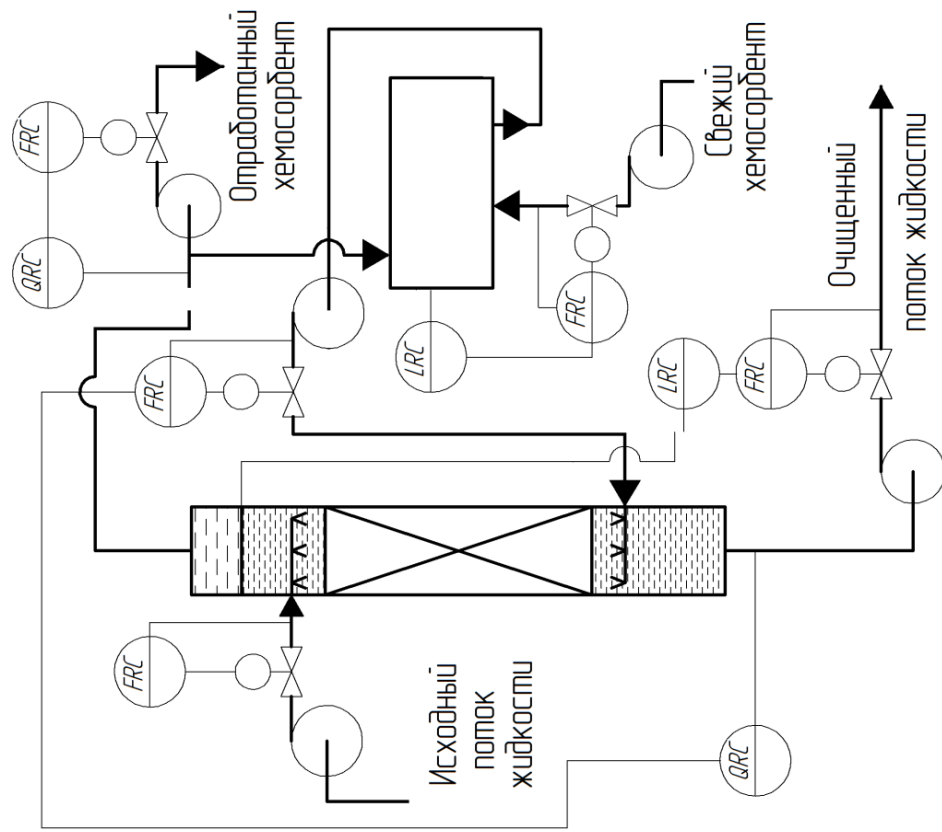


Рис.59. Аппаратурное оформление процесса хемосорбции для очистки жидкости от примесей и схема регулирования качества очистки. Диспергирование жидкого хемосорбента в объеме очищаемой жидкости. Движение фаз – проливоток.

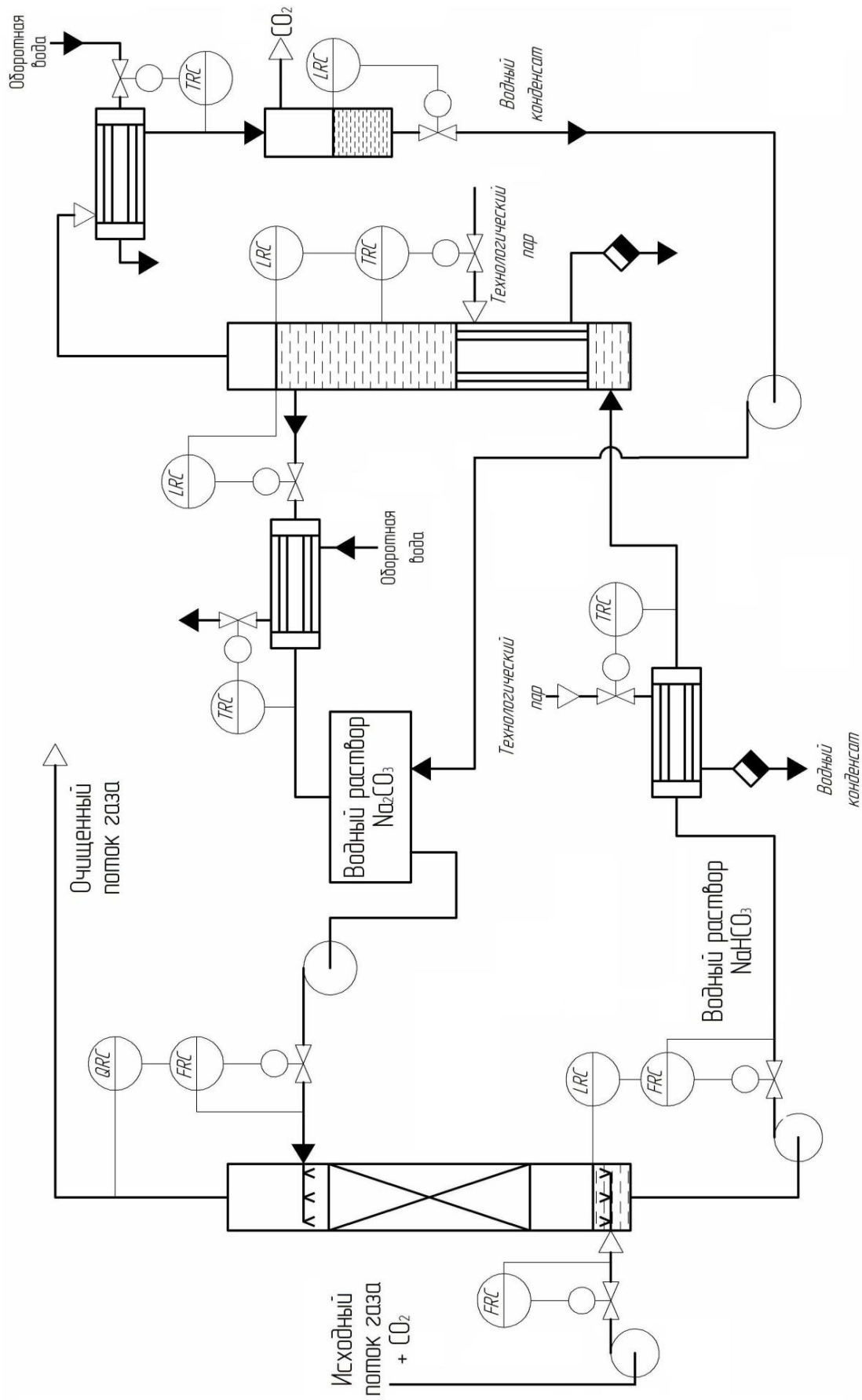


Рис. 60. Карбонатная очистка газов от диоксида углерода

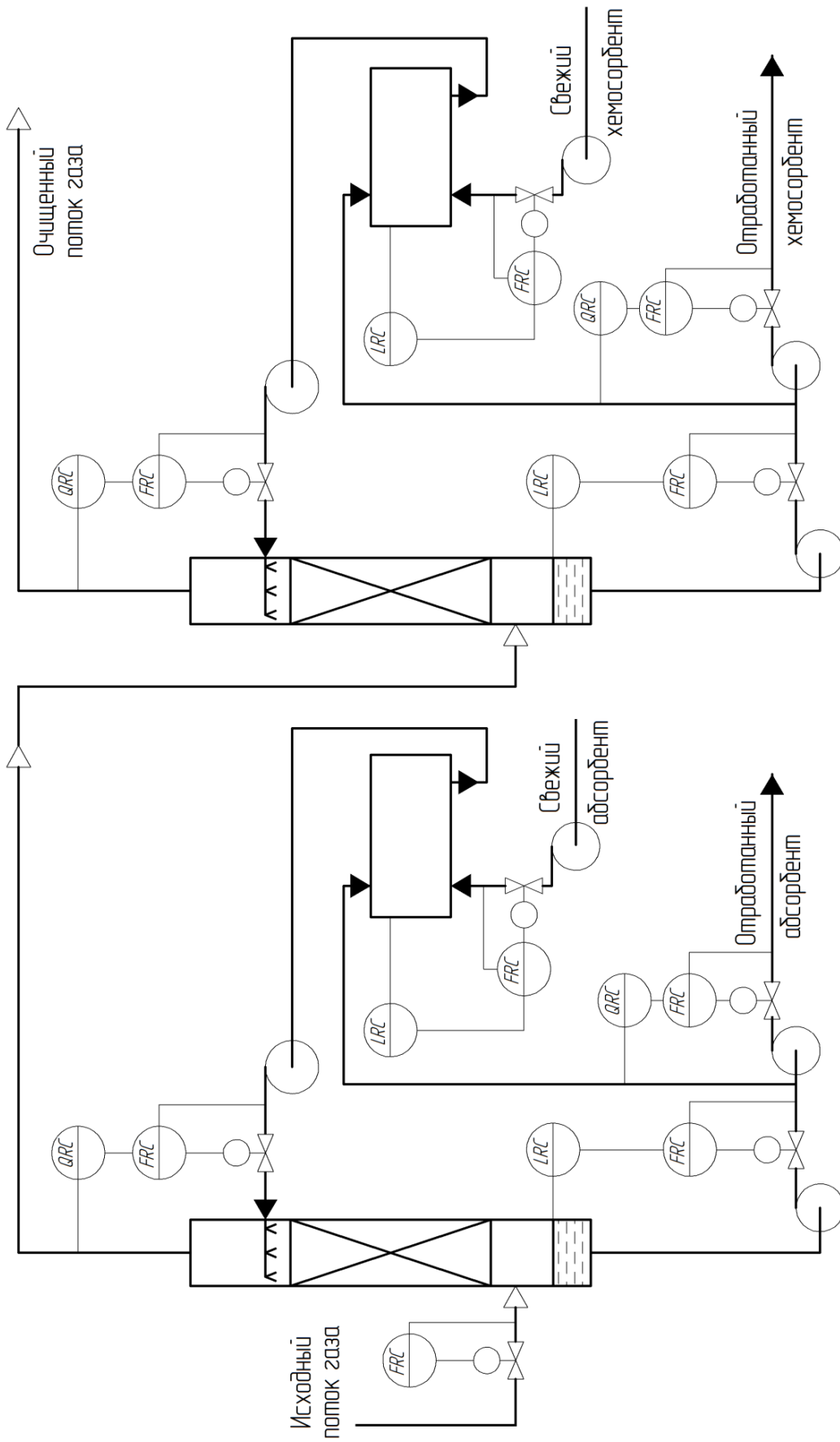


Рис. 61. Аппаратурное оформление процесса очистки газа от примесей с использованием комбинации узлов абсорбции и хемосорбции

