1. **Введение.**

Одним из основных видов технологического оборудования на неф­теперерабатывающих, нефтехимических, химических и смежных с ними производствах является теплообменная аппаратура, которая составляет примерно 30-40 % по весу от всего оборудования. Значительную долю всех теплообменных аппаратов составляет конденсационно-холодильная аппаратура, предназначенная для конденсации паров и охлаждения жид­ких продуктов технологических процессов.

В настоящее время в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности находят все большее применение конденсаторы и хо­лодильники воздушного охлаждения, использующие в качестве охлаж­дающего агента атмосферный воздух. Преимущества этих аппаратов следующие: экономия охлаждающей воды и уменьшение сточных вод; значительное сокращение затрат труда на чистку аппарата ввиду отсут­ствия накипи, солей; уменьшение расходов, связанных с организацией оборотного водоснабжения технологических установок.

Принцип работы АВО представляет достаточно простую схему действия: внутри оребренных труб движется охлаждаемый продукт, передавая через стенки тепло охлаждающему воздуху. Данное оборудование используют в нефтеперерабатывающей, газоперерабатывающей, химической, металлургической и пищевой промышленностях. Стоимость АВО в основном в несколько раз меньше, чем у других аппаратов для охлаждения теплоносителей с температурой выше 60°С. Экономическая эффективность аппаратов воздушного охлаждения связана с хорошей теплопередачей оребренных труб. Помимо этого, на стоимость АВО влияет потери давления по стороне воздуха, размер теплообменника и интенсивность теплопередачи.

Аппараты воздушного охлаждения в силу своей универсальности и экономичности имеют достаточно широкую область применения. Они работают в установках синтеза аммиака, крекинга и реформинга углеводородов, в производстве метанола, хлорорганических продуктов, в производстве метанола и многих других. В данном случае рассматривается аппарат, используемый в качестве дефлегматора в схеме ректификации уксусной кислоты.

Целью данного курсового проекта является определение необходимой поверхности теплопередачи, выборе типа аппарата и нормализованного варианта конструкции, а также прочностной расчет элементов аппарата и выбор привода.

При выборе теплообменника необходимо учитывать:

- тепловую нагрузку аппарата;

- температуру и давление, при которых должен осуществляться процесс;

- агрегатное состояние и физико-химические свойства теплоносителей;

- условия теплоотдачи;

- возможность загрязнения рабочих поверхностей;

- простота и компактность конструкции;

- расход металла на единицу теплообменной поверхности;

- стоимость изготовления и эксплуатационные расходы.

Грамотный выбор типа и размера каждого теплообменного аппарата, правильная его установка и рациональная эксплуатация существенным образом влияет на величину первоначальных затрат при сооружении установок и последующих эксплуатационных расходов. Также особое внимание следует уделить вопросу условий и способов регулирования температуры технологических потоков.

Машинно-аппаратурная схема установки

Машинно-аппаратурная схема изображена на рисунке 1.

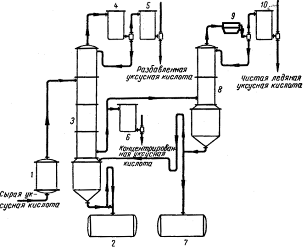


Рисунок 1

Данная установка включает в себя две ректификационные колонны непрерывного действия. Сырая уксусная кислота поступает в испаритель 1, откуда ее пары попадают в ректификационную колонну 3 на тарелку, расположенную несколько выше середины. Пары разбавленной уксусной кислоты проходят в дефлегматор 4 и далее в холодильник 5; пары концентрированной уксусной кислоты и высококипящих примесей отбирают из нижней части колонны и направляют в малую колонну 8, где происходит очистка.

В колонне 8 пары уксусной кислоты освобождаются от гомологов и прочих высококипящих примесей и конденсируются в дефлегматоре 9 и в холодильнике 10.

Если не требуется ледяная кислота большой чистоты, пары из нижней части колонны 3 можно частично или полностью конденсировать в холодильнике 6. этот же холодильник служит для взятия проб. Кубовые остатки из колонн 3 и 8 периодически спускают в приемники 2 и 7.

Рассматриваемый аппарат занимает позицию 9.

Конструкция аппарата воздушного охлаждения

Устройство и принцип работы аппарата воздушного охлаждения

Аппарат воздушного охлаждения, изображенный на рисунке 2, состоит из следующих основных узлов:

- теплообменных секций;

- осевого вентилятора с приводом;

- устройств для регулирования расхода охлаждающего воздуха;

- опорных и оградительных конструкций.

