

Федеральное агентство по образованию
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
государственного образовательного учреждения высшего
профессионального образования
Казанский государственный технологический университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ И ВЫПАРНОЙ
УСТАНОВКИ

Методические указания к курсовому и дипломному
проектированию

Нижекамск 2014 г.

Составитель : ст.преподаватель Н.И. Ларионова

В методических указаниях приведены основные промышленные варианты конструкций теплообменников, дано описание автоматизации тепловых процессов.

Методические указания предназначены для студентов Нижнекамского химико-технологического института КГТУ технологических и механических специальностей, выполняющих курсовые работы и разделы дипломных проектов, связанные с автоматизацией технологических процессов. Студентам кафедры АТПП - для проработки теоретического материала по разделу «Автоматизация тепловых процессов» и сдачи отчета.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1 Устройство теплообменных аппаратов | 5 |
| 1.1 Кожухотрубчатые теплообменники | 5 |
| 1.2 Теплообменники типа "труба в трубе" | 8 |
| 1.3 Аппараты воздушного охлаждения | 10 |
| 1.4 Спиральные и пластинчатые теплообменники | 12 |
| 2 Основы управления режимами работы теплообменников | 15 |
| 2.1 Регулирование температуры продукта на выходе теплообменников с жидким или парообразным теплоносителем | 17 |
| 2.2 Регулирование температуры на выходе воздушных теплообменников | 21 |
| 3 Автоматизация тепловых процессов | 23 |
| 3.1 Автоматизация теплообменников | 23 |
| 3.2 Автоматизация трубчатых печей | 30 |
| 3.3 Автоматизация процесса выпаривания | 34 |
| Библиографический список | 38 |

Введение

Выбор основных параметров теплообменных аппаратов, системы питания тепло-хладоносителем и оптимальных способов регулирования режима работы, должен осуществляться одновременно с выбором закона регулирования и технических средств автоматизации. Это позволит осуществить проектирование технологической части с учетом характеристик и возможностей имеющихся автоматических регуляторов, исполнительных механизмов и регулирующих органов и избежать внесения изменений в готовый проект.

При проектировании системы автоматического регулирования режимом работы теплообменных аппаратов необходимо стремиться получить оптимальные статические и динамические характеристики объекта регулирования и теплообменного аппарата как основных элементов системы автоматического регулирования, обеспечивающих проведение технологического процесса. Применяемые технические средства автоматического регулирования должны быть максимально просты и надежны. Необходимо всегда помнить, что автоматическое регулирование не может быть целью, а является только средством, способствующим:

1. сокращению численности производственного и обслуживающего персонала и высвобождению его на вредных для здоровья технологических процессах;
2. повышению количества и качества продукции;
3. экономии электроэнергии, тепло- и хладоносителя;
4. оздоровлению условий труда;
5. повышению производительности труда.

Затраты на автоматическое регулирование, за исключением эксплуатационных, являются единовременными и должны окупаться в течение установленного срока за счет экономии, исчисляемой с момента ввода системы автоматического регулирования в эксплуатацию.

1 Устройство теплообменных аппаратов

В химической технологии теплообменные аппараты применяются для нагрева и охлаждения веществ в различных агрегатных состояниях: испарения жидкостей и конденсации паров, расплавления твердых тел и кристаллизации, отвода и подвода тепла при проведении экзо- и эндотермических реакций и т.д. Соответственно своему назначению теплообменные аппараты называют подогревателями, холодильниками, испарителями, конденсаторами, плавителями и т.п.

По способу передачи тепла различают теплообменные аппараты смешения и поверхностные. В поверхностных аппаратах передача тепла происходит через твердую стенку, разделяющую теплообменивающиеся среды. В аппаратах смешения тепло от одного потока к другому передается при их непосредственном контакте.

Наибольшее распространение получили поверхностные теплообменные аппараты, так как смешение теплообменивающихся потоков не всегда допустимо.

По конструктивным признакам поверхностные теплообменные аппараты можно разделить на следующие типы:

- 1) кожухотрубчатые теплообменники (жесткого типа, с линзовым компенсатором на корпусе, с плавающей головкой, с *U*-образными трубками);
- 2) теплообменники типа "труба в трубе";
- 3) подогреватели с паровым пространством (рибойлеры);
- 4) погружные конденсаторы-холодильники;
- 5) конденсаторы воздушного охлаждения.

1.1 Кожухотрубчатые теплообменники

Эти аппараты (рис.1) имеют цилиндрический корпус, в котором установлен трубный пучок, состоящий из трубных

решеток, в которых развальцовкой или сваркой закреплены трубки. Внутри корпуса установлены перегородки, создающие определенное направление потока и увеличивающие его скорость в корпусе.

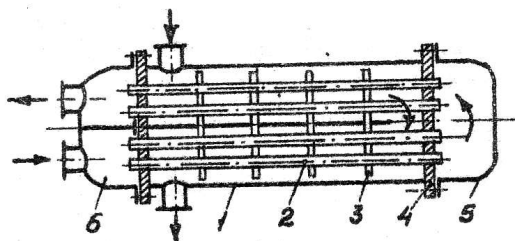


Рис 1. Кожухотрубчатый теплообменник жесткого типа: 1 - корпус; 2 - трубный пучок; 3 - перегородка; 4 - трубная решетка; 5-6 - крышки

Одна из теплообмениваемых сред движется по трубкам, а другая внутри корпуса, между трубками. В трубки подают более загрязненную среду, а также среду с меньшим коэффициентом теплоотдачи, так как очистка, наружной поверхности трубок затруднена, а скорость движения среды в межтрубном пространстве меньше чем в трубках.

Площадь проходного сечения межтрубного пространства, значительно больше (иногда в 2 раза) суммарного живого сечения труб, поэтому при одинаковых объемных расходах теплоносителей коэффициент теплоотдачи со стороны межтрубного пространства оказывается более низким. Для устранения этого явления прибегают к увеличению скорости теплоносителя путем размещения различных перегородок в межтрубном пространстве. Кожухотрубчатые аппараты соответственно местным условиям располагаются вертикально или горизонтально; при необходимости удлинения пути теплоносителей они могут соединяться последовательно, а при невозможности размещения требуемого числа труб в одном корпусе - параллельно. Для удлинения пути теплоносителей с

целью увеличения их скорости и интенсификации теплообмена используют многоходовые аппараты. Так в двухходовом аппарате (рис.1) благодаря перегородкам теплоноситель проходит сначала по трубам лишь через половину пучка и в обратном направлении - через вторую половину пучка. Второй теплоноситель движется в межтрубном пространстве, где для удлинения его пути предусмотрены сегментные перегородки. Применяются также трех- и шестиходовые теплообменные аппараты.

Рассмотренные кожухотрубчатые теплообменные аппараты характеризуются жестким креплением корпуса и трубного пучка. Они применяются при небольших разностях температур теплоносителей, вследствие возникновения температурных напряжений в элементах теплообменника.

При больших разностях температур потоков в трубках и межтрубном пространстве аппараты снабжаются компенсирующими устройствами. Простейшим среди них является линзовый компенсатор в корпусе аппарата (рис.2), позволяющий трубному пучку удлиняться в определенных пределах без остаточных деформаций.

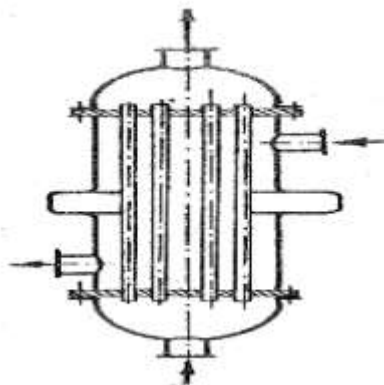


Рис.2. Кожухотрубчатый теплообменник с линзовым компенсатором в корпусе

Практически неограниченной компенсацией температурных удлинений отличаются аппараты с плавающей головкой, в которых одна из трубных решеток может свободно перемещаться внутри корпуса теплообменника.