3.1.2.7 Аппаратурное оформление узла нейтрализации

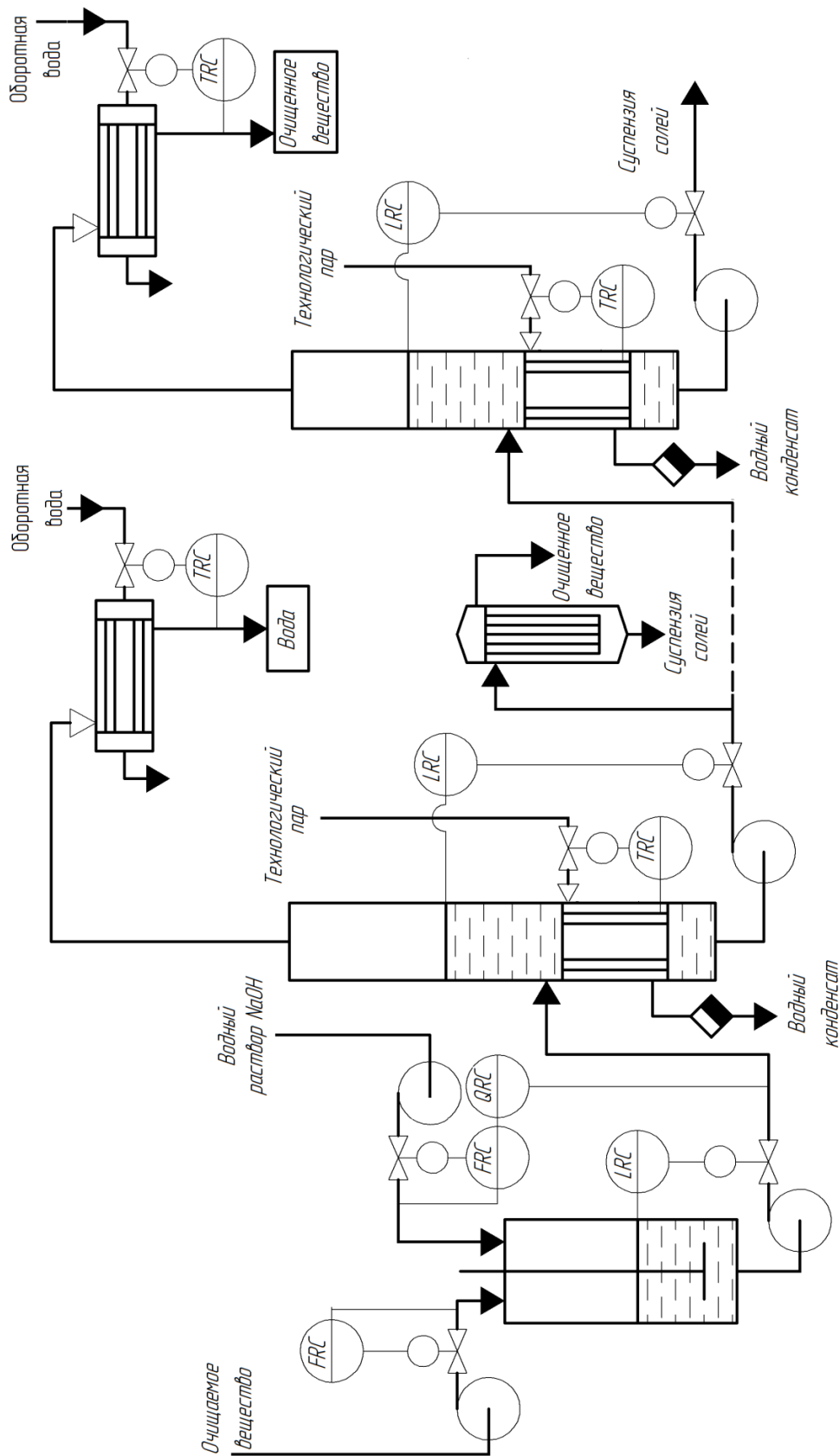


Рис.62. Аппаратурное оформление узла нейтрализации кислотных примесей

3.1.3. Аппаратурное оформление узла подготовки катализатора

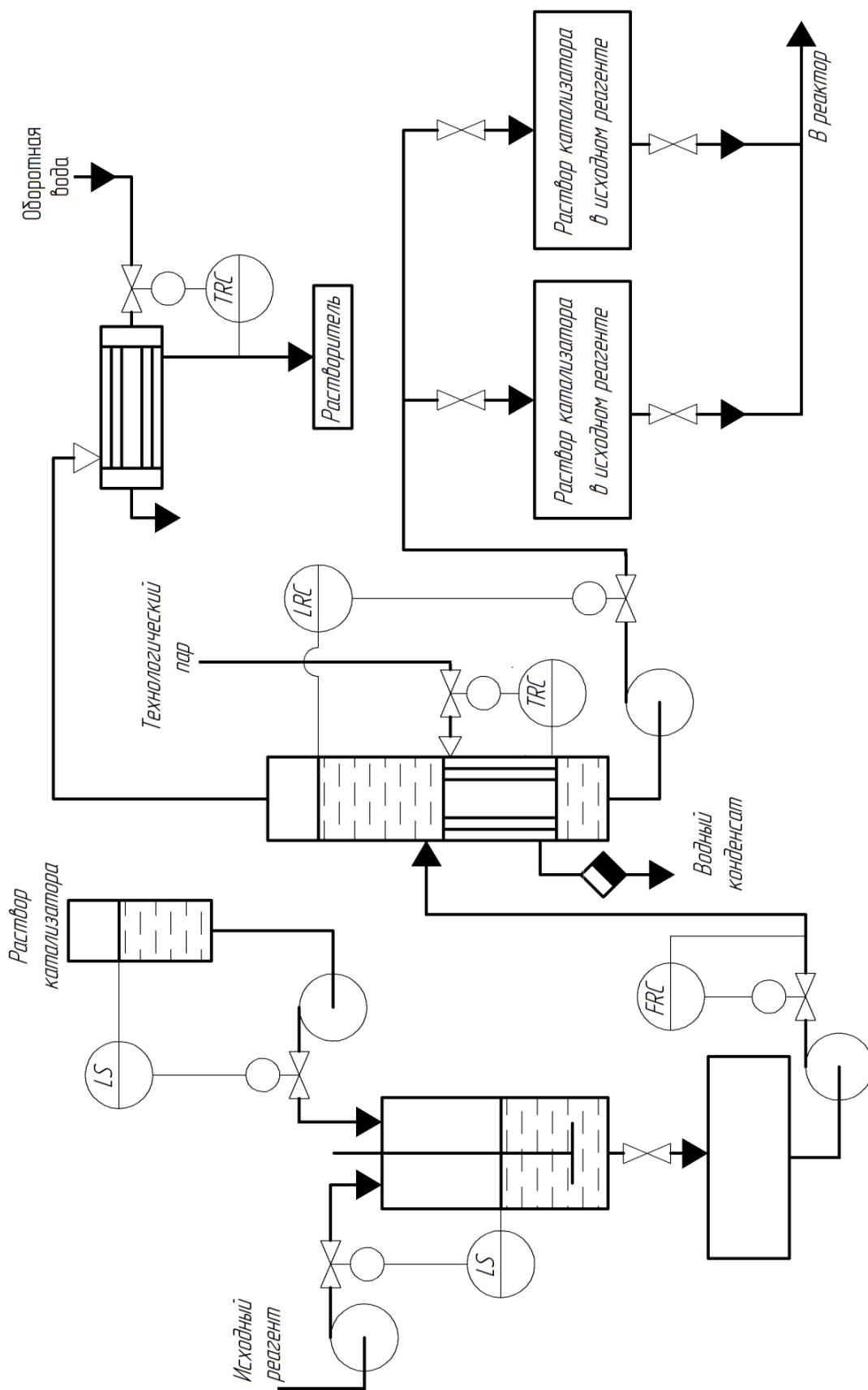


Рис. 63. Аппаратурное оформление узла приготовления раствора катализатора

3.2. Реакционная стадия

На данной стадии в аппаратах, которые называются реакторами, происходит химическое превращение исходных реагентов. При этом следует отметить, что одновременно в реакторах протекают различные физические процессы (тепловые, гидродинамические, диффузионные), целью которых является обеспечение условий для эффективного целенаправленного химического превращения исходных веществ в целевые продукты.

3.2.1. Классификация химических реакторов

Все процессы основного органического синтеза, как и сами реакторы для их осуществления, можно классифицировать по следующим признакам.

1. Агрегатному состоянию веществ, участвующих в процессе

1.1 Агрегатное состояние реагентов, растворителей, разбавителей и продуктов реакции:

- а) все компоненты в реакторе находятся в газообразном состоянии (Г-Г);
- б) все компоненты в реакторе находятся в жидком состоянии (Ж-Ж);
- в) по крайней мере одно из веществ находится в газообразном, а другое в жидком состоянии (Г-Ж);
- г) все компоненты в реакторе находятся в жидком состоянии в виде двух несмешивающихся фаз (Ж-Ж).

1.2 Агрегатное состояние катализатора.

Твердый:

- а) в стационарном состоянии;
- б) в псевдооживленном состоянии;
- в) в суспендированном состоянии;
- г) в гомогенном (растворимом) состоянии.

Жидкий:

- в) в эмульгированном состоянии;
- г) в гомогенном (растворимом) состоянии.

2. Режиму работы во времени:

- периодические реакторы (реакторы периодического действия);
- полупериодические реакторы (полунепрерывные реакторы);

- непрерывные реакторы (реакторы непрерывного действия).

3. Гидродинамическому режиму:

- реакторы вытеснения $C_i = f(V \text{ или } l)$
- реакторы смешения $C_i \neq f(V \text{ или } l)$

4. Характеру движения фаз:

Данный признак может быть применен только для процессов, работающих в непрерывном режиме и имеющих, по крайней мере, две не смешивающиеся фазы. В этом случае различают:

- прямоток;
- противоток.

5. Тепловому режиму:

- изотермический;
- адиабатический;
- политропический (политермический).

6. Способам подвода-отвода тепла (кроме адиабатического):

- через поверхность теплообмена;
- за счет кипения реагентов, продуктов или растворителя;
- за счет дозировки в реактор холодных (горячих) реагентов.

7. Способам расположения поверхности теплообмена:

- внутреннее;
- внешнее.

8. Способам развития поверхности контакта фаз:

Диспергирование одной фазы в другой:

- газа в жидкости;
- жидкости в газе;
- твердой фазы в газе или в жидкости.

Диспергирование может быть достигнуто:

- за счет использования распределительных устройств для газа и/или жидкости (барботер, насадка, разбрызгиватели и др.)
- за счет использования энергии перемешивающих устройств (диспергирование мешалками, центробежными насосами);

- за счет использования энергии потоков (диспергирование в турбулентном потоке).

9. По конструкции:

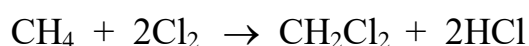
- реакционная камера;
- колонна;
- теплообменник;
- печь.

3.2.2. Аппаратурное оформление реакторных узлов и способы регулирования режима их работы в непрерывном режиме

3.2.2.1. Реакторы для проведения газофазных реакций. Катализатор – отсутствует.

Классификационный признак	Что используют
1	Г – Г. Катализатор – отсутствует
2	только реакторы непрерывного действия
3	только реакторы вытеснения
4	фаза одна
5	адиабатический, политропический
6	через поверхность теплообмена, дозировка холодных или горячих реагентов (разбавителей)
7	внутреннее
8	фаза одна
9	теплообменник, труба, печь

Пример:



Хлорирование метана до метилхлорида при 500-550°C и атмосферном давлении в адиабатическом режиме с предварительным подогревом исходных реагентов. Аппаратурное оформление узла приведено на рис. 64.



Рис.64. Аппаратурное оформление реакторного узла для осуществления газофазных реакций.

3.2.2.2. Реакторы для проведения газофазных реакций. Катализатор – стационарный слой.

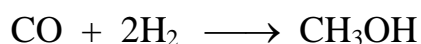
Классификационный признак	Что используют
1	Г – Г. Катализатор – ТВСС
2	только реакторы непрерывного действия
3	только реакторы вытеснения
4	движется только одна фаза – газовая
5	адиабатический, политропический
6	дозировка холодных или горячих реагентов (разбавителей), через поверхность теплообмена
7	внутреннее
8	выбор оптимального размера зерна катализатора
9	колонна, теплообменник

Примеры:

а). Дегидрирование этилбензола в стирол на гетерогенном стационарном слое катализатора – оксиде железа при 600-650°C.



б) Синтез метанола при 200-380°C и 5-35МПа.



Аппаратурное оформление реакторов для проведения газофазных реакций в присутствии стационарного слоя твердого катализатора приведено на рис.65-70.

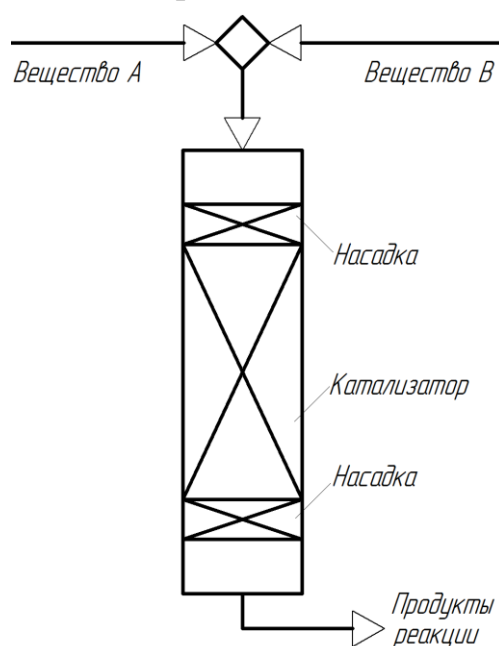
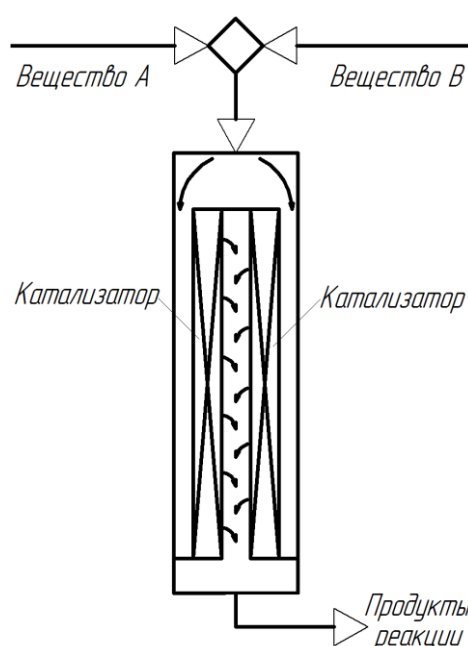


Рис.65. Адиабатический реактор аксиальным движением потока газа.



