**1. Применение методов теории подобия к изучению химико-технологических процессов. Геометрическое и физическое подобие. Гидродинамическое, тепловое подобие и подобие процессов массообмена.**

Теория подобия это учение об условиях подобия физических явлений. Теория подобия опирается на учение о размерности физических величин, служит основой для экспериментального и математического моделирования и дает методы анализа и обобщения экспериментальных и теоретических результатов. Предметом теории подобия является установление критериев подобия различных физических явлений и изучение с помощью этих критериев свойств самих явлений. Физическое подобие является обобщением элементарного и наглядного понятия геометрического подобия. При физическом подобии поля соответствующих физических параметров двух систем подобны в пространстве и времени. Например, при кинематическом подобии существует подобие полей скорости для двух рассматриваемых движений, при динамическом подобии реализуется подобие систем действующих силовых полей различной природы ( силы тяжести, силы давления, силы вязкости и т.д. ), механическое подобие ( например, подобие двух потоков жидкости или газа, подобие двух упругих систем и т.п. ) предполагает наличие геометрического, кинематического и динамического подобий, при подобии тепловых процессов подобны соответствующие поля температур и тепловых потоков.

**Теория гидродинамического подобия** - часть общей теории физического подобия, в которой одним из основных является понятие о сходственных величинах. Две величины jА и jВ , имеющие одинаковый физический смысл, называются сходственными, если они имеют общее начало отсчета и связаны соотношением

JА = mJ JB ,

где mJ - положительная безразмерная величина, одна и та же для всей группы величин J .

Понятие **теплового подобия** применяется в случае технологических систем, в которых происходит теплопередача; в этом; случае к единицам длины, силы и времени добавляется температура. Тепло может передаваться от одной точки системы к другой с помощью разных механизмов: излучения, теплопроводности, конвекции или переноса вещества под действием градиента давления. Первые три процесса осуществляются за счет разницы в температурах, а четвертый определяется характером потока в системе. Тепловое подобие имеет место в геометрически подобных системах, когда отношения соответственных разностей температур постоянны, а когда такие системы находятся в движении, они также и кинематически подобны. Тепловое подобие должно учитываться при разработке режима стерилизации биореакторов, особенно в плане теплового повреждения материала, а также при охлаждении биореакторов.

**Подобие процессов массообмена** возможно при условии их геометрического, гидродинамического и теплового подобия и, кроме того, постоянства диффузионных критериев Пекле и Нуссельта или Прандтля и Стэнтона.

**2. Перемешивание в жидкой среде. Способы перемешивания. Качественные и количественные показатели процесса. Конструкции мешалок. Подбор мешалок.**

В химической технологии перемешивание применяют для улучшения тепло- и массообмена, получения равномерных смесей нескольких жидкостей, жидкости и твердого тела, жидкости и газа. Хотя основной задачей перемешивания в большинстве случаев является равномерное распределение вещества или температуры в перемешиваемом объеме, иногда задача перемешивания заключается в создании высоких скоростей среды около теплообменных поверхностей с целью интенсификации теплообмена.

**Способы перемешивания.** Известны несколько видов перемешивания:

* механическое;
* циркуляционное;
* барботажное.

Барботажное перемешивание осуществляется путем барботажа инертного газа или газообразных веществ через жидкость.

Циркуляционное перемешивание происходит за счет больших скоростей движения (насосом). Это перемешивание целесообразно применять в том случае, когда имеется необходимость отвода тепла через развитую поверхность теплообмена, т. е. через выносной теплообменник.

Механическое перемешивание в жидкой среде, а также в пастообразных и вязких материалах осуществляется с помощью мешалок, которые **по конструктивной форме**, в зависимости от устройства лопастей, разделяются на:

* лопастные;
* листовые;
* якорные;
* рамные;
* турбинные;
* пропеллерные;
* специальные.

Все они состоят из трех основных частей: вала, на котором закреплена мешалка, мешалки, являющейся рабочим элементом, и привода, с помощью которого вал приводится в движение за счет механической энергии.

В зависимости от числа оборотов мешалки условно делят на тихоходные и быстроходные. К тихоходным относят лопастные, рамные, якорные и листовые, имеющие скорость более 80-100 об/мин. К быстроходным – турбинные и пропеллерные.

При выборе типа мешалки и ее параметров учитывают требования технологического процесса, свойства жидкости, наличие осадков, форму аппарата и другие факторы.

