

*Рес. и Ф. ст.
26. 12. 12*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор-директор



О.Ю. Долматов

« _ » _____ 2012 г.

РАЗДЕЛЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу
«Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса,
обучающихся по специальности 240501 «Химическая технология материалов
современной энергетики»

Составители: Кантаев А.С., Брус И.Д., Ворошилов Ф.А.

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УДК 542.06
ББК Л1/7 35

Разделение гетерогенных систем в поле центробежных сил: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких металлов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Кантаев А.С., Брус И.Д., Ворошилов Ф.А.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 24 с.

УДК 542.06
ББК Л1/7 35

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов (№43) ФТИ «__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ХТРЭ
доктор технических наук,
профессор

 Н.Дьяченко

Рецензент
Кандидат технических наук
Доцент

 А.А. Андреев

Цель работы

1. Изучение теоретических основ разделения суспензии методом центрифугирования.
2. Изучение устройства и принципа действия осадительной центрифуги.
3. Исследование влияния режимных параметров (числа оборотов ротора, продолжительности процесса) на степень разделения суспензий.

Основы теории разделения суспензии

Механическое обезвоживание неоднородных систем (эмульсий и суспензий) проводят на вакуум-фильтрах (барабанных, дисковых, ленточных), листовых фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах и виброфильтрах.

На вакуум-фильтрах из осадков может быть удалено в среднем 80 %, на дисковых – 90 %, а на фильтр-прессах – 98 % общего количества механически связанной воды. Производительность вакуум-фильтров наиболее высокая. Выбор конструкции фильтра зависит от технико-экономических показателей процесса.

Теоретические положения центрифугирования

Под центрифугированием понимают процесс разделения неоднородных систем в поле центробежных сил с использованием сплошных или проницаемых для жидкости перегородок. Процессы центрифугирования проводятся в машинах, называемых центрифугами.

Центрифуга представляет собой в простейшем виде вертикальный цилиндрический ротор со сплошными или перфорированными боковыми стенками. Ротор укрепляется на вертикальном валу, который приводится во вращение электродвигателем, и помещается в соосный цилиндрический неподвижный кожух, закрываемый съемной крышкой; на внутренней поверхности ротора с перфорированными стенками находится фильтровальная ткань или тонкая металлическая сетка.

Под действием центробежных сил суспензия разделяется на осадок и жидкую фазу, называемую фугатом. Осадок остается в роторе, а жидкая фаза удаляется из него.

В отстойных центрифугах со сплошными стенками производят разделение эмульсий и суспензий по принципу отстаивания, причем действие силы тяжести заменяется действием центробежной силы.

В фильтрующих центрифугах с проницаемыми стенками осуществляют процесс разделения суспензий по принципу фильтрования, причем вместо разности давлений используется действие центробежной силы.

В отстойной центрифуге разделяемая суспензия или эмульсия отбрасывается центробежной силой к стенкам ротора, причем жидкая или твердая фаза с большей плотностью располагается ближе к стенкам ротора, а другая фаза с меньшей плотностью размещается ближе к его оси; осадок (или фаза с большей плотностью) образует слой у стенок ротора, а фугат переливается через верхний край ротора.

В фильтрующей центрифуге разделяемая суспензия также отбрасывается к стенкам ротора и фазы разделяются; при этом жидкая фаза проходит сквозь фильтровальную перегородку в кожух и отводится из него, твердая фаза в виде осадка задерживается на внутренней стороне этой перегородки, а затем удаляется из ротора.

Таким образом, общие закономерности центрифугирования имеют сходство с закономерностями отстаивания и фильтрования. Однако процессы в отстойных и фильтрующих центрифугах сложнее соответствующих процессов в отстойниках и фильтрах. Это обусловлено тем, что в центрифугах вместо силы тяжести и разности давлений действует центробежная сила, достигающая больших значений, а вместо плоских слоев жидкости и осадка образуются слои с цилиндрическими граничными поверхностями, усложняющими зависимость хода процесса от геометрических факторов.

Разделение эмульсий в отстойных центрифугах обычно называют сепарацией, а устройства, в которых осуществляется этот процесс, - сепараторами. Примером такого процесса является отделение сливок от обраты.

При разделении суспензий в отстойных центрифугах различают процессы центробежного осветления и центробежного отстаивания. В первом случае из жидкости удаляются твердые примеси, содержащиеся в ней в незначительных количествах, например, при осветлении лаков и смазочных материалов. Во втором случае разделяется суспензия, содержащая твердую фазу в большом количестве, в частности суспензия угля в воде.

Разделение суспензий в фильтрующих центрифугах называют центробежным фильтрованием. Аналогично процессам разделения суспензий на фильтрах на фильтрующих центрифугах могут последовательно выполняться операции фильтрования с образованием осадка, промывки и отжима его с целью уменьшения влажности.

Процессы центрифугирования осуществляются периодически или непрерывно.

В связи со сложностью закономерностей центрифугирования и разнообразием конструкций применяемых на практике центрифуг разработка теории процесса и точных методов расчета его затруднительна. Следует считать, что наиболее надежные данные для расчета процесса центрифугирования можно получить на основании опытов по разделению данной эмульсии или суспензии на небольшой центрифуге, конструктивно по возможности воспроизводящей рассчитываемую. Однако в настоящее время установлены основные закономерности, характеризующие процессы центробежного отстаивания и центробежного фильтрования и позволяющие наметить оптимальные условия работы центрифуг.

Центробежная сила и фактор разделения

Создание центрифуг обусловлено стремлением повысить скорость разделения неоднородных систем в поле центробежных сил по сравнению со скоростью разделения этих систем в отстойниках или фильтрах. Поэтому целесообразно оценить в общем виде отношение центробежной силы к силе тяжести. Это можно сделать сравнением ускорений, действующих на тело в центробежном и гравитационном полях, так как применительно к телу определенной массы силы пропорциональны ускорениям.