Теплообменники с *U*-образными трубами имеют трубный пучок, трубки которого изогнуты в виде латинской буквы *U*. Оба их конца закреплены в одной трубной решетке, что обеспечивает свободное удлинение трубок независимо от корпуса аппарата.

1.2 Теплообменники типа "труба в трубе"

Теплообменные аппараты "труба в трубе" (рис.3) состоят из ряда последовательных элементов, образуемых двумя соосными трубами разных размеров. Один из теплоносителей движется по внутренней трубе, а второй - в кольцевом пространстве между наружной поверхностью внутренней трубы и внутренней поверхностью внешней трубы. Элементы соединяются между собой калачами, образуя плоский змеевик любой требуемой длины, прямые участки которого имеют рубашки.

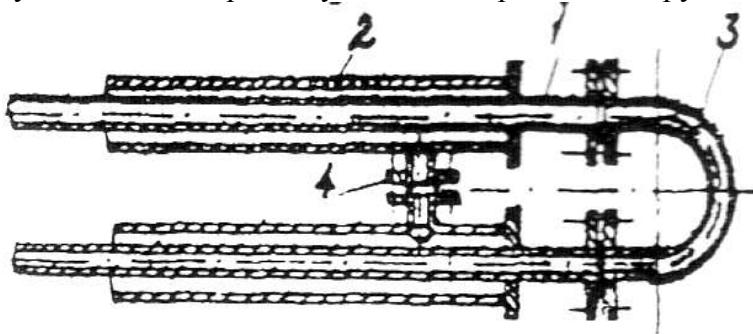


Рис.3. Теплообменный аппарат "труба в трубе" : 1 - внутренняя труба; 2 - внешняя трубе; 3 - калачи; 4 - патрубки с фланцами

Внешне трубы соединяются посредством патрубков с фланцами, чем удлиняется путь теплоносителя в кольцевом

пространстве. Благодаря такому способу соединения отдельных элементов аппарат может быть легко демонтирован для очистки поверхности теплообмена и ремонта.

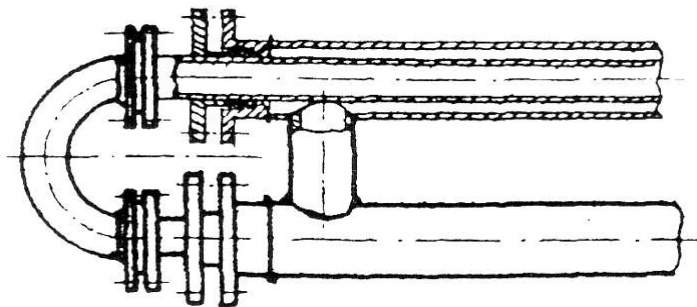


Рис.4. Теплообменник "труба в трубе" с сальниковым уплотнением труб

Кроме неразъемного соединения труб каждого элемента, при необходимости частой чистки всех поверхностей применяют разъемное соединение труб. В случае больших разностей температур обоих теплоносителей разъемное соединение труб осуществляется при помощи сальников (рис.4), обеспечивающих компенсацию термического расширения.

Длина труб неразборных теплообменников составляет от 3 до 12 м, а наружный диаметр от 48 до 219 мм при давлении 6,4 МПа.

Теплообменники разборной конструкции компонуются из труб длиной от 3 до 9 м диаметром 89 мм (для наружных труб) и 48 мм (для внутренних). Аппараты рассчитаны на условное давление до 4 МПа.

Достоинством рассматриваемых теплообменных аппаратов является возможность создания высоких и даже одинаковых скоростей обоих теплоносителей и, следовательно, больших коэффициентов теплоотдачи. К числу их недостатков относятся большое гидравлическое сопротивление и значительная металлоемкость.

1.3 Аппараты воздушного охлаждения

Все более широкое использование в качестве конденсаторов и холодильников получают аппараты воздушного охлаждения, в которых охлаждающим агентом служит поток атмосферного воздуха. Применение этих аппаратов позволяет осуществить значительную экономию охлаждающей воды, уменьшить количество сточных вод. Кроме того, исключается необходимость очистки наружной поверхности теплообменных труб.

Поверхность теплообмена аппарата воздушного охлаждения скомпонована из секций труб. Через трубчатые секции вентилятором продувается охлаждающий воздух. По трубам секций пропускают охлаждаемую или конденсируемую среду. Секции могут располагаться горизонтально, вертикально, наклонно (в виде шатра) и зигзагообразно (рис.5).

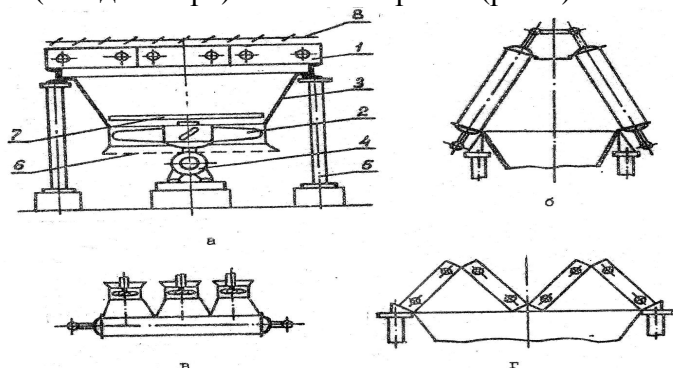


Рис.5. Аппараты воздушного охлаждения: а - горизонтальный; б - шатровый; в - вертикальный; г - зигзагообразный. 1 - секция; 2 - колесо вентилятора; 3 - диффузор; 4 - электродвигатель; 5 - колонна; 6 - решетка ограждающая; 7 -коллектор впрыска химически очищенной воды; 8 – жалюзи

Для повышения эффективности аппарата при сравнительно высокой температуре окружающего воздуха (летом) на выходе воздуха из вентилятора предусмотрен

кольцевой коллектор для увлажнения воздуха с целью снижения его температуры. Секция аппаратов воздушного охлаждения состоит обычно из четырех, шести или восьми рядов оребренных труб, которые расположены по вершинам равносторонних треугольников и закреплены развальцовкой, а в ряде случаев - с последующей приваркой в двух трубных решетках, имеющих крышки (рис.6).

Оребрение выполняют глубокой спиральной накаткой труб из деформируемого алюминиевого сплава, завальцовкой в спиральную канавку на трубе, приваркой металлической ленты, а также непрессовкой ребер.

Крышки секций снабжены перегородками, которые делят трубный пучок на отдельные ходы. Трубчатые секции рассчитаны на условное давление 0,6-6,4 МПа.

Для подачи охлаждающего воздуха применяют осевые вентиляторы пропеллерного типа с диаметром колеса 0,8-7 м и производительностью до 1,5 млн.м³/ч. Частота вращения колеса составляет 160-500 об/мин.

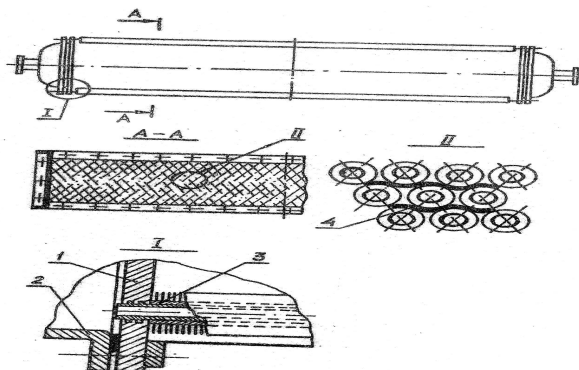


Рис.6. Секция аппарата воздушного охлаждения: 1 - решетка; 2 - крышка; 3 – труба с оребрением; 4 - дистанционная прокладка

Коэффициенты теплопередачи для аппаратов воздушного охлаждения составляют 235-582 Вт/(м²*К). Сравнительно низкое их значение компенсируется значительным оребрением труб, а также высокими скоростями движения потока воздуха.

Аппараты воздушного охлаждения размещают на металлоконструкциях, железобетонных опорах или непосредственно на верху ректификационных колонн. В последнем случае обеспечивается меньшее гидравлическое сопротивление для потока паров, поступающих на конденсацию с верха колонны, что выгодно для аппаратов, которые работают под вакуумом.