с Рис.66. Адиабатический реактор с радиальным движением потока газа.

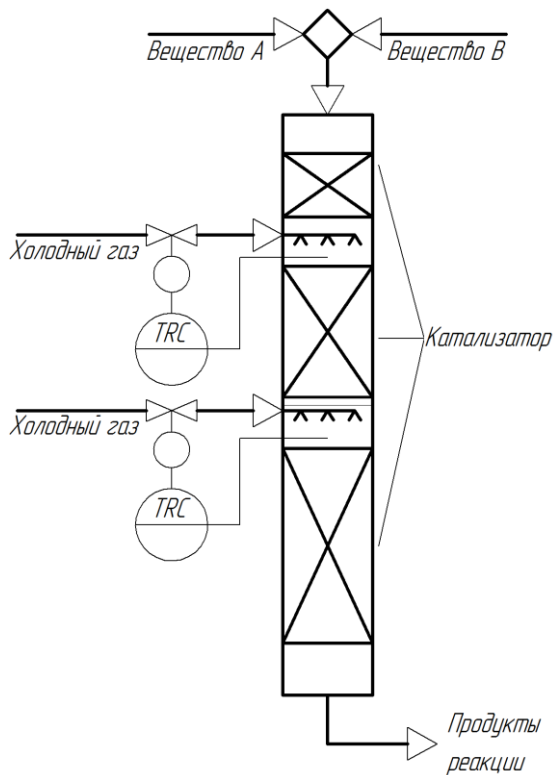


Рис.67. Адиабатический полочный реактор с дозировкой холодных (горячих) реагентов или разбавителей.

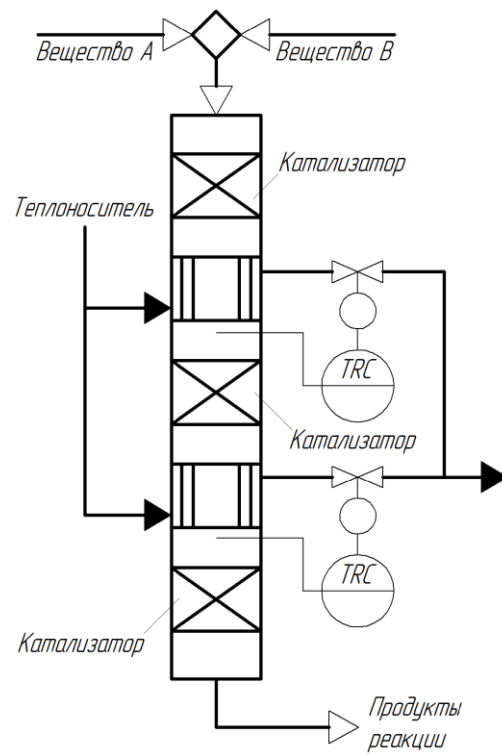


Рис.68. Адиабатический полочный реактор со встроенными теплообменными устройствами.

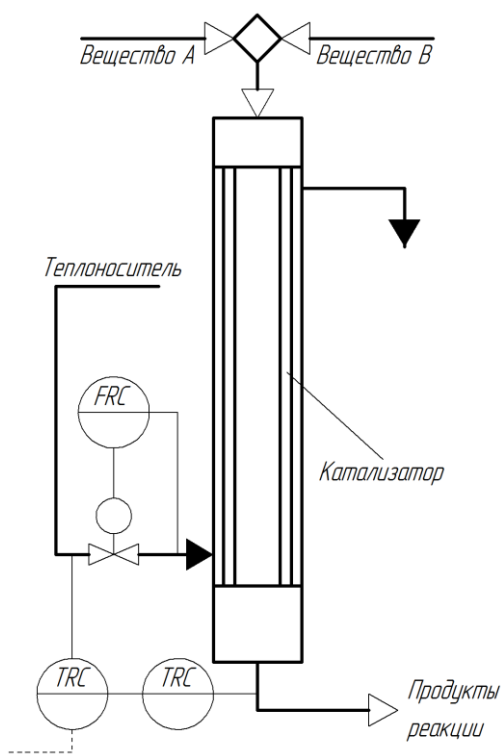


Рис.69. Политропический трубчатый реактор.

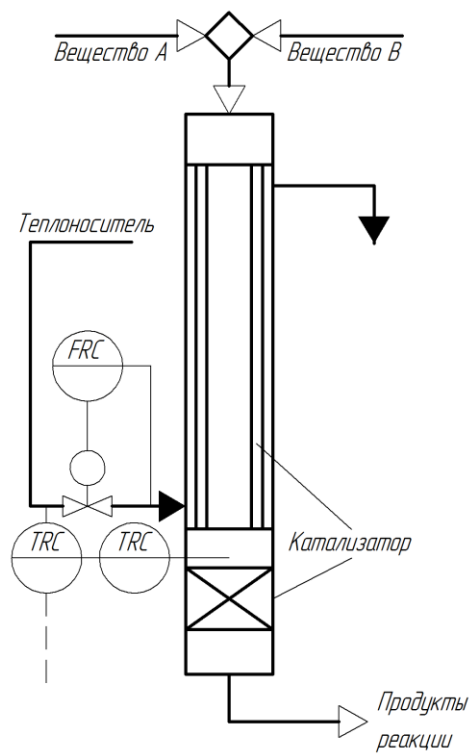


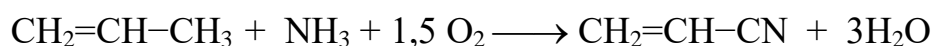
Рис.70. Каскад реакторов: трубчатый политропический и адиабатический.

3.2.2.3. Реакторы для проведения газофазных реакций. Катализатор – псевдооживленный.

Классификационный признак	Что используют
1	Г – Г. Катализатор – ТВпо
2	только реакторы непрерывного действия
3	реакторы смешения
4	хаотичное
5	адиабатический, политропический
6	через поверхность теплообмена
7	внутреннее
8	выбор оптимального размера зерна катализатора
9	колонна

Пример:

Окислительный аммонолиз пропилена до акрилонитрила в присутствии молибдата висмута ($\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{MoO}_3$) при 420-470°C и 0,2 МПа.



Аппаратурное оформление реакторов для проведения газофазных реакций в присутствии псевдооживленного катализатора приведено на рис.71-72.

3.2.2.4. Реакторы для проведения реакции в системе газ – жидкость. Катализатор – гомогенный или отсутствует.

Классификационный признак	Что используют
1	Г – Ж. Катализатор – гомогенный или отсутствует
2	все типы реакторов
3	реакторы смешения
4	прямоток, противоток
5	адиабатический, политропический, изотермический
6	через поверхность теплообмена, кипение реакционной массы
7	внутреннее, внешнее
8	диспергирование газа в объеме жидкости
9	колонна

Пример: Окисление парафинов $\text{C}_4\text{-C}_8$ кислородом воздуха до карбоновых кислот при 160-190°C и 6 МПа без катализатора или в присутствии гомогенного катализатора – солей кобальта.

Аппаратурное оформление реакторов для проведения газожидкостных реакций в отсутствие катализатора или в присутствии гомогенного катализатора приведено на рис.73 и 74.

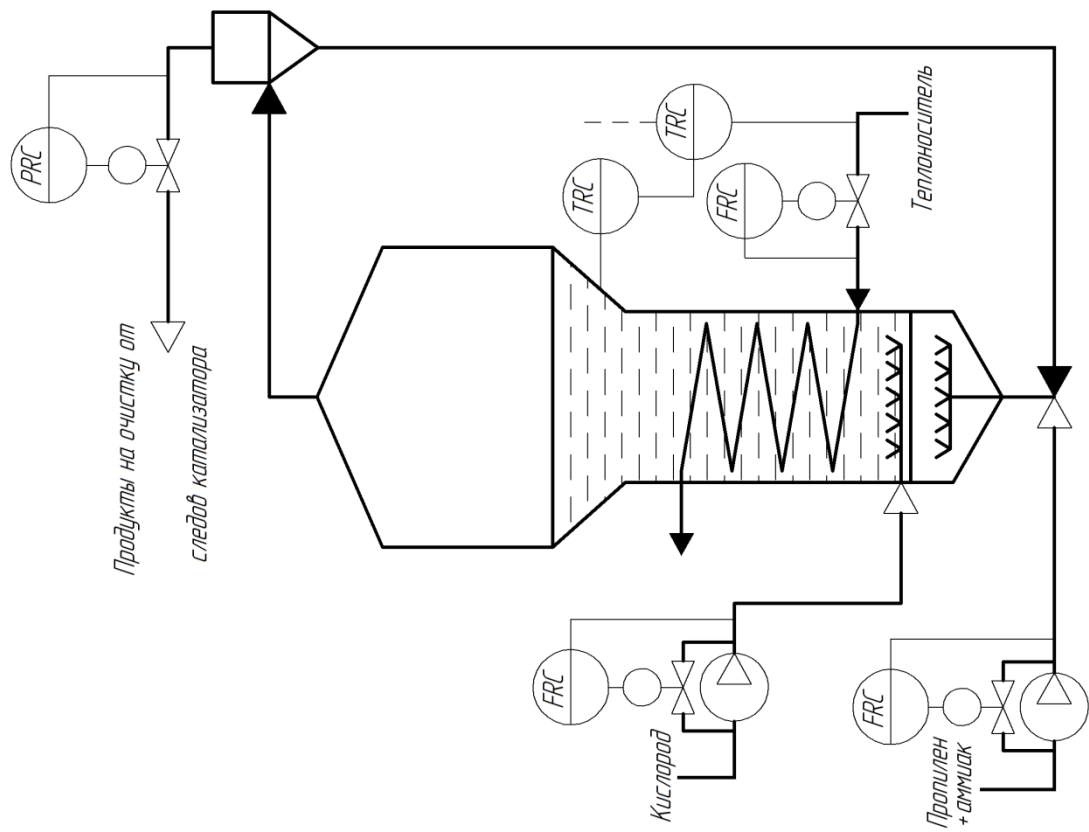


Рис. 72. Реактор с псевдооживленным катализатором. Съем тепла при вынужденном движении теплоносителя.