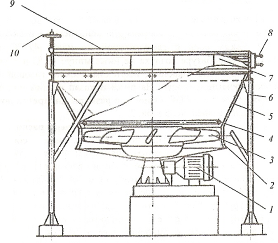


Рисунок 2

1 – привод вентилятора; 2 – коллектор; 3 – колесо вентилятора; 4 – узел увлажнения воздуха; 5 – диффузор; 6 – металлоконструкция; 7 – секция; 8 – штуцера подвода и отвода охлаждаемой жидкости; 9 – жалюзи; 10 – устройство управления жалюзи

Основным элементом аппаратов охлаждения являются теплообменные секции, теплообменную поверхность которых компонуют из оребренных труб, закрепленных в трубных решетках в четыре, шесть либо восемь рядов. Трубы обычно располагают по вершинам равностороннего треугольника, так как коридорное расположение обеспечивает намного более низкую теплоотдачу. К трубным решеткам присоединены крышки, внутренняя полость которых служит для распределения охлаждаемого потока жидкости по трубам. По сторонам секций установлены боковые рамы, которые удерживают трубы, трубные решетки и крышки в определенном положении. Секции располагают горизонтально, вертикально или наклонно, что определяет тип АВО.

Охлаждение различных жидких теплоносителей осуществляется за счет теплообмена с воздухом. Процесс достаточно интенсивный, так как используются оребренные трубы, оснащенные турбулизаторами воздушного потока (рисунок 3), площадь наружной поверхности которых в 10 - 25 раз больше площади их внутренней поверхности.

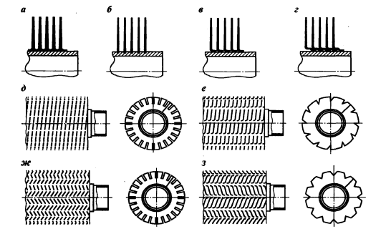


Рисунок 3

а – трубы с накатанным оребрением; б – с завальцованным оребрением; в – L-обертка; г – двойная ступенчатая L-обертка; д – трубы с накатанным оребрением с разрезными ребрами; е – с накатанным оребрением с разрезными ребрами формы «полуинтеграл»; ж – с накатанным оребрением с разрезными ребрами зигзагообразной формы; з – с накатанным оребрением с разрезными ребрами формы «интеграл».

Трубы для стандартизованных отечественных аппаратов воздушного охлаждения имеют наружное оребрение двух типов исполнения. Это:

- биметаллическая труба, состоящая из внутренней гладкой (стальной или латунной) и наружной (алюминиевой) с накатанным винтовым ребром исполнение Б;

- монометаллическая (алюминиевая) труба с накатанным винтовым (спиральным) ребром исполнение М.

Вторым необходимым элементом любого типа АВО является вентилятор, который, вращаясь в полости коллектора, нагнетает воздух через межтрубное пространство секций. Значительные расходы воздуха в аппаратах воздушного охлаждения при сравнительно небольших статических напора (100 - 400 Па) обеспечиваются осевыми вентиляторами с числом лопастей 4, 8 и диаметром 0,8 - 6,0 м. Лопасти вентилятора закрыты цилиндрическим коллектором, служащим для лучшей организации движения воздушного потока. Коллектор соединяется с теплообменными секциями посредством диффузора, форма которого способствует выравниванию потока воздуха по сечению теплообменной секции. Диффузор и коллектор вентилятора крепятся к раме, на которой установлены теплообменные секции. Осевой вентилятор с приводом смонтирован на отдельной раме.

Опорные конструкции, на которых монтируются элементы аппарата, выполняются металлическими или железобетонными. Они включают продольные и поперечные опорные балки, выполняемые, как правило, из стандартных двутавров, стойки (обычно отрезки стандартных труб на опорных пластинах), косынки и ребра жесткости. Стойки смонтированы на фундаменте и закреплены на нем анкерными болтами.

В связи с переменным характером нагрузки аппарата, зависящей от технологического режима, температуры и влажности воздуха, вентиляторы должны иметь возможность регулирования расхода воздуха в широком диапазоне.