1.4 Спиральные и пластинчатые теплообменники

В трубчатых теплообменниках поверхность теплообмена, приходящаяся на единицу объема аппарата, составляет в среднем $50-90 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

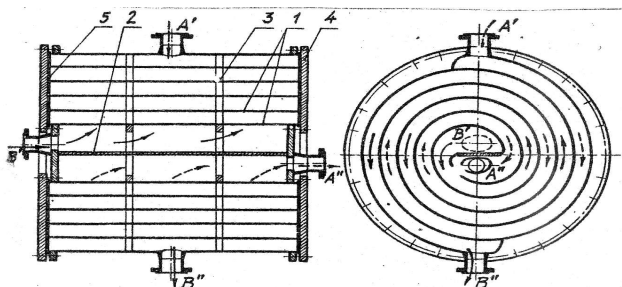


Рис.7. Спиральный теплообменник: 1 - спиральные ленты; 2 - разделительная перегородка; 3 - дистанционные ребра; 4 - крышка; 5 - прокладка

Значительное увеличение этого показателя (до 1400 и выше) достигается использованием в качестве элемента, теплообмена плоских или профильных листов. К аппаратам такого типа относятся спиральные и пластинчатые теплообменники. Благодаря большой поверхности теплообмена последние обеспечивают более мягкий и равномерный обогрев даже при малой разности температур, что особенно важно при работе с термонеустойчивыми продуктами.

В спиральных теплообменниках поверхность теплообмена образуется спирально свернутыми стальными лентами (рис.7).

Движение теплоносителей происходит по двум спиральным каналам прямоугольного сечения шириной 8 или 12 мм и высотой от 0,2 до 1,5 м. Направление потоков может быть как прямоточным, так и противоточным.

Достоинством спиральных теплообменников является их компактность, высокие скорости и, как следствие, более высокие тепловые характеристики. Из-за низкого гидравлического сопротивления и отсутствия застойных зон спиральные теплообменники, главным образом, используют для нагревания или охлаждения шлемов, высоковязких жидкостей, а также жидкостей с взвешенными или твердыми примесями. В вертикальном положении их можно использовать в качестве конденсаторов или испарителей, однако при этом стоимость и эксплуатационные расходы спиральных теплообменников выше, чем у других теплообменников, поэтому они применяются редко.

Спиральные теплообменники общего назначения с поверхностью теплообмена от 10 до 100 м², рассчитанные на давление до 1 МПа и температуру от -20 до +300°С, выпускаются следующих видов: СТО-одинарные, СТС-секционные, СТВ-блочные.

Наиболее высокие технико-экономические показатели имеют пластинчатые теплообменники. Они представляют собой (рис.8) пакет стянутых между двумя плитами гофрированных вертикальных пластин, разделенных между собой эластичными фигурными прокладками, образующими волнообразные каналы для движения теплоносителей. Прокладки располагаются таким образом, чтобы поочередно поправить теплоносители в каналы между пластинами одним или несколькими параллельными потоками. В зависимости от того, как распределяются потоки по каналам, аппарат может работать при параллельном, последовательном или последовательно-параллельном распределении потоков. Движение теплоносителей в аппарате при этом может происходить в целом по противоточной,

прямоточной или смешанной схемам.

Пластины штампуют из листов толщиной 0,8-1,2 мм с площадью теплообмена 0,8 или 0,5 м². Наличие гофров на них помимо жесткости конструкции обеспечивает значительную турбулизацию потоков и, следовательно, повышение коэффициентов теплопередачи и компактности размещения поверхности теплообмена. Кроме того, пластинчатые теплообменники отличаются простотой изготовления, малым гидравлическим сопротивлением, удобством монтажа и очистки от загрязнений. Как и спиральные теплообменники, их целесообразно использовать в качестве подогревателей, холодильников или рекуператоров для чистых или загрязненных жидкостей с низкой вязкостью, когда процесс теплообмена не связан с изменением агрегатного состояния теплоносителей.

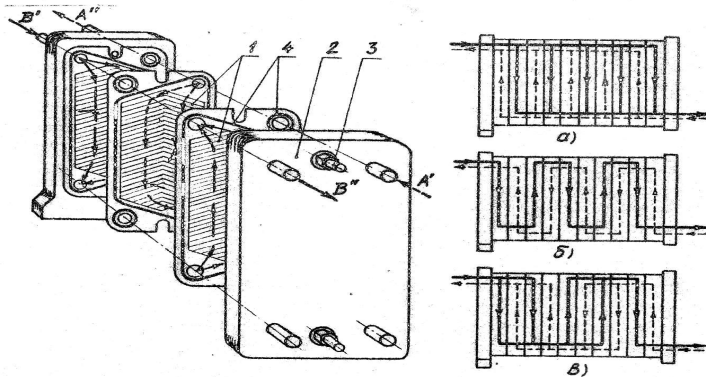


Рис.8. Пластинчатый теплообменник: 1 - гофрированные пластины; 2 - плита; 3 - стяжка; 4 - прокладки. Распределение потоков: а - параллельное; б - последовательное; в - последовательно-параллельное

Стандартные пластинчатые разборные теплообменники типа ТПР выпускаются четырех видов: 1 - на консольной раме; 2 - на двухпорной раме; 3 - на трехпорной раме; 4 - на двухпорной раме с промежуточной плитой (с площадью теплообмена от 3 до 320 м² рассчитанные на давление до 1,6 МПа и температуру от -30 до +180°С).

2 Основы управления режимами работы теплообменников

Передача энергии в многочисленных и разнообразных технологических процессах (от сгорания топлива в котельных установках до перекачивания насосом жидкости по трубопроводу) подчиняется одним и тем же законам. В частности, энергия (тепловая, электрическая, гидравлическая) при всех ее превращениях сохраняется в соответствии с первым законом термодинамики.

В процессе теплообмена, энергия передается от одного вещества к другому без превращения. В других процессах передача энергии сопровождается превращением ее из одной формы в другую. Основным условием регулирования технологических процессов является сохранение их материального и энергетического балансов.

Из тепловых процессов химической технологии наиболее распространены теплообменные процессы.

В ряде случаев теплообменники могут являться самостоятельными объектами регулирования, например, при использовании теплообменников в качестве холодильников или нагревателей, когда один из теплоносителей является конечным продуктом. Тогда замкнутая система регулирования будет состоять из теплообменника и автоматического регулятора.

В более сложных случаях теплообменники могут являться только частью объекта регулирования, например, при использовании их в качестве холодильников или дефлегматоров в ректификационных колоннах или при подаче или отборе тепла в реакторах. Замкнутая система регулирования в таком случае будет состоять из сложного объекта регулирования и автоматического регулятора.

Независимо от назначения теплообменника режим и параметры его работы определяются:

1) необходимостью стабилизации температуры одного из теплоносителей на выходе из теплообменника (подогрев сырья

при подаче в ректификационную колонну, использование теплообменника в качестве кипятильника в ректификационной колонне);

2) необходимостью изменения температуры на выходе из теплообменника (использование теплообменника в качестве дефлегматора при стабилизации давления в ректификационной колонне, в качестве нагревателя в системе отопления).

Такие режимы работы теплообменников можно обеспечить изменением следующих параметров: расхода нагреваемой (охлаждаемой) среды, расхода теплоносителя, расходов нагреваемой (охлаждаемой) среды и теплоносителя, температуры подаваемого в теплообменник теплоносителя. Чаще всего на практике применяется способ изменения расхода теплоносителя. В теплообменных аппаратах с жидким или парообразным теплоносителем (кожухотрубчатые, "труба в трубе", змеевиковые, пластинчатые) изменение расхода теплоносителя зависит от степени открытия задвижки, регулирующей подачу теплоносителя в теплообменник. В аппаратах воздушного охлаждения режим работы определяется: изменением частоты вращения колеса вентилятора; изменением угла наклона лопастей вентилятора; применением жалюзийных устройств, дросселирующих поток воздуха; отключением части или всех вентиляторов; рециркуляцией части воздуха и дренированием в атмосферу; увлажнением воздуха. Применение жалюзийных устройств, рециркуляции и дренирования воздуха, не обеспечивает экономии энергии, поэтому эти способы менее выгодны. Однако жалюзийные устройства ввиду простоты получили широкое распространение. Для изменения частоты вращения колеса вентилятора предусматривают установку многоскоростных электродвигателей, управляемых гидравлических и электрических муфт, коробок передач, двигателей постоянного тока с тиристорными напряжениями, асинхронных двигателей с преобразователями частоты. Угол наклона, лопастей вентилятора периодически можно изменять

(во время остановки вентилятора). Применяют также конструкции вентиляторов, имеющих механизм поворота лопастей с ручным ИЛИ автоматическим управлением, но они сложны и в практике широкого распространения не получили.