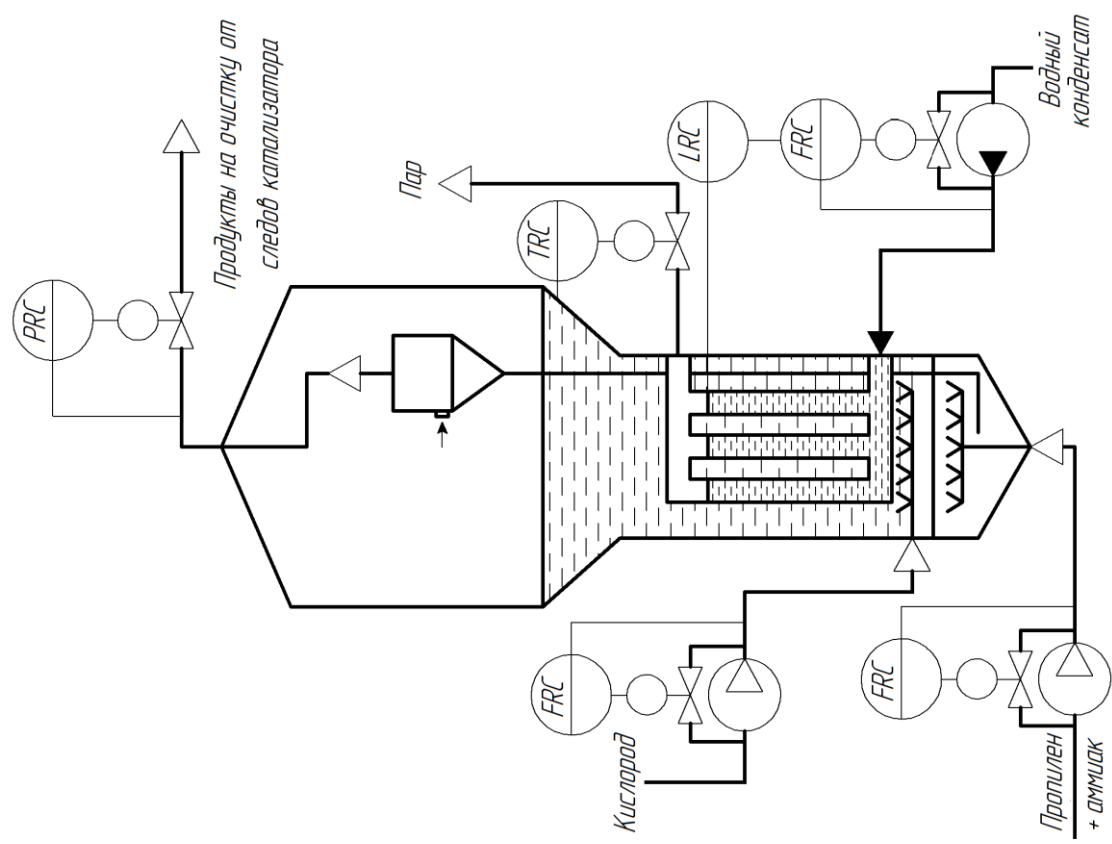


Рис. 71. Реактор с псевдооживленным катализатором. Съем тепла кипящим водным конденсатом.

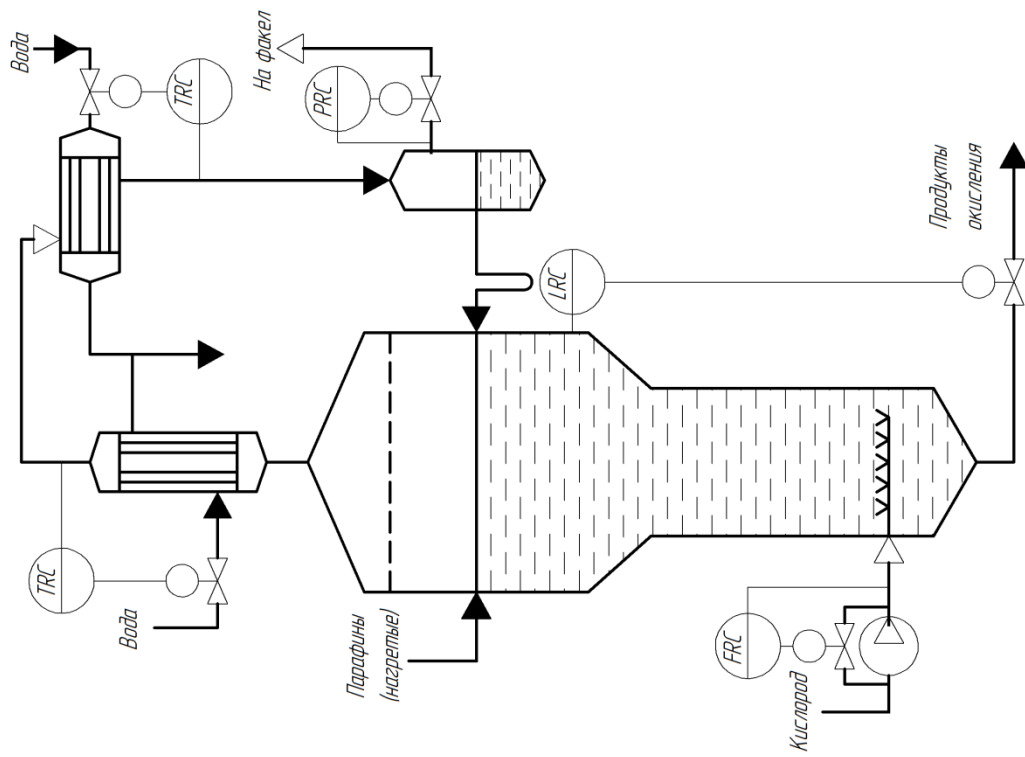


Рис.73. Барботажный изотермический реактор. Съем тепла за счет кипения жидких компонентов реакционной смеси.

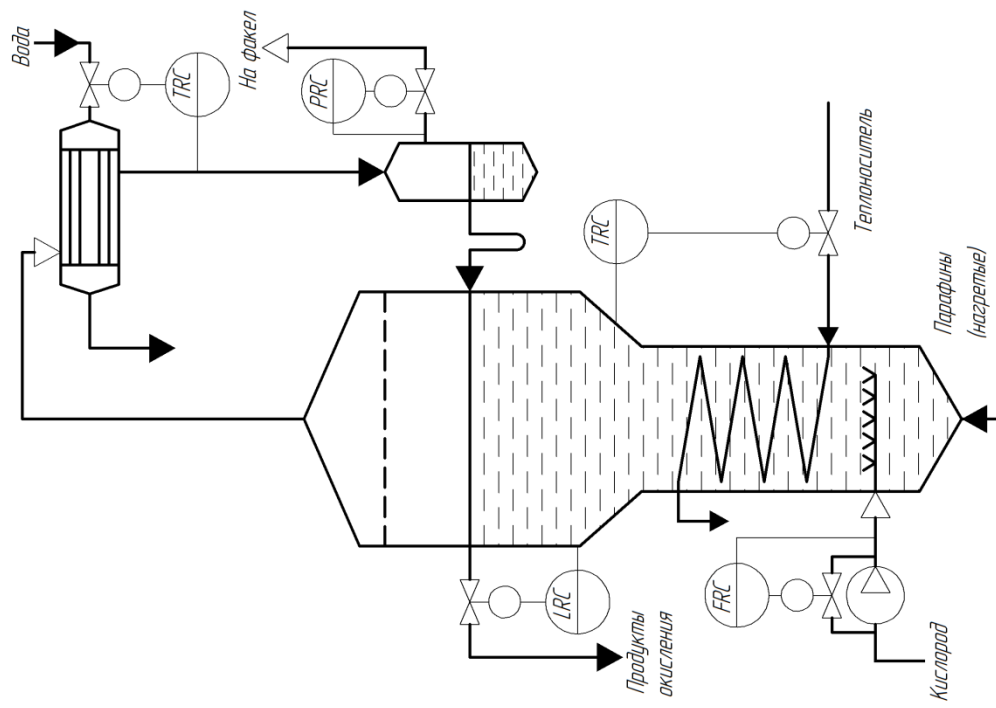
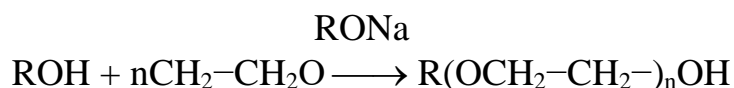


Рис.74. Барботажный политропический реактор. Съем тепла через поверхность теплообмена.

3.2.2.5. Реакторы для проведения жидкофазных реакций. Катализатор – гомогенный или отсутствует.

Классификационный признак	Что используют
1	Ж – Ж. Катализатор – гомогенный или отсутствует
2	все типы реакторов
3	реакторы смешения и вытеснения
4	фаза одна
5	адиабатический, политропический, изотермический
6	через поверхность теплообмена, дозировка холодных или горячих реагентов (разбавителей), кипение реакционной массы
7	внутреннее, внешнее
8	фаза одна
9	теплообменник, колонна, реакционная камера

Пример: оксиэтилирование спиртов в присутствии NaOH при 140-240°C и 0,5-4,0 МПа.



Аппаратурное оформление непрерывного жидкофазного политропического реактора с дробной (рассредоточенной) подачей одного из реагентов, в отсутствие катализатора или в присутствии гомогенного катализатора с элементами регулирования температуры приведено на рис.75.

3.2.2.6 Реакторы для проведения жидкофазных реакций. Катализатор – жидкий, ограниченно растворимый в реакционной смеси.

Классификационный признак	Что используют
1	Ж – Ж. Катализатор – Ж _{ор}
2	все типы реакторов
3	реакторы смешения и вытеснения
4	обычно прямоток
5	политропический, изотермический
6	через поверхность теплообмена, кипение реакционной массы
7	внутреннее, внешнее
8	механическое диспергирование катализатора
9	теплообменник, колонна, реакционная камера

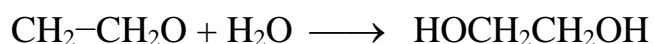
Пример: алкилирование нафталина хлорпарафинами в присутствии комплекса Густавсона, плохо растворимого в исходных углеводородах и продуктах реакции.

Аппаратурное оформление непрерывных жидкофазных политропических реакторов в присутствии плохо растворимого в реакционной смеси жидкого катализатора с элементами регулирования температуры приведены на рис.76 и 77.

3.2.2.7. Реакторы для проведения жидкофазных реакций. Катализатор – стационарный слой.

Классификационный признак	Что используют
1	Ж – Ж. Катализатор – ТВСС
2	реакторы непрерывного действия
3	реакторы вытеснения
4	движется только одна фаза – жидкая
5	политропический, адиабатический
6	через поверхность теплообмена
7	внутреннее
8	выбор оптимального размера зерна катализатора
9	теплообменник, колонна

Пример: гидратация оксида этилена в присутствии гетерогенных анионитов в каскаде реакторов при 80-120°C и 1,0-2,0 МПа.



Аппаратурное оформление непрерывного политропического жидкофазного реактора с дробной подачей одного из реагентов и с элементами регулирования температуры представлено на рисунке 78.

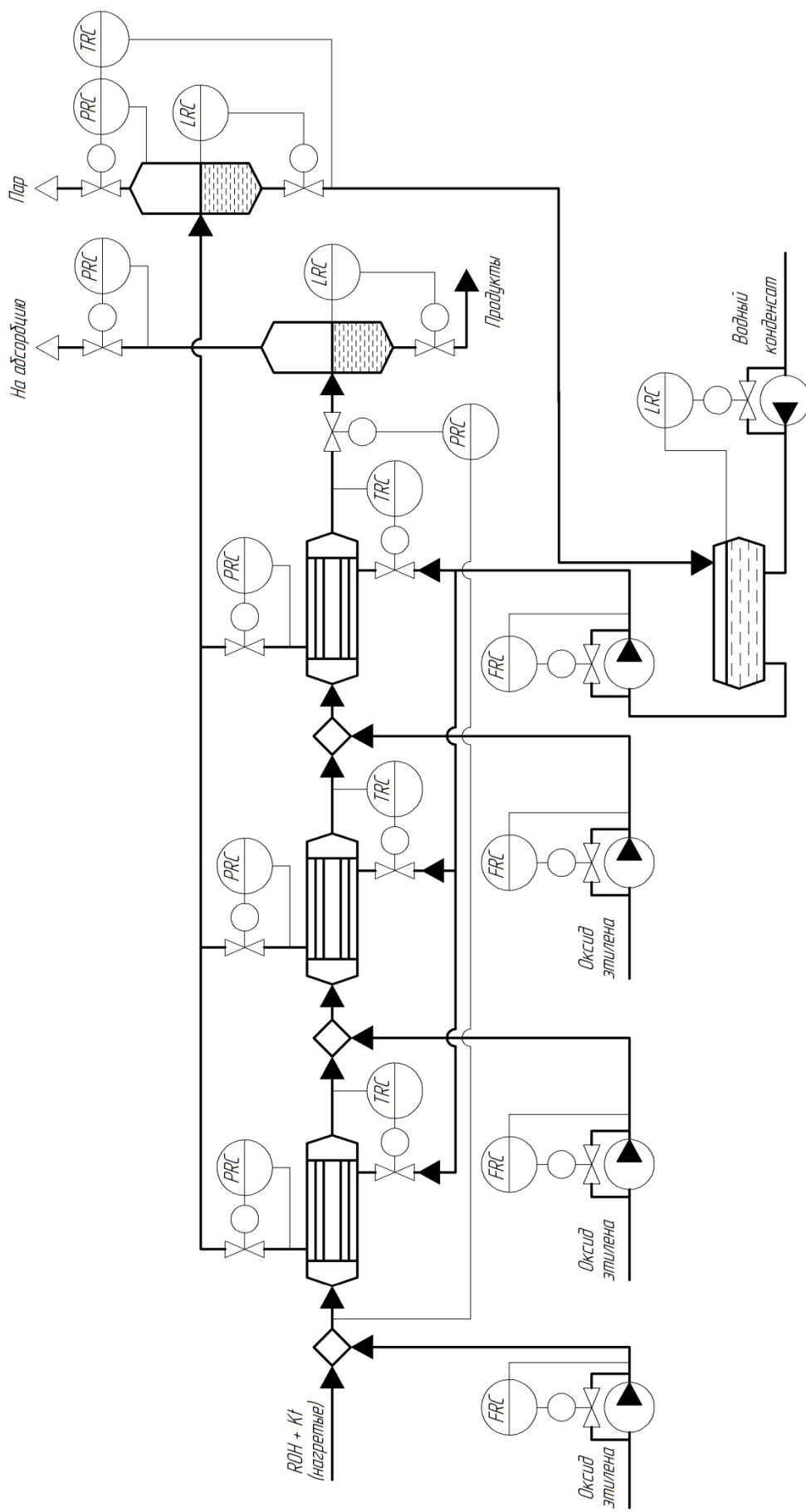


Рис. 75. Аппаратурное оформление непрерывного жидкофазного реактора в отсутствие катализатора или в присутствии гомогенного катализатора. Теплоноситель – водный конденсат под давлением.