Лопастные мешалки применяются при перемешивании жидких неоднородных систем с вязкостью до 15 Па∙с и с плотностью до 2000 кг/м3. Основные соотношения размеров для аппаратов с плоским днищем dм=0,7D, h=0,1dм, hм=0,14dм.

Нормализованные диаметры мешалок от 700 до 2100 мм. Недостатки таких мешалок – малая интенсивность перемешивания и отсутствие значительных вертикальных потоков, вследствие чего их не рекомендуется применять для взмучивания тяжелых осадков и работы с расслаивающимися жидкостями. Достоинство мешалок – они просты по конструкции, обеспечивают удовлетворительное перемешивание при работе с вязкими жидкостями, могут применяться в аппаратах значительного объема.

Рамные мешалки. Они представляют собой комбинацию лопастных мешалок с вертикальными и наклонными лопастями. Эти мешалки применяются в тех же случаях, что и лопастные, а также при перемешивании значительных объемов вязких материалов. Нормализованные диаметры мешалок до 2520 мм. Эти мешалки используют в реакторах с большой емкостью (до 100 м3).

Якорные мешалки по своей форме соответствуют сосуду, в котором они работают. Расстояние между лопастью и стенкой реактора обычно выбирают в пределах 25-140 мм.

Листовые мешалки. Их применяют сравнительно редко, в основном для маловязких жидкостей, при интенсификации теплообмена, взвешивании твердого вещества.

Пропеллерные мешалки представляют собой обычный гребной винт с числом лопастей от двух до четырех. При работе мешалки осуществляется интенсивная циркуляция жидкости с сильным вихреобразованием. Их рекомендуют использовать для перемешивания сред вязкостью до 2 Па∙с и плотностью до 2000 кг/м3. Окружную скорость мешалки рекомендуется выбирать в пределах 1,6-4,8 м/с. Чтобы избежать образования воронки, вал мешалки смещают по отношению к оси аппарата либо устанавливают его с наклоном к оси сосуда. Для трудно смешиваемых вязких жидкостей применяются мешалки, состоящие из 2-х пропеллеров, установленных на одном валу. Оба пропеллера толкают жидкость в одну сторону или навстречу друг другу. Нормализованные диаметры мешалок – от 300 до 700 мм.

Турбинные мешалки работают по принципу центробежного насоса, т. е. всасывают жидкость в середину и за счет центробежной силы отбрасывают ее к периферии. Их делают открытыми и закрытыми. 3акрытые мало отличаются по конструкции от колеса центробежного насоса и подразделяются, в свою очередь, на мешалки одностороннего и двустороннего всасывания. Открытая мешалка представляет диск с радиально расположенными лопатками. Они более просты по конструкции и поэтому чаще применяются в технике. Турбинные мешалки обеспечивают весьма интенсивное перемешивание. Их рекомендуют применять для интенсивного перемешивания жидкостей вязкостью до 450 Па∙с и плотностью до 2000 кг/м3. Окружная скорость концов лопастей – 3-9 м/с. Не рекомендуется их использовать в реакторах большой емкости. В аппаратах с турбинными мешалками обязательна установка отражательных перегородок. При отсутствии такой перегородки образуется глубокая воронка, иногда доходящая до основания мешалки и перемешивание резко ухудшается (обычно устанавливают четыре перегородки).

При конструировании мешалок необходимо учитывать условия их монтажа. Мешалки небольших аппаратов (диаметр 1200 мм и менее) обычно собирают совместно с крышкой и вместе с ней устанавливают в реактор.

Мешалки для крупногабаритных аппаратов целесообразно делать разъемными из частей таких размеров, которые можно пронести через лаз аппарата. Это дает возможность разбирать мешалку при ремонтных и монтажных работах, не снимая крышку и привод. В цельносварных аппаратах мешалка обязательно должна быть разборной. Необходимо иметь в виду, что резьбовые соединения внутри химических реакторов работают в очень тяжелых условиях. Резьба легко загрязняется и корродирует даже при действии слабых агрессивных сред. Поэтому во многих случаях части мешалок изготавливают из нержавеющей стали.

**3. Псевдоожижение твердого зернистого материала. Расчет скоростей начала псевдоожижения и уноса.**

Псевдоожиженным слоем называют состояние двухфазной системы (твёрдые частицы + газ или жидкость), которое характеризуется перемещением твёрдых частиц друг относительно друга за счёт обмена энергией с каким-либо её источником. Это могут быть: силы тяжести, центробежные, электромагнитные и др. При создании псевдоожиженных слоев частиц зернистого материала, благодаря использованию сил тяжести, выделяют кипящие слои, фонтанирующие и слои, создаваемые отражёнными потоками.