2.1 Регулирование температуры продукта на выходе теплообменников с жидким или парообразным теплоносителем

Если известно место нанесения основного возмущающего воздействия, а все остальные параметры, влияющие на процесс, стабилизированы, то целесообразно применять систему автоматического регулирования (САР), основанную на принципе "по возмущению" (рис.9). Если на объект могут быть нанесены одновременно несколько возмущающих воздействий, то необходимо применять САР "по отклонению" (рис.10).

Пусть известно, что на объект регулирования (теплообменник) может быть нанесено только одно основное возмущающее воздействие со стороны расхода исходного продукта, подаваемого на нагрев (охлаждение). Тогда САР температуры на выходе из объекта регулирования, построенная на принципе "по возмущению", может быть представлена в следующем виде (рис.9). В данном случае стабилизируется расход исходного продукта и, таким образом, осуществляется поддержание температуры готового продукта на заданном уровне.

Средства автоматизации, входящие в функциональную схему (рис.9, а): 1-1 - сужающее устройство (например, диафрагма);

1-2 - дифманометр с дистанционной передачей показаний (например, 13ДД11);

1-3 - вторичный измерительный регистрирующий прибор с местной станцией управления (например, ПВ10.1Э);

1-4 - регулятор (например, ПР3.31);

1-5 - исполнительный механизм с регулирующим органом;
 2-1 - измеритель температуры (например, термометр сопротивления или термопара);
 2-2 - вторичный измерительный и регистрирующий прибор (например, автоматический электронный уравновешенный мост для автоматический электронный потенциометр).

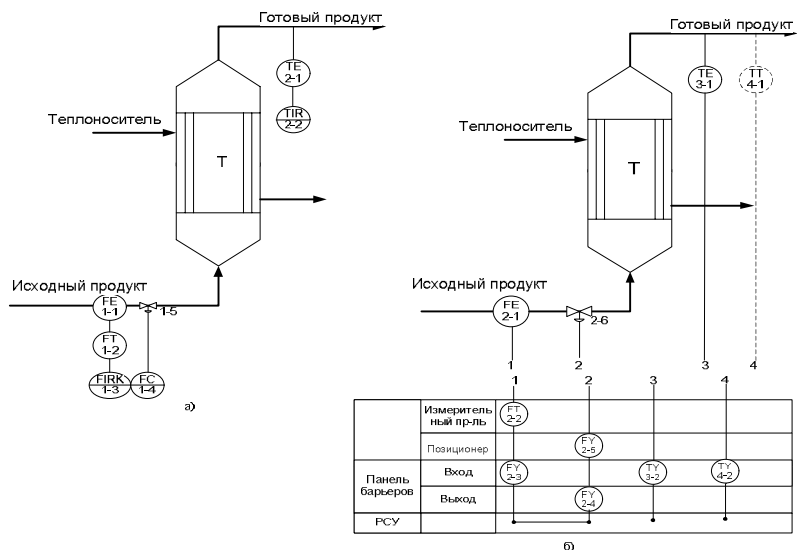


Рис.9. Функциональная схема САР "по возмущению"

а) локальный контур регулирования расхода; б) контур регулирования расхода; контроль температуры с применением PCSU

(рис.9 б): 2-1 - сужающее устройство (например, диафрагма);

2-2 – Метран 100 ДД;

2-3 – входной барьер искробезопасности (HID 2030);

2-4 – выходной барьер искробезопасности (HID 2038);

2-5 – электропневматический позиционер;

2-6 - исполнительный механизм с регулирующим органом.

3-1 - измеритель температуры (например, термометр сопротивления или термопара с неунифицированным выходным сигналом);

- 3-2 - входной барьер искробезопасности (HID 2072);
- 4-1 - измеритель температуры (например, термометр сопротивления или термопара с унифицированным выходным сигналом);
- 4-2 - входной барьер искробезопасности (HID 2030).

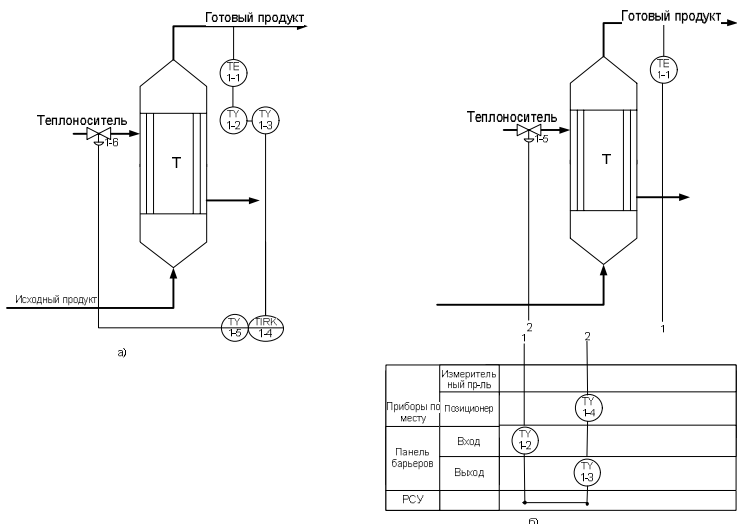


Рис.10. Функциональная схема САР "по отклонению"
 а) локальный контур регулирования температуры;
 б) контур регулирования температуры с применением PCSU

Если в процессе работы объекта регулирования на режим могут оказывать влияние различного вида неучтенные возмущающие воздействия, тогда для реализации указанной задачи необходимо применять не систему автоматического регулирования, основанную на принципе " по отклонению" (рис.10).

В представленной схеме регулирование температуры готового продукта осуществляется изменением подачи исходного теплоносителя.

Средства автоматизации, входящие в функциональную схему (рис.10,а):

1-1 - измеритель температуры (например, термометр сопротивления или термопара с неунифицированным выходным сигналом);

1-2 - нормирующий преобразователь (например, Щ-711);

1-3 - электропневмопреобразователь (например, ЭПП-63);

1-4 - вторичный измерительный регистрирующий прибор с местной станцией управления (например, ПВ10.1Э);

1-5 - регулятор (например, ПРЗ.31);

1-6 - исполнительный механизм с регулирующим органом.

(рис.10 б):

1-1 - измеритель температуры (например, термометр сопротивления или термопара с неунифицированным выходным сигналом);

1-2 - входной барьер искробезопасности (НID 2072);

1-3 - выходной барьер искробезопасности (НID 2038);

1-4 - позиционер;

1-5 - исполнительный механизм с регулирующим органом.

В тех случаях, если известно местонахождение основного возмущающего воздействия и на объект регулирования оказывают влияние различного вида неучтенные возмущения, то реализуют комбинированные системы автоматического регулирования (рис. 11).

В данном случае регулирование расхода исходного продукта, (основное учтенное возмущающее воздействие) осуществляется с коррекцией по температуре готового продукта. Сигнал с корректирующего регулятора температуры (рис.11а, поз.1-5) подается в камеру "задание" регулятора расхода (рис.11а, поз.1-9), который "следит" за всеми изменениями температуры готового продукта, и соответственно изменяет расход исходного продукта для поддержания ее на заданном значении.