Система регулирования должна обеспечивать требования технологии независимо от изменения режима работы вентилятора. Регулирование расхода воздуха производится несколькими способами:

* 1. изменением расхода охлаждающего воздуха, подаваемого в теплообменные секции;
  2. подогревом воздуха (в зимний период) на входе в АВО;

З) перепуском части технологического потока по байпасным линиям через регулирующие клапаны;

4) увлажнением охлаждающего воздуха и поверхности теплообмена, позволяющим снизить температуру охлаждающего воздуха при высокой его темпеpатypе в летний период.

Наиболее распространенным способом регулирования является изменение расхода охлаждающего воздуха, которое осуществляется:

- путем использования двухскоростных электродвигателей, что позволяет иметь две локальные величины расхода воздуха и третью - минимальную величину при остановленном вентиляторе (в зимний период при низкой температуре окружающего воздуха аппарат может работать с отключенным вентилятором, при этом охлаждение продукта происходит за счет естественной конвекции). Данный способ является наиболее практичным и экономичным;

- путем плавного регулирования скорости вращения вентилятора применением электродвигателя с переменным числом оборотов, гидропривода, гидромуфт, вариатора, коробки скоростей и т.д.;

- путем регулирования угла поворота лопасти вентилятора. Изменение угла производится вручную при остановленном вентиляторе переустановкой каждой лопасти отдельно или автоматически при использовании пневматического или электромеханического привода. Ступенчатое изменение угла поворота лопастей с остановкой вентилятора предусматривают для сезонного регулирования. Автоматическое регулирование позволяет поддерживать выходную температуру охлаждаемого продукта с точностью до ± 1оС;

- установкой специальных жалюзийных устройств, располагаемых как до вентилятора, так и после теплообменных секций. Жалюзийные устройства могут снабжаться ручным или пневматическим приводом. При повороте жалюзийных элементов уменьшается расход воздуха и увеличивается диапазон рабочих режимов, но при этом такое регулирование сопровождается снижением КПД вентилятора.

**2) Расчет АВО.**

**2.1. Тепловая нагрузка холодильника.**

Тепловую нагрузку определяем по формуле из книги Кузнецова:

где - количество тепла, отнимаемого от керосина в холодильнике, кДж/ч; , - энтальпия керосина соответственно при температуре и .

где T- соответствующая ( и ) температура керосина; -относительная плотность керосина при 288 К.

Находим:

Дж/ч=942 кВт

**2.2. Массовый и объемный расходы воздуха.**

Из уравнения теплового баланса холодильника

Найдем:

где - количество воздуха, кг/ч; , - средние теплоемкости (при постоянном давлении) воздуха соответственно при его начальной и конечной температурах:

Найдем плотность воздуха при его начальной температуре и барометрическом давлении, равном нормальному , из уравнения:

где - плотность воздуха при нормальных условиях, .

Секундный расход воздуха:

Для проектируемого аппарата выбираем осевой вентилятор КВО УК-2М. В зависимости от угла наклона лопастей вентилятора его аэродинамическая характеристика изменяется в пределах: производительность по воздуху 150\*- 300\* или 41,6 – 83,3 ; потребляемая мощность 25- 40 кВт.

**2.3. Характеристика труб.**

Для холодильника выбираем оребренные биметаллические трубы. Для дальнейшего расчета принимаем L=4 м. Материал внутренней трубы – латунь ЛО-70-1. Материал оребрения – алюминиевый сплав АД1М. Коэффициент оребрения 14,6.

**2.4. Коэффициент теплоотдачи со стороны керосина.**

Коэффициент теплоотдачи со стороны керосина будет иметь одно и то же значение как в случае гладкой наружной поверхности, так и в случае оребренной.

Определим физические параметры керосина при его средней температуре в холодильнике:

Коэффициент теплопроводности:

Теплоемкость:

Относительная плотность:

Кинематическую вязкость керосина при примем по практическим данным:

Определим минимальную линейную скорость движения керосина в трубах холодильника, при которой обеспечивается устойчивый турбулентный поток, т.е. при которой

Re

откуда

Скорость жидкости внутри труб принимается от 0,5 до 2,5 м/с. Для проектируемого холодильника выбираем скорость керосина . Тогда

При Re≥ для определения коэффициента теплоотдачи со стороны керосина воспользуемся формулой:

где - критерий Прандтля при температуре =350 К; - критерий Прандтля при температуре стенки трубы со стороны керосина ; - поправочный коэффициент, учитывающий отношение длины трубы L к ее диаметру, в нашем случае равный 1.

Найдем критерий Прандтля при температуре =350 К:

Предварительно принимаем температуру стенки трубы со стороны керосина =348 К. Находим физические параметры керосина при этой температуре: ; ; ; .