**Кипящие слои.** В корпусе установлена распределительная решётка, на которой расположен зернистый материал. Ожижающий агент (жидкость, газ) подаётся снизу через распределительную решётку, подхватывает зернистый материал и приводит его в псевдоожиженное состояние. Распределительная решётка во многом определяет качество псевдоожиженного слоя и теплотехнические характеристики теплообменного устройства в целом.

**Фонтанирующие слои** создаются ожижающим потоком, в котором зернистый материал увлекается центральной струёй, уносящей его вверх, где он выпадает и сползает обратно вниз у стенок колонны, поддерживая интенсивную циркуляцию. Отсутствие распределительной решётки даёт возможность использовать фонтанирующие слои при работе на загрязнённой забортной воде. Однако им присуща значительная неравномерность слоя в горизонтальных сечениях. В связи с этим теплотехнические характеристики фонтанирующих слоев снижены по сравнению с кипящими слоями. Недостатком также являются и повышенные габариты фонтанирующего комплекса.

**Псевдоожиженный слой, создаваемый отражёнными потоками.**

Ожижающая среда подаётся перпендикулярно или под углом по одному или ряду раздающих коллекторов на отражающий экран, на котором расположен зернистый материал. Поток ожижающего агента расстилается по поверхности экрана, отражается от него и увлекает с собой зернистый материал, и таким образом приводит его в псевдоожиженное состояние. Широко используется при сушке зернистого материала, в специальных конструкциях газораспределительных устройств.

Способ создания псевдоожиженных слоев посредством отражённых потоков обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами псевдоожижения.

Если через неподвижный слой материала, лежащего на решетке, пропустить снизу вверх поток ожижающего агента (жидкость или газ), то состояние слоя будет определяться скоростью ожижающего агента, отнесенного к полному поперечному сечению пустого аппарата:

где: V – объемный расход сжижающего агента, м3/с; fa= – площадь поперечного сечения аппарата, м2; d – диаметр поперечного сечения аппарата, м.

При скоростях потока ниже первой критической (скорость начала псевдоожижения) слой остается неподвижным (НС). Ожижающий агент движется через слой в режиме фильтрации.

При достижении ожижающим агентом первой критической скорости слой переходит в ПС. При этом твердые частицы начинают перемещаться по слою. Дальнейшее увеличение скорости приводит к увеличению высоты слоя (слой расширяется).

При достижении ожижающим агентом второй критической скорости (скорость уноса) слой разрушается, а частицы в режиме пневмотранспорта уносятся из аппарата.

**4. Выпаривание. Материальный и тепловой балансы однокорпусной выпарной установки. Полезная разность температур.**

Процесс выпаривания заключается в удалении из раствора большей части растворителя и получении концентрированного раствора. Выпаривание следует вести так, чтобы при заданной производительности получить сгущенный раствор требуемой концентрации без потерь сухого вещества и при возможно меньшем расходе топлива. Процесс выпаривания осуществляют в аппаратах однократного действия (однокорпусный выпарной аппарат) или многократного действия (многокорпусный выпарной аппарат). В последнем случае расход топлива на выпаривание значительно снижается.

Если температура поступающего раствора значительно ниже температуры кипения, то целесообразно его предварительно подогреть в отдельном теплообменнике, чтобы выпарной аппарат работал только как испаритель, а не выполнял частично роль подогревателя, так как в последнем случае коэффициент теплопередачи аппарата несколько снижается. Чем выше концентрация начального раствора, тем меньше расход тепла на его упаривание. Применяют в химической, сахарной и других отраслях промышленности.

Для проведения процесса применяют выпарные аппараты, работающие под атмосферным и избыточным (до 0,6 МПа) давлением или разрежением (до 0,008 МПа). При работе под избыточным давлением повышается т-ра кипения р-ра, поэтому возможности данного способа ограничены св-вами р-ра и т-рой теплоносителя. Разрежение в выпарных аппаратах создается в результате конденсации вторичного пара в спец. конденсаторах, охлаждаемых водой или исходным р-ром, и удаления неконденсирующихся газов с помощью вакуум-насоса. Выпаривание в условиях разрежения позволяет снизить т-ру кипения р-ра; применяется для концентрирования термочувствит. р-ров.