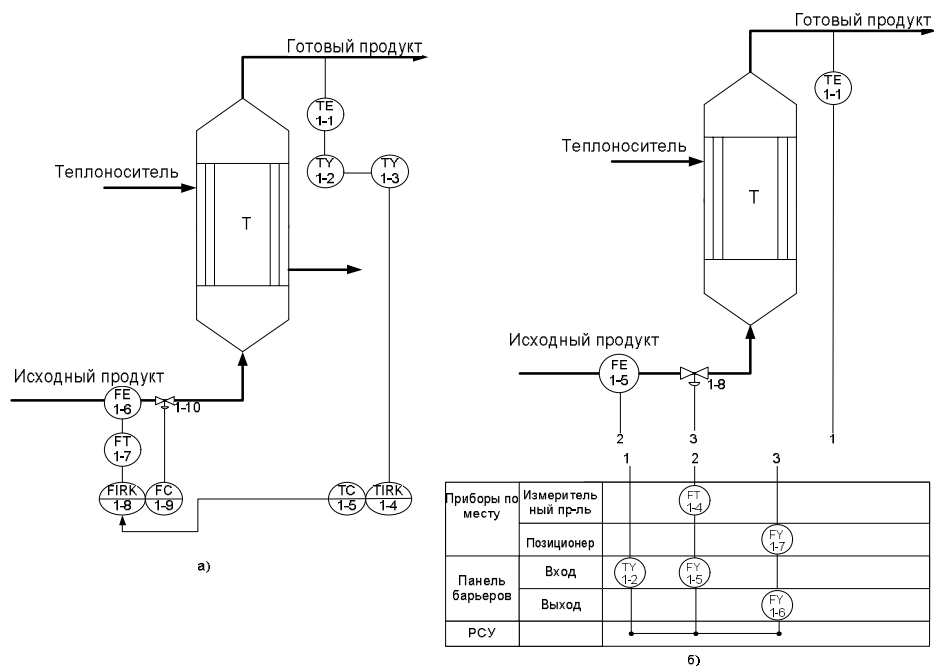


Рис.11. Функциональная схема комбинированной САР

а) комбинированный локальный контур регулирования;

б) комбинированный контур регулирования с применением PCY

2.2 Регулирование температуры на выходе воздушных теплообменников

Рассмотрим функциональные схемы наиболее часто встречающихся на практике вариантов регулирования температуры (рис.12).

Функциональная схема управления работой воздушного теплообменника отключением части или всех вентиляторов представлена на рис.12а.

Средства автоматизации, входящие в функциональную схему:

4-1 - измеритель температуры;

- 4-2 - нормирующий преобразователь;
- 4-3 - электропневмопреобразователь;
- 4-4 - включающее, отключающее устройство с электрическим выходным сигналом (например, ЭКМ -1У).

Функциональная схема, управления работой воздушного теплообменника с помощью жалюзийных устройств, дросселирующих поток воздуха, показана на рис.12 б. Средства автоматизации, входящие в функциональную схему, аналогичны выше перечисленным.

Функциональная схема управления работой воздушного теплообменника при помощи орошения воздуха представлена на рис.12в. Средства автоматизации, входящие в функциональную схему, аналогичны выше перечисленным.

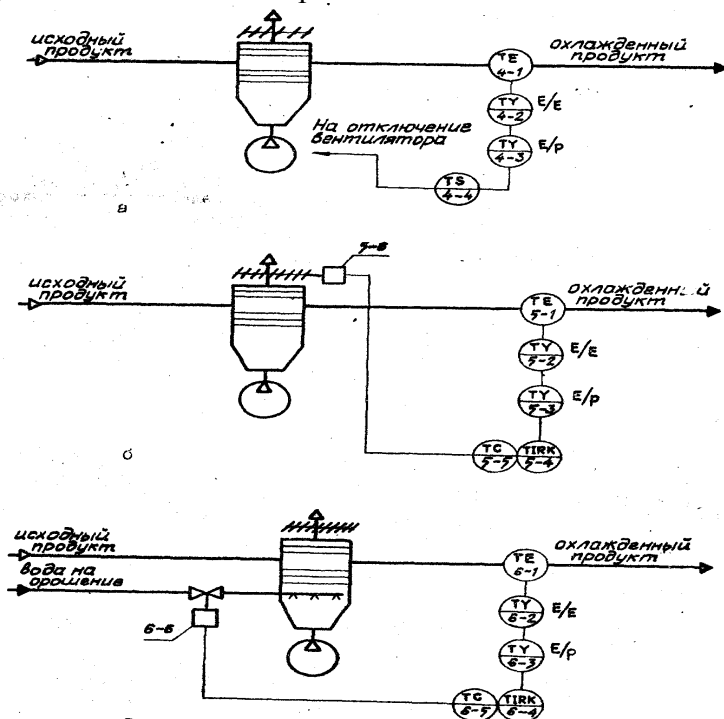


Рис.12. Функциональные схемы регулирования температуры на выходе воздушных теплообменников

3 Автоматизация тепловых процессов

Тепловые процессы играют значительную роль в химической технологии. Химические реакции веществ, а также их физические превращения, как правило, сопровождаются тепловыми явлениями. Тепловые эффекты часто составляют основу технологических процессов. В связи с этим, вопросы автоматизации теплообменников, трубчатых печей, выпарных аппаратов и других объектов химической технологии, связанных с передачей тепла, играют существенную роль.

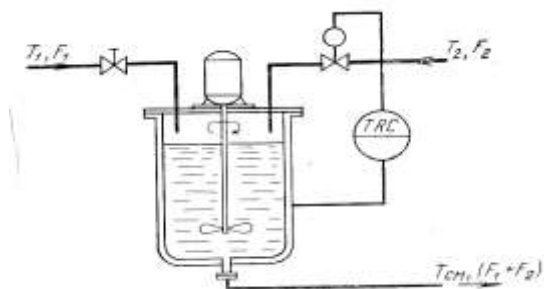


Рис. 13. Схема регулирования теплообменника смешения

3.1 Автоматизация теплообменников

Передачу тепла от горячих теплоносителей к более холодным осуществляют в теплообменниках. Различают теплообменники непосредственного смешения теплоносителей и поверхностные теплообменники, в которых тепло передается через глухую разделительную стенку. В последних теплопередача может протекать без изменения агрегатного состояния теплоносителей (нагреватели, холодильники) и с изменением агрегатного состояния (испарители, конденсаторы). Нагревание продуктов проводят также в трубчатых печах топочными газами.

Регулирование теплообменников смешения заключается в поддержании постоянства температуры $T_{см}$ суммарного потока на выходе. Входными величинами теплообмен-

ника являются расходы жидкостей на входе (F_1 и F_2) и их температуры (T_1 и T_2). Если $T_2 > T_{см} > T_1$ а также если удельные теплоемкости и плотности жидкостей обоих потоков одинаковы, то зависимость $T_{см}$ от входных величин находится из уравнения теплового баланса (потерями пренебрегаем):

$$T_{см} = T_1 + \frac{F_2}{F_1 + F_2} (T_2 - T_1) \quad (1)$$

Температуру $T_{см}$ обычно стабилизируют посредством изменения расхода одного из входных потоков. Схема регулирования теплообменника смешения показана на рис. 13. Теплообменники смешения обладают малым запаздыванием и значительным самовыравниванием.

Регулирование поверхностных теплообменников, заключается в поддержании постоянства температуры одного из теплоносителей на выходе из теплообменника, например, температуры T_{x2} (рис. 14).

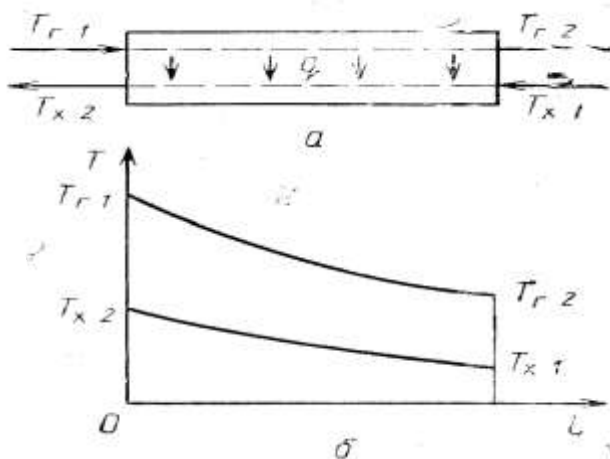


Рис. 14. Схема противоточного поверхностного теплообменника (а) и график изменения температуры теплоносителей (б).