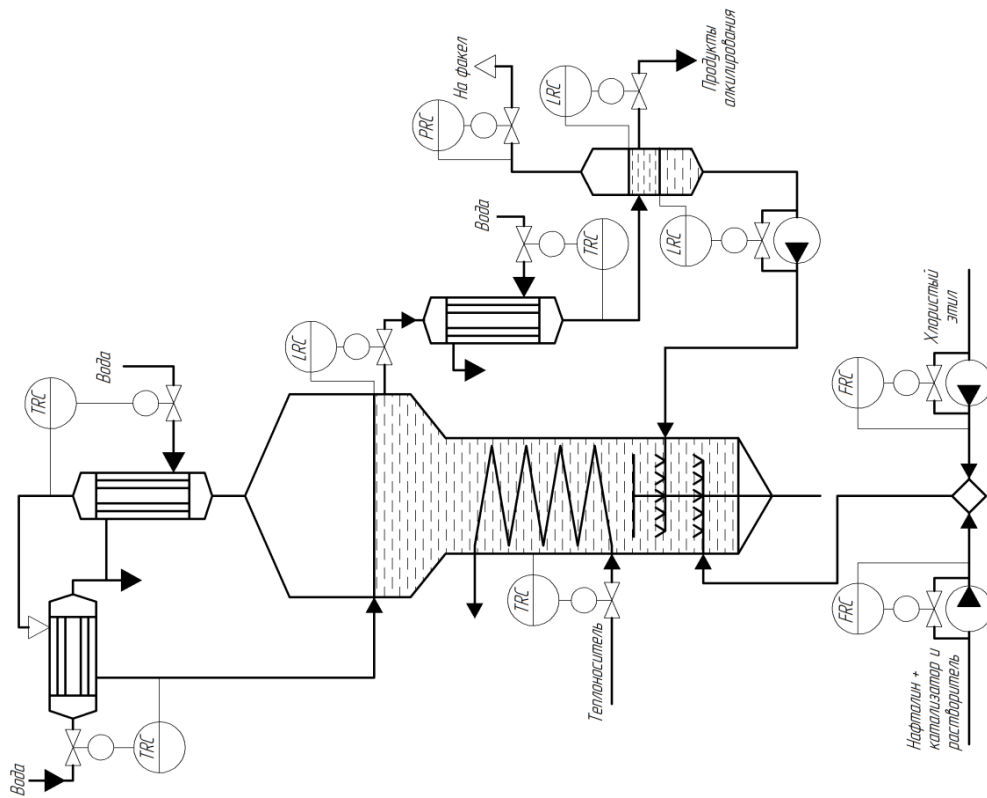


Рис.77. Аппаратурное оформление непрерывного жидкофазного политропического реактора смешения в присутствии плохо растворимого жидкого катализатора. Съем тепла через поверхность теплообмена и за счет кипения реакционной смеси.

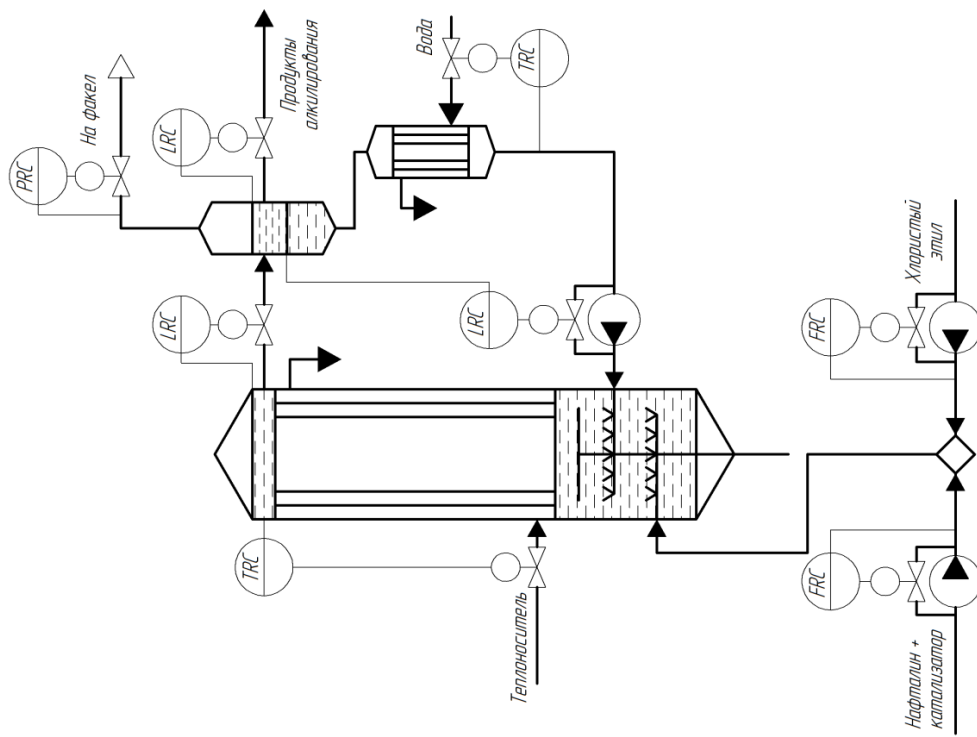


Рис.76. Аппаратурное оформление непрерывного жидкофазного политропического реактора вытеснения в присутствии плохо растворимого жидкого катализатора. Съем тепла через поверхность теплообмена.

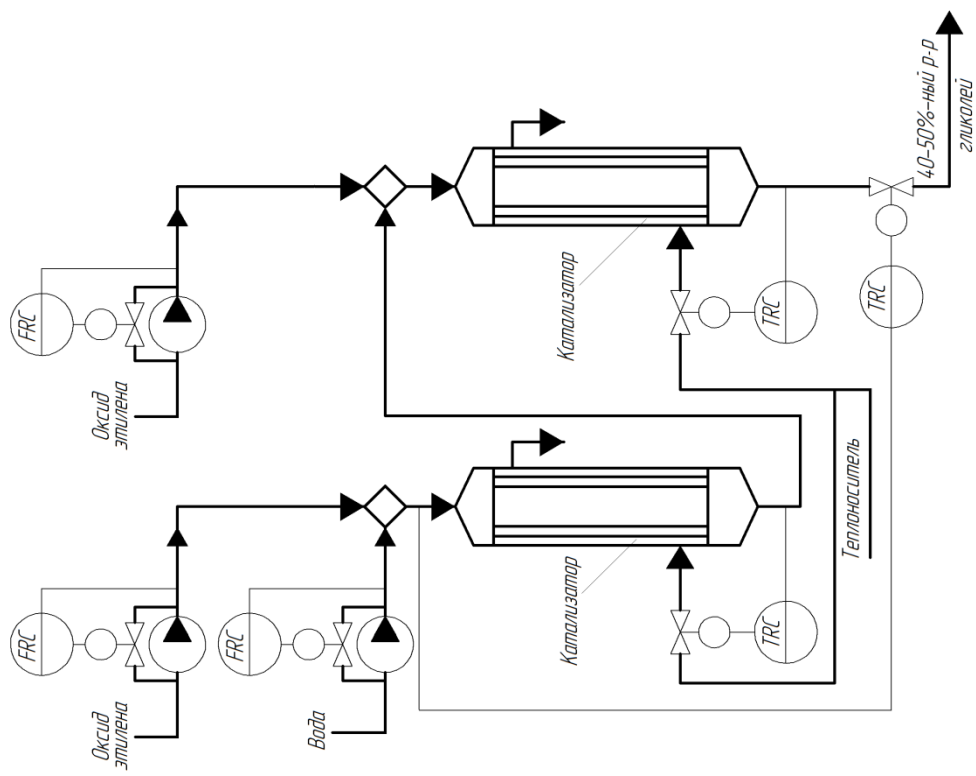


Рис.78. Аппаратурное оформление непрерывного полипропического жидкофазного реактора с дробной подачей одного из реагентов

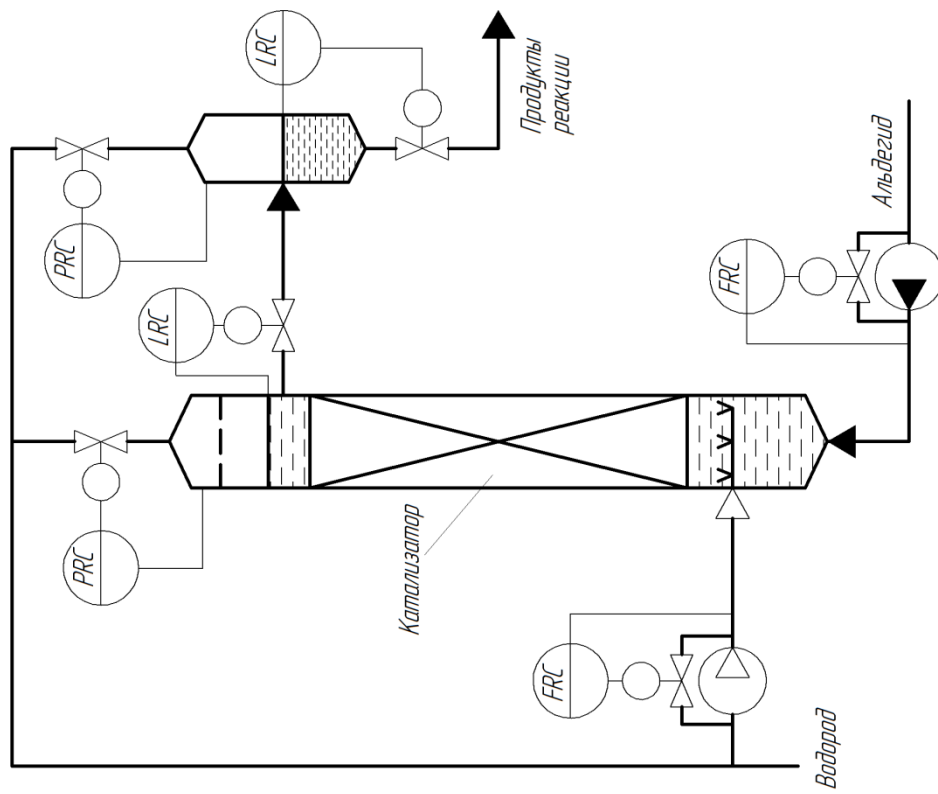


Рис.79. Аппаратурное оформление непрерывного газо-жидкостного адиабатического реактора вытеснения со стационарным слоем катализатора. Диспергирование газа в объеме жидкости. Движение фаз – прямоток.