К конструкции выпарных аппаратов должны быть предъявлены **следующие требования:**

- простота, компактность, надежность, технологичность изготовления, монтажа и ремонта;

- стандартизация узлов и деталей;

- соблюдение требуемого режима (температура, давление, время пребывания раствора в аппарате), получение полупродукта или продукта необходимого качества и требуемой концентрации, устойчивость в работе, по возможности более длительная работа аппарата между чистками при минимальных отложениях осадков на теплообменной поверхности, удобство обслуживания, регулирования и контроля за работой;

- высокая интенсивность теплопередачи, малый вес и невысокая стоимость одного квадратного метра поверхности нагрева.

**В промышленности наиболее часто применяют** вертикальные выпарные аппараты. Их достоинства: компактность, естественная циркуляция (благодаря наличию циркуляционной трубы), значительная кратность циркуляции, малая занимаемая площадь, большое паровое пространство, удобство обслуживания и ремонта. Для большей компактности эти аппараты в последнее время изготовляют с удлиненными трубками (3-3,5 м).

**Поверхностные выпарные аппараты**. Наиб. распространены выпарные аппараты с трубчатыми греющими камерами. В таких аппаратах р-р находится в трубном, а греющий пар - в межтрубном пространстве. Осн. достоинства: интенсивная теплопередача, многократное использование теплоты вторичного пара, высокая степень чистоты целевого продукта, возможность создания аппаратов большой единичной мощности, легкость удаления инкрустирующих отложений с поверхности кипятильных труб. Различают выпарные аппараты с многократной циркуляцией р-ра (естественной и принудительной) и однократной - т. наз. однопроходные, или пленочные.

**Контактные** выпарные аппараты. Для химически агрессивных р-ров, особенно при высоких т-рах, напр. H2SO4, СаС12, Na2SO4\*10H2O (мирабилит), применяют аппараты с т. наз. погружным горением (рис. 2) - цилиндрич. емкости из углеродистой стали, футерованные кислотоупорной плиткой или гуммированные. В них топочные газы, используемые как теплоноситель, образуются в результате сжигания топлива (напр., прир. газа) в горелках, к-рые погружены в концентрируемый р-р. Эти газы барботируют через р-р и удаляются вместе с вторичным паром. Важное достоинство таких выпарных аппаратов - отсутствие пов-сти теплообмена, что обеспечивает сравнительно простое решение вопросов коррозионной стойкости материалов, из к-рых изготовлены аппараты. Недостатки: большой расход топлива, невозможность использования вторичного пара в кач-ве теплоносителя (удаляется в смеси с газами), загрязнение атмосферы топочными газами и продуктами уноса р-ра паром.

**полезная разность температур:**

∆t = T - Tꞌ - v

T – температура греющего пара; T' – температура вторичного пара; v – температурные потери.

**Материальный и тепловой балансы однокорпусной выпарной установки.**

Согласно материальному балансу количество сухих веществ в растворе до и после выпаривания остается постоянным.

G(Bн/100) = (G —W)(Bк/100),

откуда количество выпаренной воды:

W = G(1 Bн/Bк),

где G —количество раствора поступившего на выпаривание, кг/с;

Bн и Bк —начальная и конечная концентрации раствора, %масс;

W —количество выпаренной воды, кг/с.

Тепловой баланс запишется в виде:

Q1 + Q2 = Q3 + Q4 + Q5 + Qп,

Таким образом, общий расход пара складывается из расхода тепла на нагрев раствора до температуры кипения, расхода тепла на выпаривание определенного количества воды и на компенсацию потерь в окружающую среду.

Первое слагаемое может быть отрицательным (когда раствор поступает в аппарат перегретым), равным нулю (когда раствор подогрет до температуры кипения) и положительным (если температура раствора ниже температуры кипения).

Отношение расхода пара к количеству выпаренной воды называют удельным расходом пара. На практике считают, что на образование 1 кг вторичного пара в однокорпусной выпарной установке расходуется 1,1 —1,2 кг первичного пара.

Поверхность нагрева выпарного аппарата определяется из основного уравнения теплопередачи:

Q = K F∆t.

Тепловая нагрузка аппарата

Q = D∙r.

Тогда поверхность нагрева выпарного аппарата

F = Dr/(K∆t), где r —скрытая теплота парообразования при данном давлении; К —коэффициент теплопередачи; D - расход греющего пара на выпаривание раствора.