Тогда критерий Прандтля при =348 К

и коэффициент теплоотдачи со стороны керосина:

**2.5. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха в случае применения гладких труб.**

В целях правильного выбора формулы для определяем значение Re для воздуха при поперечном обтекании им шахматного пучка труб холодильника.

Примем, что фронтальное к потоку сечение аппарата будет LxB=4x4 с шагом труб по ширине пучка . Шаг труб по глубине пучка найдем следующим образом:

Определим число труб в одном горизонтальном ряду пучка:

B=(n-1)+

Получим:

Примем число рядов труб по вертикали одной секции .

Определим площадь сжатого(наименьшего) сечения в пучке труб, через которое проходит воздух:

Скорость воздушного потока в сжатом сечении:

где – действительный секундный расход воздуха.

Средняя температура воздуха:

Кинематическая вязкость воздуха при его средней температуре:

Теперь определим величину критерия Рейнольдса:

Коэффициент теплоотдачи определим из уравнения справедливого при Re= :

Получим:

где - поправочный коэффициент, учитывающий угол атаки; - коэффициент теплопроводности воздуха при его средней температуре .

**2.6. Коэффициент теплопередачи для пучка гладких труб.**

Для биметаллических труб (латунь-алюминий) и загрязнений поверхности теплообмена (внутренней и наружной) коэффициент определяется:

где - тепловое сопротивление внутреннего слоя загрязнения (принимаем для прямогонного керосина равным 0,00035 (); - тепловое сопротивление латунной стенки трубы при и ; - тепловое сопротивление алюминиевого слоя трубы при и ; - тепловое сопротивление наружного слоя загрязнения, выбираем равным 0,00065 ().

Подставив все значения в формулу, получим:

)

**2.7. Средний температурный напор.**

Средний температурный напор определяем по методу Белоконя:

Здесь - средний температурный напор, К; , – соответственно большая и меньшая разности температур, определяемые по формулам:

где - разность среднеарифметических температур горячего и холодного теплоносителей.

а - характеристическая разность температур.

Рассчитаем по формуле:

где - перепад температур в горячем потоке; - перепад температур в холодном потоке; Р – индекс противоточности. Примем Р=0,98.

Имеем

Тогда

Проверим температуру стенки трубы.

Температуру стенки трубы со стороны керосина найдем по формуле:

Найденная температура близка к ранее принятой

**2.8. Коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании воздухом пучка оребренных труб.**

При спиральном оребрении труб, расположенных в шахматном порядке, для определения коэффициента теплоотдачи воспользуемся формулой:

где ) – коэффициент теплопроводности воздуха при его средней температуре; - плотность воздуха при , (кг/); - скорость воздушного потока в сжатом (узком) сечении одного ряда труб оребренного пучка, м/с; µ - динамическая вязкость воздуха при , µ=0,0000195 (Па\*с);Pr=0,718 – критерий Прандтля при ; - средняя толщина ребра, м.

Величину определим по формуле:

где - скорость набегающего воздушного потока при входе в трубный пучок, т.е. в свободном сечении перед секциями оребренных труб; ( - поперечный шаг оребренных труб, принятый ранее равным 0,052 м)

- высота ребра; шаг ребер.

Скорость набегающего воздушного потока:

где - действительный секундный расход воздуха, м/с; – фронтальное к потоку воздуха сечение аппарата.

Таким образом

Средняя толщина ребра:

где – толщина ребра в его вершине; - толщина ребра в его основании.

Имеем:

Скорость воздушного потока в сжатом сечении:

Подставив в формулу значения всех величин, получим:

**2.9. Приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха в случае пучка оребренных труб.**

Приведенный коэффициент теплоотдачи учитывает конвективный теплообмен между оребренной поверхностью и потоком воздуха и передачу тепла теплопроводностью через металл ребер.

Ввиду малого шага спирали определяем приведенный коэффициент теплоотдачи по формуле для дисковых (круглых) ребер:

где – поверхность ребер, приходящаяся на 1м длины трубы, ; - полная наружная поверхность 1м оребренной трубы, ; E- коэффициент эффективности ребра, учитывающий понижение его температур по мере удаления от основания; - экспериментально найденный коэффициент, учитывающий неравномерность теплоотдачи по поверхности ребра; - коэффициент, учитывающий трапециевидную форму сечения ребра; - тепловое сопротивление загрязнения наружной поверхности трубы, принимаемое равным тепловому сопротивлению наружного загрязнения поверхности гладких труб.