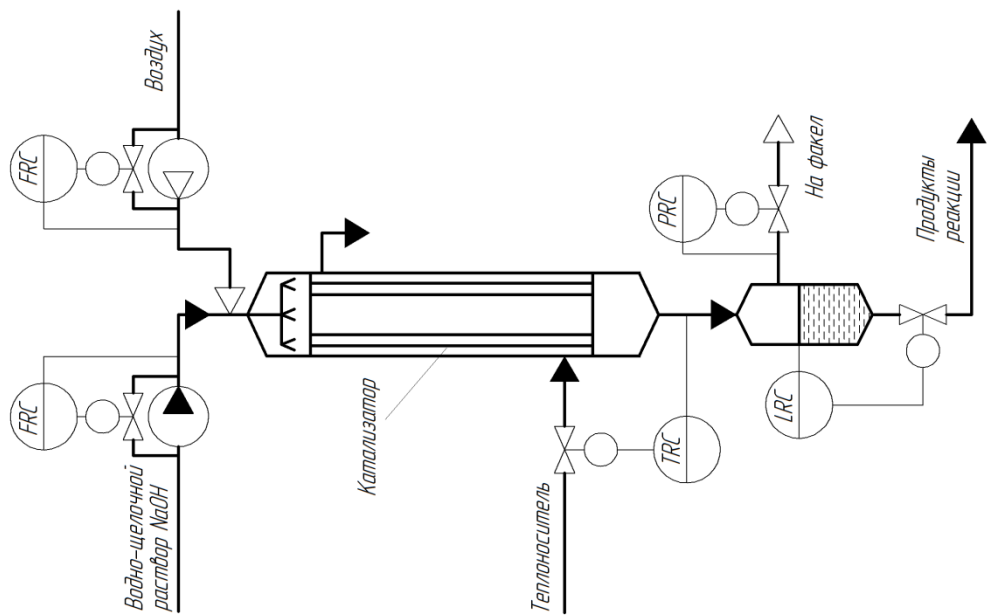


Рис.81. Аппаратурное оформление непрерывного газо-жидкостного адиабатического реактора вытеснения со стационарным слоем катализатора. Диспергирование жидкости в объеме газа. Движение фаз – прямоток.

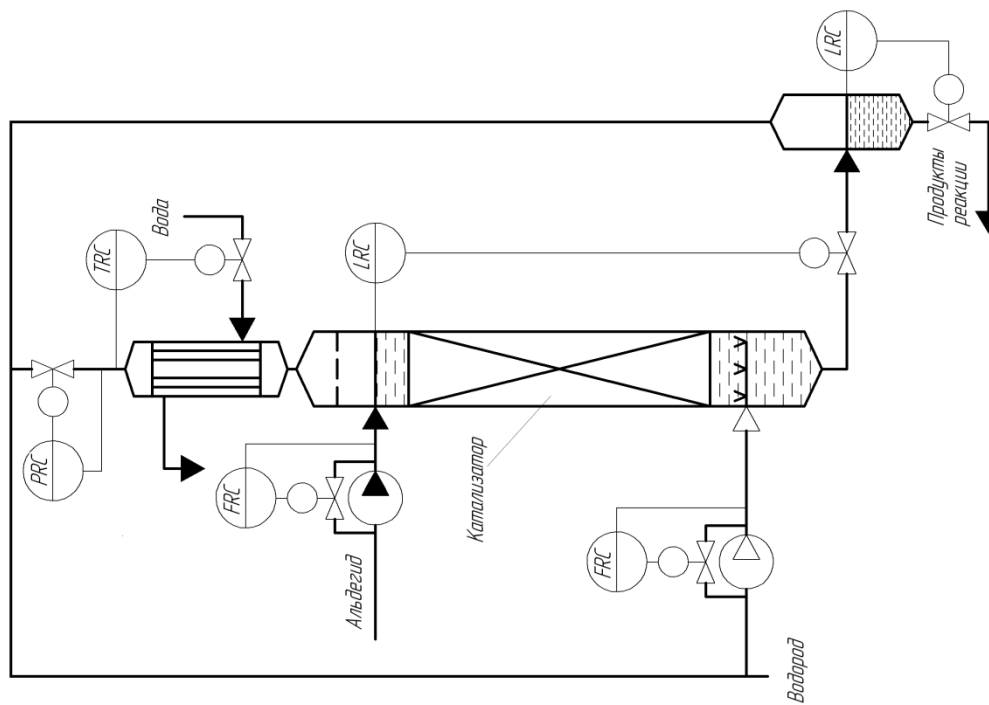


Рис.80. Аппаратурное оформление непрерывного газо-жидкостного адиабатического реактора вытеснения со стационарным слоем катализатора. Диспергирование газа в объеме жидкости. Движение фаз – противоток.

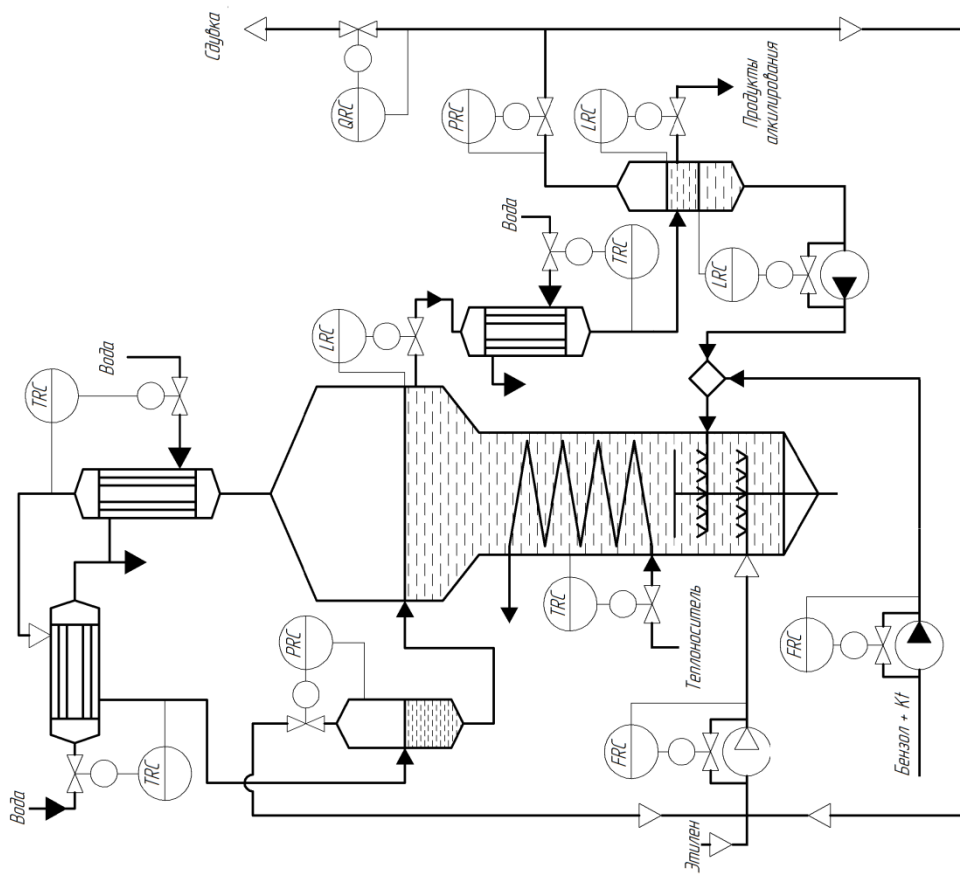


Рис.82. Аппаратурное оформление непрерывного политропического газожидкогого реактора в присутствии жидкого плохорастворимого катализатора

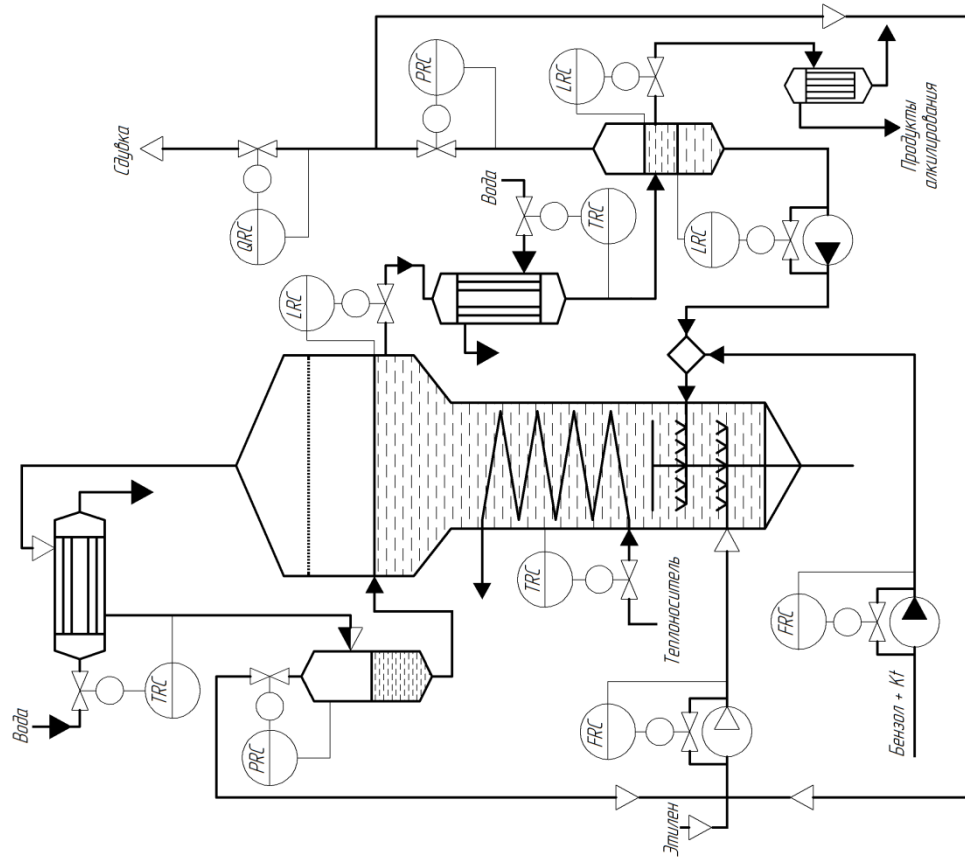


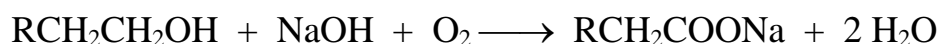
Рис.83. Аппаратурное оформление непрерывного политропического газожидкогого реактора в присутствии твердого суспендированного катализатора

3.2.2.8. Реакторы для проведения реакции в системе газ - жидкость.
Катализатор – стационарный слой.

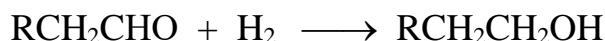
Классификационный признак	Что используют
1	Г – Ж. Катализатор – ТВ _{СС}
2	реакторы непрерывного действия
3	реакторы вытеснения
4	прямоток и противоток
5	политропический, адиабатический
6	через поверхность теплообмена
7	внутреннее
8	диспергирование газа в объеме жидкости и жидкости в объеме газа, выбор оптимального размера зерна катализатора
9	теплообменник, колонна

Пример:

а) окисление спиртов до солей карбоновых кислот на стационарном слое катализатора при 100°C.



б) гидрирование альдегидов и кетонов на стационарном слое катализатора.

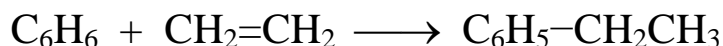


Аппаратурное оформление нескольких вариантов реакторных узлов с элементами регулирования температуры представлены на рисунках 79-81.

3.2.2.9. Реакторы для проведения реакции в системе газ–жидкость.
Катализатор – жидкий, ограниченно растворимый в жидких веществах

Классификационный признак	Что используют
1	Г – Ж. Катализатор – Ж _{ОР}
2	полупериодического и непрерывного действия
3	реакторы смешения
4	прямоток, противоток
5	политропический, адиабатический, изотермический
6	через поверхность теплообмена, кипение
7	внутреннее, внешнее
8	диспергирование газа в объеме, механическое перемешивание
9	колонна

Пример: Алкилирование бензола этиленом в присутствии комплекса Густавсона.



Аппаратурное оформление непрерывного политропического газожидкостного реактора в присутствии жидкого плохо растворимого катализатора представлено на рисунке 82.