Температура T_{x2} зависит от скорости передачи тепла или теплового потока q через стенку; в свою очередь эта температура определяется движущей силой процесса или средним температурным напором ΔT_{cp} . Величина ΔT_{cp} представляет собой логарифмическую разность температур (обозначения см. на рис. 14).

$$\Delta T_{cp} = \frac{(T_{r1} - T_{x2}) - (T_{r2} - T_{x1})}{\ln \frac{T_{r1} - T_{x2}}{T_{r2} - T_{x1}}} \quad (2)$$

Величина ΔT_{cp} зависит от значений температур теплоносителей на входе и выходе теплообменника и, в частности, от температуры T_{x2} . С возрастанием T_{x2} движущая сила процесса уменьшается и наоборот. Это свидетельствует о том, что поверхностные теплообменники обладают свойством самовыравнивания.

Если отношение $\frac{T_{r1} - T_{x2}}{T_{r2} - T_{x1}} < 4$, то движущую силу процесса при инженерных расчетах можно определять по среднеарифметической разности температур

$$\Delta T_{cp} = \frac{(T_{r1} - T_{x2}) + (T_{r2} - T_{x1})}{2} \quad (3)$$

Погрешность такой замены не превышает 10%. Основное уравнение теплообменника $q = KA \Delta T_{cp}$

в этом случае принимает вид

$$q = KA \frac{(T_{r1} - T_{x2}) + (T_{r2} - T_{x1})}{2} \quad (4)$$

где K — коэффициент теплопередачи стенки; A — поверхность теплообмена.

Установим зависимость между температурой холодного теплоносителя на выходе T_{x2} и массовыми расходами теплоносителей $F_{мг}$ и $F_{мх}$ в случае, когда обменивающиеся теплом

жидкости не изменяют своего агрегатного состояния.

Тепловой поток q через стенку выразим двумя следующими балансовыми уравнениями:

$$q = c_r F_{MГ} (T_{Г1} - T_{Г2}) \quad (5)$$

$$q = c_x F_{MХ} (T_{Г1} - T_{Г2}) \quad (6)$$

где c_r и c_x — удельные теплоемкости теплоносителей; $F_{MГ}$ и $F_{MХ}$ — их массовые расходы.

Из этих уравнений найдем температуры $T_{Х2}$ и $T_{Г2}$ и подставим в уравнение (4)

$$q = \frac{KA}{2} \left\{ T_{Г1} - \left[T_{Х1} + \frac{q}{c_x F_{MХ}} \right] + \left[T_{Г1} + \frac{q}{c_r F_{MГ}} \right] - T_{Х1} \right\}$$

Из последнего равенства определим тепловой поток

$$q = \frac{T_{Г1} - T_{Х1}}{\frac{1}{KA} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{c_x F_{MХ}} + \frac{1}{c_r F_{MГ}} \right)} \quad (7)$$

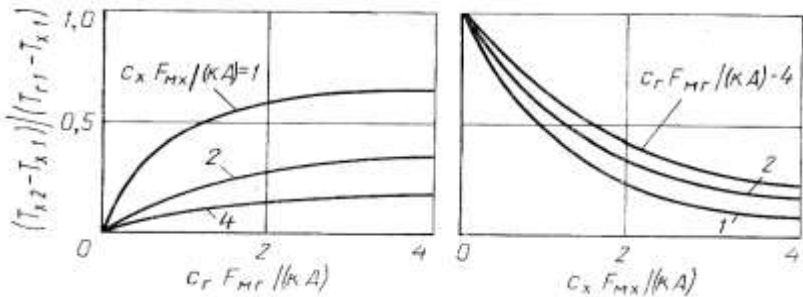


Рис. 15. Зависимость температуры на выходе из теплообменника от массовых расходов холодного (х) и горячего (г) теплоносителей.

Разделив равенство (6) на (7), получим зависимость искомой относительной температуры от других величин

процесса

$$\frac{T_{X2} - T_{X1}}{T_{Г1} - T_{X1}} = \frac{1}{\frac{c_x F_{MX}}{KA} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{c_x F_{MX}}{c_f F_{MG}} \right)} \quad (8)$$

Полученная зависимость в виде семейства кривых приведена на рис. 15, где показано влияние массовых расходов теплоносителей на температуру T_{X2} .

Из этих зависимостей следует, что температура T_{X2} зависит от расходов F_{MX} и F_{MG} . Поскольку поток нагреваемого продукта представляет собой нагрузку объекта, для поддержания постоянства температуры T_{X2} может быть рекомендована схема регулирования, приведенная на рис. 16, а, по которой температуру продукта на выходе из теплообменника регулируют путем воздействия на расход другого теплоносителя F_{MG} . Однако из зависимостей, приведенных на рис. 15 следует, что температура T_{X2} более чувствительна к нагрузке холодного теплоносителя, чем к расходу горячего теплоносителя. В связи с этим затрудняется качественное регулирование теплообменников в широком интервале изменения расходов теплоносителей и требуются регуляторы с дифференциальной составляющей.

Если по условиям технологии не допускается изменение потоков теплоносителей, то температуру продукта на выходе из теплообменника регулируют путем байпасирования части продукта и изменения его расхода. При этом регулирующий клапан устанавливают на байпасной линии (рис. 16 б). Такие схемы применяют, например, при использовании тепла горячих промежуточных или конечных продуктов для нагрева исходного сырья. Отметим, что байпасирование одного из теплоносителей требует некоторого увеличения поверхности теплообмена и большего расхода греющего агента (для переохлаждения или перегрева продукта) чем при дросселировании. Однако при этом улучшаются динамические характеристики системы регулирования, вследствие исключения теплообменника из контура

регулирования и уменьшения времени запаздывания объекта.

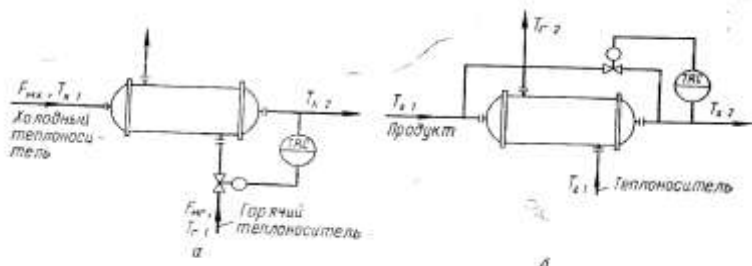


Рис.16.Схема регулирования поверхностных теплообменников воздействием на расход горячего теплоносителя (а) и байпасированием холодного теплоносителя (б).

При изменении агрегатного состояния теплоносителей их температура в теплообменнике практически не изменяется и скорость теплопередачи q можно определить по равенству:

$$q = rF_M \quad (9)$$

Где r - теплота фазового перехода; F_M — массовый расход среды.

Если в качестве греющего агента применяют водяной пар, то температуру технологического продукта обычно регулируют путем изменения подачи пара (рис. 17,а). При значительных колебаниях давления пара применяют каскадную систему регулирования давления пара с корректировкой по температуре нагретого продукта.

Возможно также регулирование скорости теплопередачи путем поддержания постоянства температуры продукта на выходе из теплообменника клапаном, установленным на линии отвода конденсата (рис. 17 б).

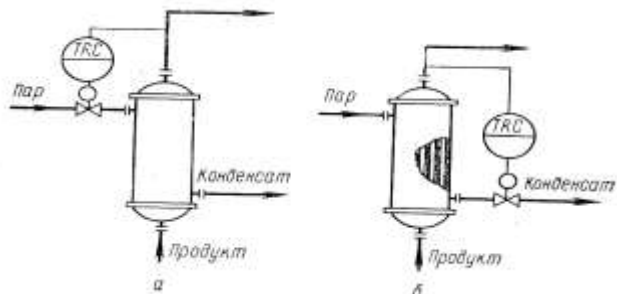


Рис. 17. Схемы регулирования работы теплообменников путем воздействия на расход греющего пара (а) и конденсата (б).