Находим поверхность ребер, приходящуюся на 1 м длины трубы:

где x=286 – число спиральных витков ребер, приходящихся на 1 м длины трубы. Имеем:

Определяем наружную поверхность участков гладкой трубы между ребрами, приходящуюся на 1 м длины трубы:

где - ширина ребер у основания.

Полная наружная поверхность 1 м оребренной трубы будет равна:

Вычисляем соотношения, необходимые для пользования графиком для определения коэффициента Е и графиком для определения коэффициента .

и

Получим:

Тогда Е=0,96 и =1,02 .

Определяем приведенный коэффициент теплоотдачи:

)

**2.10. Коэффициент теплоотдачи для пучка оребренных труб.**

Ведем расчет на единицу гладкой поверхности трубы:

где - поверхность гладкой трубы(по наружному диаметру), приходящаяся на 1 м ее длины.

Все остальные величины и обозначения – прежние. Получим:

)

Следовательно, при прочих условиях оребрение гладкой поверхности трубы со стороны воздуха приводит к значительному увеличению теплопередачи (в .

**2.11. Поверхность теплообмена холодильника и компоновка труб в нем.**

Находим поверхность теплообмена холодильника с оребренными трубами, отнесенную к гладким трубам, так как значение для этих труб также рассчитывалось на единицу гладкой поверхности трубы.

Количество труб:

где - поверхность теплообмена одной трубы.

Если бы наружная поверхность труб не была оребрена, то поверхность теплообмена аппарата

т.е. была бы больше в

Определим число труб для одного хода керосина при принятой ранее скорости движения керосина ω=2 м/с.

Для удобства монтажных работ пучок труб распределим на три секции, в каждой секции разместим по 82 трубе. Керосин последовательно будет делать 2 хода в секции. Общее число труб в холодильнике составляет .

**2.12. Аэродинамическое сопротивление пучка труб.**

Определяем аэродинамическое сопротивление пучка труб (в Па) :

где - плотность воздуха при его начальной температуре; – скорость воздуха в сжатом(узком) сечении оребренного трубного пучка; - число горизонтальных рядов труб в пучке( по вертикали); - наружный диаметр трубы.

Критерий Рейнольдса, отнесенный к диаметру труб:

Подставляя указанные величины в формулу, получим:

**2.13. Мощность электродвигателя к вентилятору.**

Определим расход электроэнергии для вентилятора (в кВт):

где - к.п.д. вентилятора (принимается). Имеем:

При подборе электродвигателя расчетную мощность следует увеличить на 10% для обеспечения пуска двигателя. Поэтому действительная мощность двигателя:

**Заключение**

Аппараты воздушного охлаждения - это экономичное и экологичное оборудование. За счет воздуха, который является охлаждающей средой, не нуждается в специальной обработке, а за счет снижения количества сбрасываемой воды, уменьшается уровень слива вредных веществ в водоемы. Использование аппаратов воздушного охлаждения избавляет предприятия от необходимости строить очистные установки.

Применение ап­паратов воздушного охлаждения способствует сохранению чистоты рек и водоемов, а также экономии легированных дорогостоящих сталей, ко­торые требуются для защиты от коррозии со стороны охлаждающей во­ды. Воздух – это экологически чистая охлаждающая среда, которая не нуждается в специальной обработке и соблюдении строгих стандартов. Он не вызывает коррозию, его запасы неограниченны и он ничего не стоит.

Аппараты воздушного охлаждения имеют ряд существенных пре­имуществ перед другими теплообменниками: они удобны в эксплуата­ции, очистка и ремонт их менее трудоемки, наружная поверхность труб, омываемая загрязненным воздухом, практически не загрязняется и не корродирует.

**СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Варгафтик Н.Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 3-е изд., стереотипное, исправленное. Перепечатка со второго издания 1972г. – М.:ООО «Старс», 2006.-720 с.
2. **Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н.** Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности; М. «Химия», Ленинградское отделение, 1974.-338с.:ил.
3. **Леонтьев А.П., Беев Э.А..** Расчет аппаратов воздушного охлаждения: Учебное пособие.- Тюмень: ТюмГНГУ,2000.-74с.
4. **Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.** Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов. Под ред. чл.- корр. АН России П.Г.Романкова. – 11-е изд., стереотипное. Перепечатка с изд. 1987г.- М.: ООО «РусМедиаКонсалт», 2004. – 576с.