3.2.2.10. Реакторы для проведения реакции в системе газ–жидкость. Катализатор – суспендированный

Классификационный признак	Что используют
1	Г – Ж. Катализатор – ТВ _{СП}
2	полупериодического и непрерывного действия
3	реакторы смешения
4	прямоток, противоток
5	политропический, адиабатический, изотермический
6	через поверхность теплообмена, кипение
7	внутреннее, внешнее
8	диспергирование газа в объеме, выбор оптимального размера зерна катализатора
9	колонна

Пример: гидрирование сложных эфиров высших карбоновых кислот на суспендированном медно-хром-бариевом катализаторе.

Аппаратурное оформление непрерывного политропического газожидкостного реактора в присутствии суспендированного катализатора представлено на рисунке 83.

3.2.2.11. Реакторы для проведения жидкофазных процессов. Реагенты – две жидкости, ограниченно растворимые друг в друге. Катализатор – стационарный слой.

Классификационный признак	Что используют
1	Ж – Ж _{ор} . Катализатор – ТВ _{СС}
2	непрерывного действия
3	реакторы вытеснения
4	противоток
5	политропический, адиабатический
6	через поверхность теплообмена
7	внутреннее
8	диспергирование, выбор оптимального размера зерна катализатора
9	колонна, теплообменник

Пример: синтез метил-*трет*-бутилового эфира, *трет*-бутанола, изопрена.

Аппаратурное оформление непрерывного адиабатического жидкостного реактора в присутствии стационарного слоя катализатора представлено на рисунке 84.

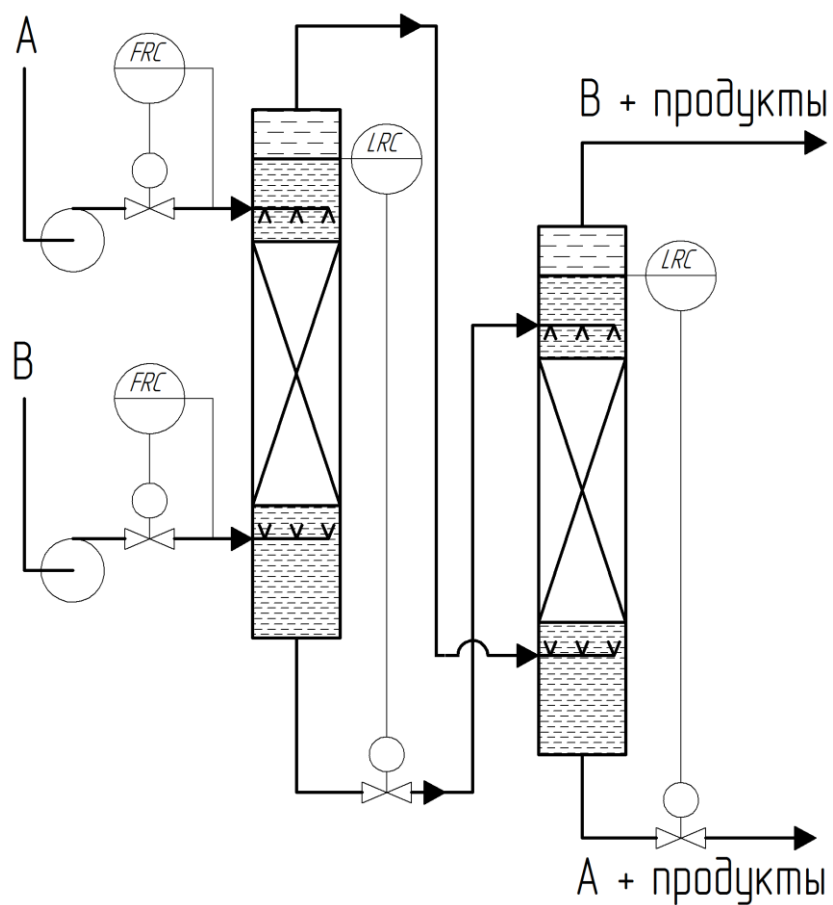


Рис. 84. Аппаратурное оформление непрерывного адиабатического жидкостного реактора со стационарным слоем гетерогенного катализатора при использовании реагентов, ограниченно растворимых друг в друге.

3.3. Стадия переработки продуктов реакции

Как правило, состоит из трех основных узлов:

- узла охлаждения (подогрева), конденсации продуктов реакции;
- узла разделения реакционной смеси;
- узла утилизации побочных и сопутствующих продуктов.

а) Узел охлаждения (нагрева) продуктов реакции

Назначение – охлаждение (нагрев) реакционной массы до температуры, обеспечивающей эффективное разделение реакционной массы. В тех случаях, когда температура на выходе из реактора равна температуре, при которой осуществляется эффективное разделение, узел охлаждения (нагрева) отсутствует.

Аппаратурное оформление – стандартные теплообменники (см. раздел 3.1.1).

б) Узел разделения реакционной смеси.

В общем виде включает в себя следующие подузлы:

- узел удаления катализатора;
- узел регенерации и утилизации катализатора;
- узел выделения целевых и полезных продуктов;
- узел утилизации побочных и сопутствующих продуктов;

В основе работы узлов разделения стадии переработки продуктов реакции лежат три основных способа разделения:

I способ. Основан на физических свойствах разделяемых веществ. К нему можно отнести:

Гравитационный метод, в основе которого лежит процесс осаждения жидких или твердых (например, катализатора) за счет гравитационных сил (силы тяжести). Обычно данный метод используют для грубого разделения суспензий или эмульсий. Конструктивно непрерывно действующие гравитационные сепараторы (отстойники) представляют собой сосуды, в которых скорость потока жидкости настолько мала, что за время нахождения потока в сосуде твердые (жидкие) частицы, имеющие большую плотность по сравнению с основной жидкой фазой, успевают осесть в нижней его части (на дно), откуда периодически или непрерывно

удаляются. Изображение отстойников на технологической схеме приведено в разделе 1, а автоматизация процесса представлена на рис.46.

Центробежный метод, в основе которого лежит процесс отделения твердых частиц от потоков жидкостей и газов за счет инерционных (центробежных) сил. Как правило, используют для интенсификации отделения твердых частиц от потока газа или жидкости. Аппаратурное оформление – циклоны или гидроциклоны (см. раздел 1), в которых при тангенциальном вводе потока в цилиндрический аппарат и закручивание потока по спирали, создается центробежная сила. Этой силой твердые частицы выносятся из потока к стенкам цилиндрического аппарата, оседают в нижней части аппарата и выводятся из него.

Для отделения твердых частиц от потока жидкости используют также центрифуги, в которых центробежная сила создается за счет вращения барабана центрифуги. Изображение на технологической схеме отстойника, циклона (гидроциклона), центрифуги и фильтра представлено в разделе 1.

Фильтрационный метод, в основе которого лежит процесс отделения твердых частиц от потоков жидкостей и газов за счет фильтрования. Как правило, используют для более полного отделения твердых частиц от потока жидкости или газа. Твердые частицы выделяются из потока газа или жидкости при его движении через слой пористого материала. Изображение промышленных фильтров периодического или непрерывного действия на технологической схеме приведено в разделе 1.

Метод мокрой очистки газов, в основе которого лежит контакт запыленного газа с промывной жидкостью (чаще всего водой). В результате такого контакта твердые частицы осаждаются на поверхности капель, на пленке жидкости или на стенках газовых пузырей, барботирующих через жидкость. Применяют для глубокой очистки потоков газа (отделения твердых частиц размером 0,3-1 мкм), когда улавливаемые частицы пыли хорошо смачиваются жидкостью и допустимы увлажнение и охлаждение очищаемого газа. Аппаратурное оформление – насадочные скрубберы, барботажные колонны и т.п. Автоматизация узлов аналогична, представленной для процессов абсорбции (рис.47 и 48).

II способ. Основан на переходе разделяемых веществ из одной фазы в другую.

Методы, в основе которых лежит фазовый переход 1-го рода (изменение агрегатного состояния одного или нескольких веществ). К ним относятся процессы выпаривания, парциальной конденсации, дистилляции, различные виды ректификации.

- выпаривание – процесс частичного испарения растворителя при кипении раствора – применяют для концентрирования жидких растворов нелетучих или малолетучих веществ, растворённых в летучих растворителях. Выпариванию подвергают растворы солей, щелочей, высококипящих жидкостей (например, водных растворов гликолей). Изображение отдельных узлов выпаривания на технологической схеме представлено в разделе 1. На рис.85 приведено аппаратное оформление и автоматизация трехкорпусной выпарной установки, в которой первый корпус обогревается свежим водяным паром, второй и третий корпуса – вторичным (соковым) паром, образующемся в первом и втором корпусах, соответственно. В первом корпусе процесс выпарки осуществляют под давлением, в третьем корпусе – под вакуумом.

- парциальная конденсация заключается в последовательной ступенчатой конденсации отдельных компонентов смеси. Преимущественно используют для предварительного грубого разделения компонентов смеси с большой разницей в температурах кипения. В качестве конденсаторов применяют аппараты воздушного охлаждения или кожухотрубчатые холодильники, а для сбора дистиллята – горизонтальные или вертикальные емкости. Аппаратное оформление узлов с элементами автоматизации приведено на рис.86.

- процесс кристаллизации – перевод вещества из растворов или расплавов в твердое состояние и отделение его в виде твёрдой фазы (кристаллов) от оставшейся жидкой фазы. В большинстве случаев включает охлаждение раствора (расплава) до температуры ниже температуры кристаллизации выделяемого компонента и последующее отделение его методами центрифугирования и фильтрования.

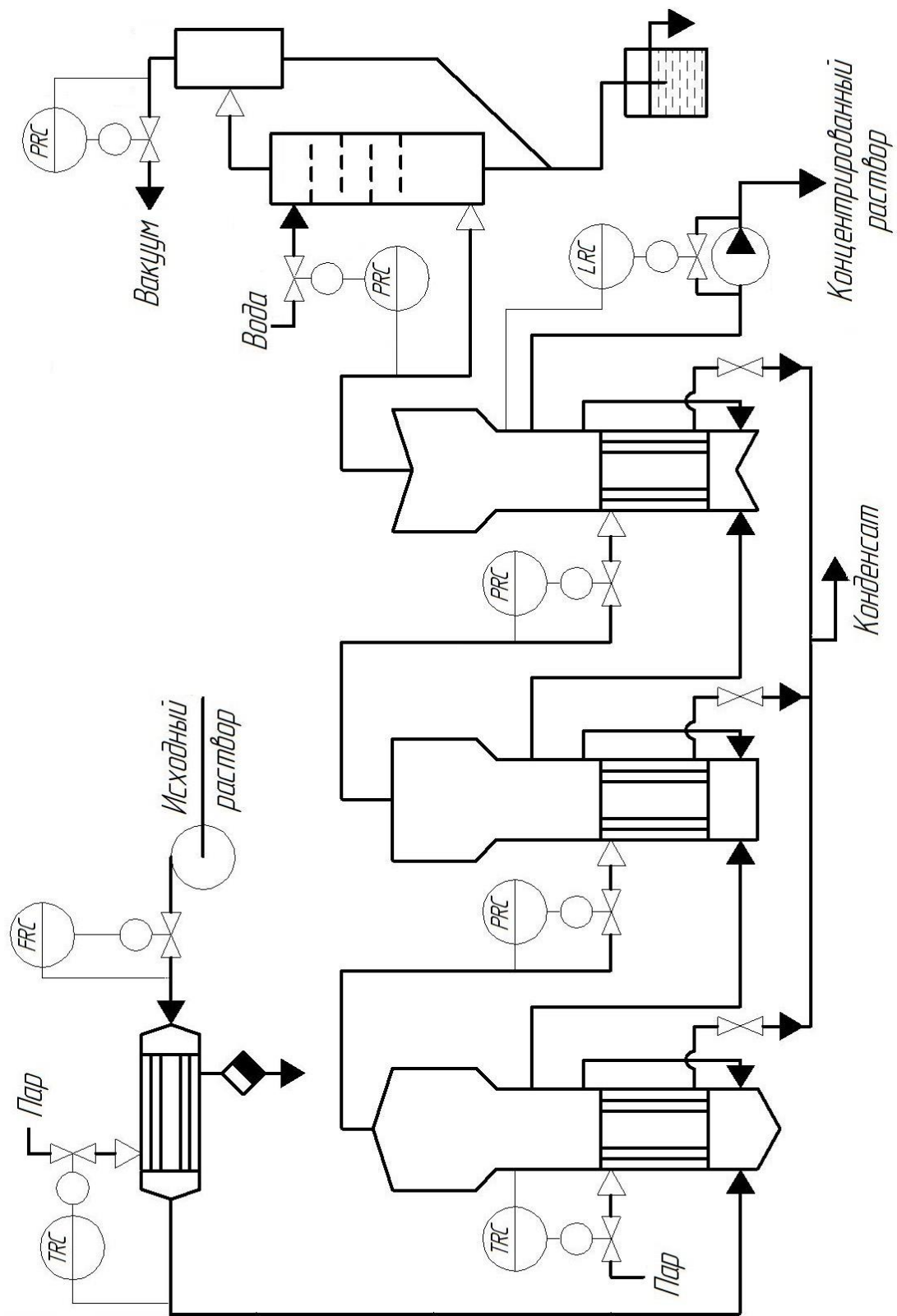


Рис. 85. Аппаратурное оформление и автоматизация трехколонной выпарной установки.