Это приводит к частичному заполнению теплообменника конденсатом, что в свою очередь скажется на суммарной величине коэффициента передачи теплообменника, а следовательно, и скорости теплопередачи. Такая система реагирует более медленно, чем система с клапаном, установленным на линии подачи греющего пара; ее применение рекомендуется только при отсутствии резких возмущений по нагрузке. Но вместе с тем, она позволяет лучше использовать тепло водяного пара, так как значения его давления и температуры более высоки, вследствие отсутствия дополнительных гидравлических сопротивлений на паропроводе, а отводимый конденсат принимает температуру несколько меньшую, чем температура конденсации пара. Это позволяет повысить эффективность работы теплообменника на 5—7%. Кроме того, по размерам клапан, установленный на линии отвода конденсата будет меньше того, который установлен на линии подачи греющего пара.

Процесс конденсации технологического продукта может быть охарактеризован температурой конденсата этого продукта при постоянном давлении или давлением пара продукта. Непосредственное регулирование этих величин с воздействием на расход пара, являющийся нагрузкой конденсатора, не

представляется возможным.

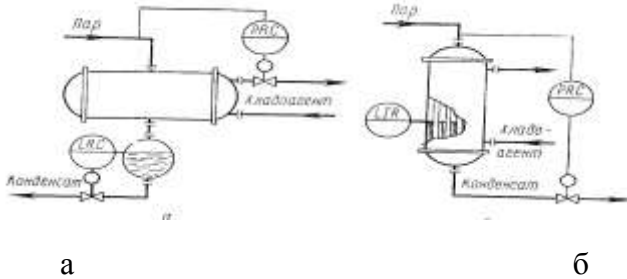


Рис.18. Схемы регулирования работы конденсаторов путем воздействия на расходы хладагента (а) и конденсата (б)

В этом случае наиболее широко применяют схемы, предусматривающие поддержание постоянства давления паров технологического продукта (рис.18) с воздействием на расход хладагента или конденсата, так как контуры регулирования давления достаточно динамичны. Регулирование уровня путем отвода конденсата (рис.18 а) обеспечивает соблюдение материального баланса конденсатора. По расходу хладагента можно судить о тепловой нагрузке объекта. Изменение расхода конденсата продукта (рис.18 б) обуславливает изменение теплообменной поверхности, благодаря частичному заполнению конденсатора жидкостью.

Последнее, вследствие того, что при конденсации коэффициенты передачи паров значительно выше, чем при охлаждении конденсата, приводит к изменению скорости теплопередачи. Тепловую нагрузку объекта определяют по текущему значению уровня конденсата.

3.2 Автоматизация трубчатых печей

Прокачиваемый через змеевик трубчатой печи продукт нагревается за счет тепла, образующегося при сжигании топливного газа.

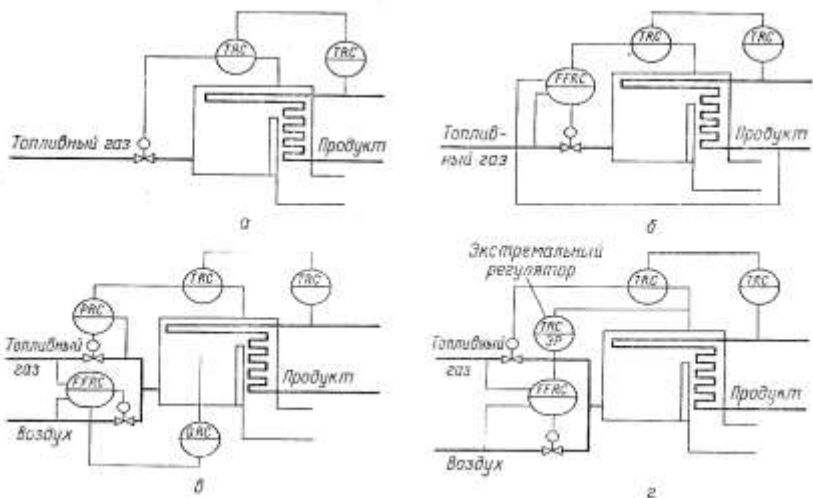


Рис.19. Схемы автоматизации трубчатых печей:

а - каскадная; б - каскадная с регулятором соотношения «топливный газ - продукт»; в - с коррекцией по содержанию кислорода в топочных газах; г - с экстремальным регулятором, корректирующим соотношение «топливный газ - воздух».

Цель регулирования трубчатых печей — поддержание постоянства температуры продукта на выходе из печи. Возмущениями объекта являются расход и температура исходного продукта, теплотворная способность топлива, количество и температура воздуха, подаваемого для сжигания топлива, потери тепла в окружающую среду и ряд других. Эти возмущения можно компенсировать с помощью АСР температуры продукта на выходе из печи, управляющей подачей топлива в печь. Однако трубчатые печи обладают запаздыванием по передаче тепла от дымовых газов через стенку змеевика к проходящему по нему продукту, кроме того, переходный процесс по каналу «расход топлива — температура продукта на выходе» продолжается несколько часов. Поэтому при использовании одноконтурной АСР динамическая ошибка и время регулирования достигают больших значений.

Вместе с тем температура газов над перевальной стенкой достаточно быстро реагирует на изменение режима работы печи, обусловленное изменением количества топливного газа, подаваемого на сжигание. Поэтому существенное улучшение качества регулирования температуры продукта на выходе из печи может быть достигнуто применением системы каскадного регулирования (рис.19а), состоящей из регулятора температуры продукта на выходе из печи (корректирующий регулятор), воздействующего на задание регулятора температуры газов над перевальной стенкой (стабилизирующий регулятор), который управляет подачей топлива в печь. Стабилизирующий регулятор начинает компенсировать возникающие возмущения, влияющие на процесс сгорания топлива, прежде чем они приведут к изменению температуры продукта.

При резком изменении нагрузки печи по расходу нагреваемого продукта и при наличии возмущения по расходу топлива используют также вышеописанную систему каскадного регулирования, стабилизирующий регулятор которой воздействует на регулятор соотношения расходов продукта и топлива. В этом случае регулятор соотношения управляет подачей топлива в печь (рис.19 б).

При принудительной подаче первичного воздуха (рис.19в) оптимальный его расход, при котором температура в топке принимает максимальное значение, поддерживают посредством регулятора соотношения «топливный газ — воздух», обеспечивающего заданное значение коэффициента избытка воздуха, определяющего интенсивность процесса сгорания. Если при этом теплотворная способность топлива существенно изменяется, то на регулятор соотношения направляют корректирующий сигнал от регулятора стабилизации содержания кислорода в топочных газах. Это обеспечивает полное сгорание топлива и высокое качество регулирования.

Сильным возмущением режима работы трубчатых печей со стороны топливного газа является изменение его давления. Это изменение компенсируют введением в АСР температуры продукта на выходе из печи дополнительного регулятора давления, задание на который подают от регулятора температуры в топочном пространстве. Такие системы обеспечивают качественное регулирование расхода топливного газа, так как расход газа в большой степени зависит от его давления (см. рис 19 в).

Так как зависимость температуры в топке от соотношения «топливо — воздух» имеет экстремальный характер, при автоматизации трубчатых печей применяют системы экстремального регулирования. На рис.19, г экстремальный регулятор отыскивает максимальное значение температуры дымовых газов над перевальной стенкой, воздействуя на регулятор соотношения «топливный газ — воздух», управляющий подачей первичного воздуха.

При регулировании соотношения «топливный газ — воздух» необходимо обеспечить меры безопасности, так как при недостатке воздуха в топке может образоваться взрывоопасная смесь.

Следует предусмотреть ограничение расхода топлива так, чтобы этот расход никогда не превышал максимально допустимого значения, соответствующего текущему значению расхода воздуха. При уменьшении расхода воздуха относительно определенного значения нужно обязательно автоматически уменьшать подачу топлива в топку.

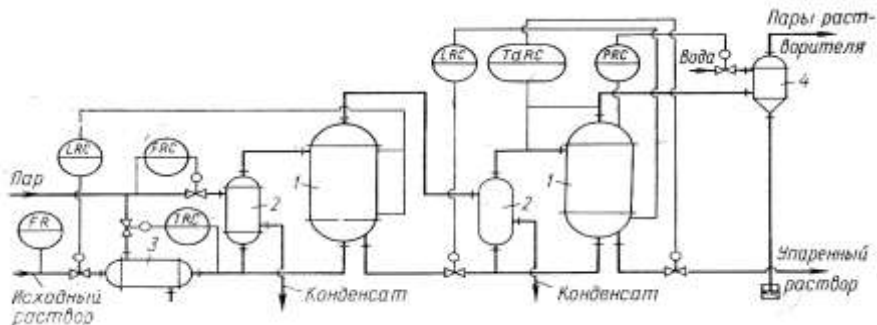


Рис.20 Схема стабилизации технологических величин выпарной установки: 1 - выпарной аппарат; 2 - кипятильник; 3 - теплообменник; 4 - барометрический конденсатор.

3.3 Автоматизация процесса выпаривания

Основные схемы автоматизации рассмотрим на примере двухкорпусной выпарной установки. Цель управления выпарной установки состоит в получении раствора заданной концентрации Q_y , а также в поддержании материального и теплового балансов. Концентрация упаренного раствора зависит от расхода, концентрации и температуры исходного раствора, расхода и давления греющего пара, давления в выпарных аппаратах. В соответствии с целью управления схемой автоматизации предусматривают регулирование концентрации упаренного раствора (рис.20). Концентрацию Q_y можно измерить кондуктометрическим методом, по плотности раствора, по показателю преломления света или по величине температурной депрессии раствора, т. е. по разности температур кипения ΔT раствора и растворителя. Последний метод вследствие простоты и наличия однозначной зависимости между величинами Q_y и ΔT при постоянном давлении применяют довольно часто. При этом первичный измерительный преобразователь температуры кипения раствора устанавливают

на трубопроводе кипящего раствора после кипятильника, а измерительный преобразователь температуры кипения растворителя — на трубопроводе отвода паров растворителя. Эти приборы комплектуют передающим преобразователем, сигнал на выходе которого пропорционален разности температур ΔT . Регулятор концентрации Q_y воздействует на клапан, установленный на линии отвода упаренного раствора из последнего выпарного аппарата. При возрастании, например, текущей концентрации относительно заданного значения регулятор увеличивает расход упаренного раствора, что уменьшает время пребывания его в аппарате и вызывает понижение концентрации раствора до заданного значения.

При отводе упаренного раствора из последнего аппарата по его концентрации материальный баланс установки поддерживают, сохраняя равенство между количеством растворенного вещества, уходящим из установки и количеством вещества, поступающего с исходным раствором. Это обеспечивается поддержанием постоянства уровня раствора в выпарных аппаратах путем воздействия на клапаны, установленные на трубопроводах подачи раствора в соответствующий аппарат. При возрастании расхода упаренного раствора уровень в аппарате понижается, что вызывает увеличение подачи раствора в аппарат. В качестве измерительных преобразователей АСР уровня раствора в выпарных аппаратах I обычно используют гидростатические уровнемеры.

Тепловой баланс процесса выпаривания при небольших колебаниях расхода исходного раствора обеспечивают регулятором расхода на трубопроводе подачи греющего пара в кипятильник 2 первого корпуса установки. Нормальный тепловой режим работы выпарной установки возможен только при подаче исходного раствора с постоянной температурой T_n близкой к температуре кипения раствора. Для достижения этого устанавливают регулятор температуры исходного раствора,

выходной сигнал которого воздействует на клапан, изменяющий подачу греющего пара в теплообменник — подогреватель исходного раствора 3.

Если весь вторичный пар из предыдущего корпуса направляют в кипятильник 2 последующего, то давление (разрежение) стабилизируют только в последнем корпусе, изменяя с помощью регулятора количество отводимых из него паров растворителя. Последнее обычно достигают путем изменения подачи охлаждающей воды в барометрический конденсатор 4. При такой схеме регулирования в корпусах устанавливаются все меньшие давления по ходу раствора и обеспечивается разность температур между вторичным паром из предыдущего корпуса и раствором, кипящим в последующем корпусе, т. е. обеспечивается движущая сила процесса выпаривания.

Концентрацию упаренного раствора Q_y можно также регулировать изменением расхода раствора, подаваемого на последний корпус из предыдущего. Упаренный раствор из последнего корпуса в этом случае отводят по команде регулятора по уровню. При таких схемах регулирования материального баланса выпарной установки количество поступающего на нее исходного раствора определяется условиями ее работы. Это требует установки дополнительной технологической емкости исходного раствора.

Не рекомендуется стабилизировать концентрацию упаренного раствора в последнем корпусе воздействием на подачу свежего раствора на установку. Вследствие большого запаздывания объекта такая схема не обеспечит высокого качества регулирования.

Если расход исходного раствора зависит от работы предшествующих технологических установок, но колебания его незначительны, то концентрацию упаренного раствора можно регулировать изменением подачи греющего пара на установку. При этом с помощью регуляторов уровня в выпарных аппаратах

изменяют количество отводимого из них раствора.

При больших колебаниях расхода исходного раствора, а также при изменении концентрации в нем растворенного вещества, качественное регулирование процесса обеспечивается применением более сложных схем, например, схемы многоконтурного регулирования (рис. 21).

В этом случае греющий пар подают на установку в определенном соотношении с расходом исходного раствора, применяя регулятор соотношения, воздействующий на подачу пара. Это соотношение корректируют регулятором концентрации растворенного вещества в исходном растворе. Для стабилизации работы второго выпарного аппарата частично упаренный раствор, направляемый в него, регулируется по каскадной схеме регулирования расхода с корректировкой по уровню раствора в первом выпарном аппарате. Упаренный раствор отводят с установки по уровню в последнем аппарате, регулятором, задание которому изменяет регулятор концентрации растворенного вещества в упаренном растворе. Давление в системе поддерживается на заданном значении посредством регулирования расхода паров растворителя с коррекцией по давлению в последнем выпарном аппарате.

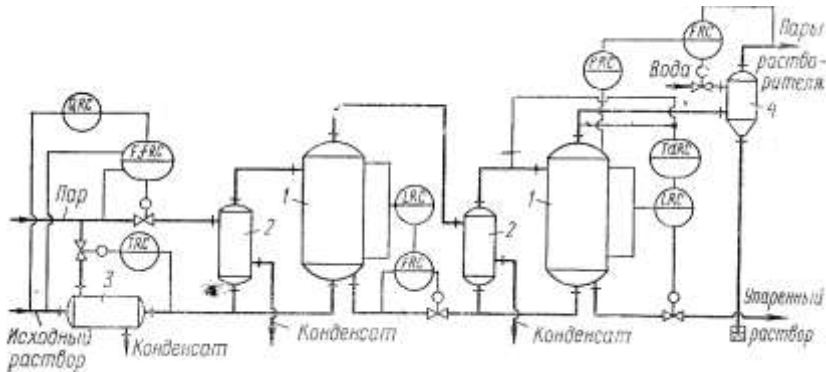


Рис. 21. Схема многоконтурного регулирования выпарной установки: 1- выпарной аппарат; 2- кипятильник; 3 - теплообменник; 4 - барометрический конденсатор.

Библиографический список

1. Полоцкий Л.М, Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации.- М.:Химия,1982,296 с.
2. Архипов Г.В. Автоматическое регулирование поверхностных теплообменников. –М.: Энергия, 1971,304 с.
3. Вопросы проектирования схем автоматизации промышленных теплообменников. Методические указания, сост. Ю.И.Фомин, Н.И.Багаутдинов, А.А.Яблонский, М.А.Закиров, Казань,1985,20с.
4. Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. М.: Машиностроение, 1978, 328с.
5. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Книга 1.М.: «Логос», «Высшая школа»,2002 г., 912 с.