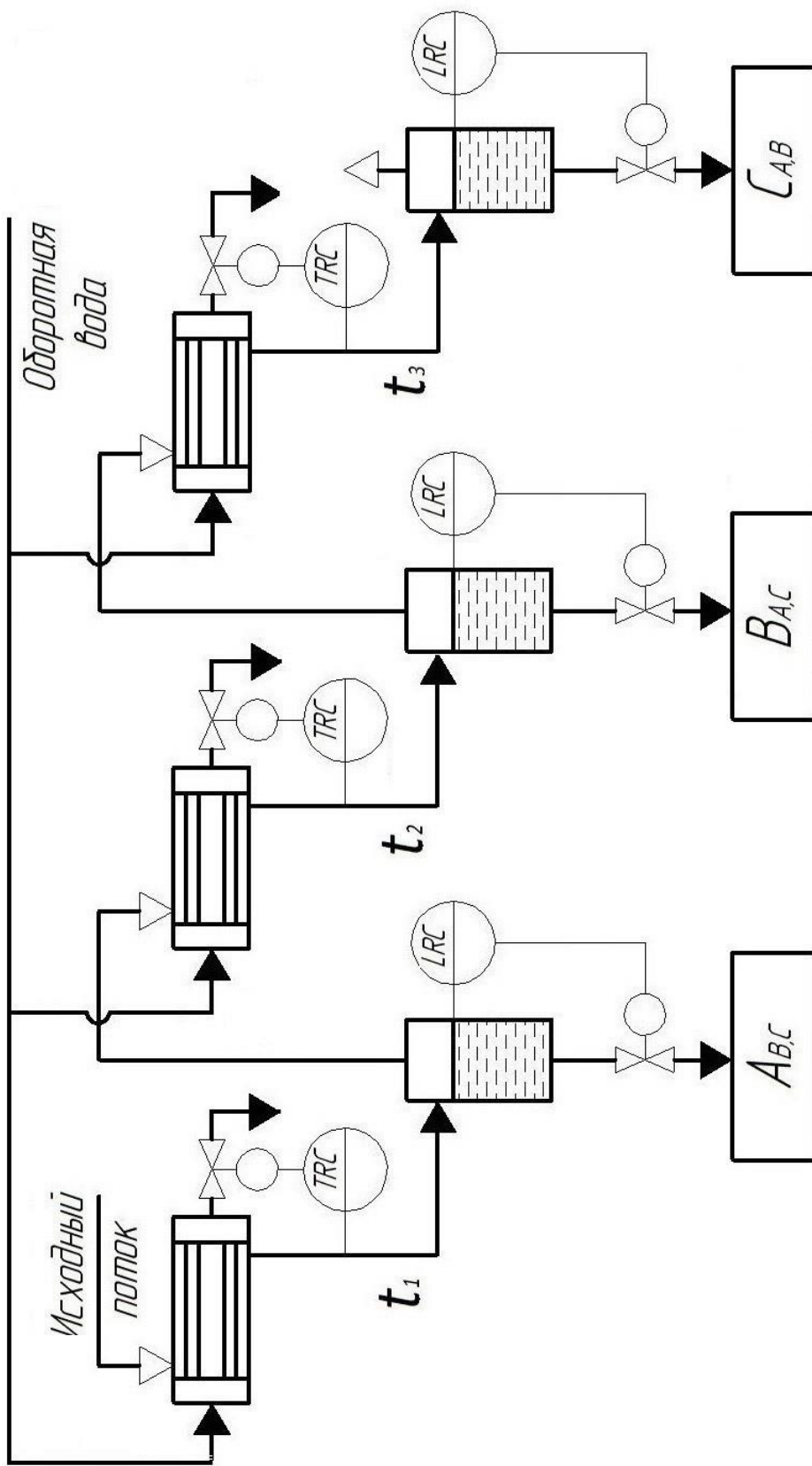


Рис. 86. Аппаратурное оформление и автоматизация узла частичной конденсации

Узел кристаллизации обычно включает в себя устройство для охлаждения раствора или расплава (теплообменник, аппарат с рубашкой и мешалкой), устройство для отделения твердой фазы (фильтры, центрифуги, гидроциклоны) и емкости для сбора фильтрата.

- дистилляция и различные виды ректификации. Данные процессы были подробно рассмотрены ранее в разделе 3.1.2.2. Аппаратурное оформление процессов представлено на рис.36 – 42.

Методы, в основе которых лежит диффузия веществ из одной фазы в другую. К ним относятся процессы абсорбции, адсорбции и экстракции.

Данные процессы были подробно рассмотрены ранее в разделах 3.1.2.2. – 3.1.2.5, и аппаратурное оформление которых представлено на рис.43 – 51.

III способ. Основан на применении химических реакций.

Данный способ часто используют для дезактивации гомогенных кислотных и основных катализаторов по необратимой реакции нейтрализации перед стадиями разделения продуктов другими методами. Аппаратурное оформление узла дезактивации гомогенного кислотного катализатора водным раствором щелочи в потоке органических веществ, плохо растворимых в воде, приведено на рис.87.

Наибольшее распространение получили способы, основанные на применении равновесных химических реакций.

В этом случае реакцию массу, содержащую, например, смесь целевого продукта В и побочного продукта С, при определенных условиях обрабатывают третьим веществом (А), в результате чего образуется новое химическое соединение целевого вещества В с третьим веществом А, которое легко отделяется от реакционной смеси. После выделения новое химическое соединение при других условиях разлагают на целевой продукт В и третье вещество (А). Последнее в полном объеме возвращают в процесс.

Аппаратурное оформление процесса разделения смеси с использованием приема равновесного химического превращения выделяемого вещества зависит от свойств и условий превращения, но, как правило, в общем виде включает в себя:

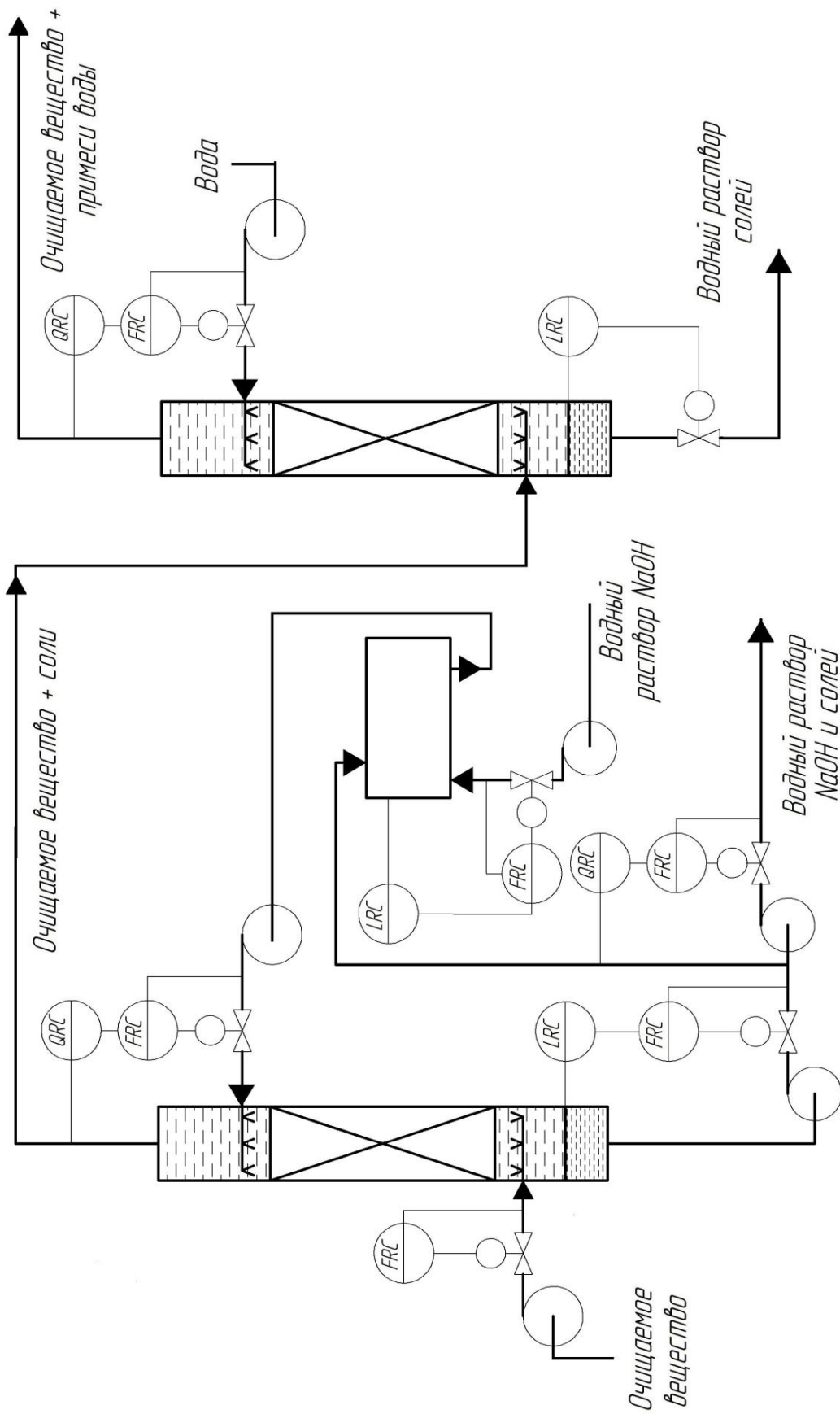


Рис. 87. Аппаратурное оформление и автоматизация узла дезактивации гомогенного кислотного катализатора водным раствором щелочи.

- узел взаимодействия разделяемой смеси с третьим компонентом;
- узел выделения продукта взаимодействия целевого продукта с третьим компонентом любым доступным физическим способом;
- узел разложения продукта взаимодействия целевого продукта с третьим компонентом с получением смеси, содержащей целевой продукт и третий компонент;
- узел выделения целевого продукта из смеси с третьим компонентом любым доступным физическим способом.

Один из примеров аппаратного оформления процесса разделения газообразной смеси с использованием приема равновесного химического превращения представлен на рис.60.

Другими примерами разделения смесей с использованием приема химического превращения являются:

- карбамидная депарафинизация, основанная на способности карбамида в определенных условиях образовывать с нормальными парафинами нерастворимые в углеводородах твердые комплексы (аддукты, клатраты), разлагающиеся при повышенной температуре;
- выделение изобутилена из бутан-бутиленовых фракций, обработкой фракций водой (метанолом) в присутствии гетерогенных сульфокатионитов с получением трет-бутанола (МТБЭ), отделением последних от углеводородов и последующее их превращение в изобутилен и воду (метанол).

Список используемых источников

1. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза: Учебное пособие для вузов. – М.: Химия, 1992. – 432с.
2. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации: Учебное пособие для вузов. – М.: Химия, 1982. – 296с.
3. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами: Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 690с.
4. Грязнов И.А., Дигуров Н.Г., Кафаров В.В., Макаров М.Г. Проектирование и расчет аппаратов основного органического и нефтехимического синтеза: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1995. – 256с.