Разделяющее действие центрифуг возрастает пропорционально величине центробежного фактора разделения, который представляет собой отношение центробежного ускорения к ускорению силы тяжести

$$K_p = \frac{W^2 \cdot r}{g}, \quad (1)$$

где W – угловая скорость вращения, выраженная в радианах в секунду.

Если мы числитель и знаменатель этой дроби умножим на массу вращаемого тела, то в числителе мы получим центробежную силу, а в знаменателе силу тяжести. Следовательно, мы можем определить фактор разделения и как отношение центробежной силы к силе тяжести.

Если нам известно значение линейной скорости движения вращаемого тела, то в соответствии с физическим смыслом понятие радиана (центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна радиусу), угловая скорость вращения:

$$W = \frac{V_{\text{мин}}}{r}$$

Подставляя это значение в (1), получим

$$K_p = \left(\frac{V_{\text{и\`e\`e\`e}}}{r} \right)^2 \cdot \frac{r}{g} = \frac{V_{\text{и\`e\`e\`e}}^2}{rg}, \quad (2)$$

Если скорость вращения задана числом оборотов в минуту, то угловая скорость вращения:

$$W = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$$

Подставив это значение в (1), получаем

$$K_p = \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot \frac{r}{g} = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot r}{900 \cdot g} \quad (3)$$

Скорость осаждения определяется из равенства силы сопротивления и центробежной силы.

В области Стокса для самых мелких частиц при $Re < 2$ скорость осаждения:

$$W_{\text{осажд}} = W_{0\text{осажд}} \cdot K_p \quad (4)$$

где $W_{0\text{осажд}}$ – скорость осаждения данной частицы под действием силы тяжести.

В переходной области ($Re=2 \div 500$):

$$W_{\text{осажд}} = W_{0\text{осажд}} \cdot K_p \cdot 0,715 \quad (5)$$

В автомодельной области ($Re > 500$)

$$W_{\text{осажд}} = W_{0\text{осажд}} \cdot K_p \cdot 0,5 \quad (6)$$

Так как требуемая поверхность осаждения обратно пропорциональна скорости осаждения, то поверхность осаждения в центрифуге меньше поверхности отстойника при равной производительности в области Стокса в K_p раз, в переходной области в $K_p \cdot 0,715$ раз и в автономной области в $K_p \cdot 0,5$ раз.

Как известно, в общем случае центробежная сила S выражается равенством:

$$\tilde{N} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot r}, \quad (7)$$

где m – масса вращающегося тела, кг;

G - вес вращающегося тела, Н;

v - скорость, м/с;

r - радиус вращения, м.

Окружная скорость вращения определяется равенством:

$$v = \omega \cdot r = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot r, \quad (8)$$

где n – число оборотов в минуту;

ω - окружная скорость вращения, м/сек.

Сопоставляя равенства (7) и (8), найдем:

$$\tilde{N} = \frac{G}{r \cdot g} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot r \right)^2 \quad (9)$$

или

$$C = \frac{G \cdot r \cdot n^2}{900}. \quad (10)$$

Из выражения (10) следует, что увеличение числа оборотов ротора значительно больше влияет на возрастание центробежной силы, чем увеличение диаметра ротора центрифуги.

Из равенства (7) видно, что ускорение в поле центробежных сил составляет ω^2/r . Отношение центробежного ускорения к ускорению силы тяжести называют фактором разделения:

$$K_p = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}, \quad (11)$$

приняв величину $G = 1$ Н, из соотношений (7), (10), (11) получим:

$$K_p = \frac{r \cdot n^2 \cdot \pi^2}{900 \cdot g} \quad (12)$$

Например, для центрифуги с ротором диаметром 1000 мм ($r = 0,5$ м), вращающимся со скоростью $n = 1200$ об/минуту, фактор разделения составляет:

$$K_p = \frac{0,5 \cdot 1200^2}{900} = 800 \quad (13)$$

Фактор разделения является важной характеристикой центрифуг, так как, при прочих равных условиях, разделяющее действие центрифуги возрастает пропорционально величине K_p . Расчет скорости осаждения в поле центробежных сил может быть произведен по уравнениям, описывающим

скорости осаждения за счет сил тяжести в переходной и автомоделльной областях при подстановке в эти уравнения вместо критерия Ar произведение $Ar \cdot K_p$.

Процессы в отстойных центрифугах

В общем случае разделение суспензий в отстойных центрифугах складывается из стадий осаждения твердых частиц на стенках ротора и уплотнения образовавшегося осадка. Первая из этих стадий протекает по законам гидродинамики, вторая - по закономерностям механики грунтов (пористых сред).

При малой концентрации твердых частиц в исходной суспензии (приблизительно не более 4 об. %) наблюдается свободное осаждение их в роторе без образования четкой поверхности раздела между чистой жидкостью и еще нерасслоившейся суспензией. При повышении концентрации образуется ясная граница раздела вследствие стесненного осаждения твердых частиц.

Процессы разделения суспензий в отстойниках и отстойных центрифугах существенно различаются. В отстойниках гравитационное поле однородно, а интенсивность поля центробежных сил возрастает по мере движения частицы к периферии ротора. Это приводит к тому, что при вращении ротора с определенным числом оборотов на частицу действует возрастающая центробежная сила, обуславливающая ускорение ее движения. В отстойниках частицы проходят через постоянные по площади поперечные сечения плоского слоя жидкости, а в отстойных центрифугах они перемещаются через возрастающие по площади поперечные сечения кольцевого слоя. Поэтому закономерности процессов в отстойниках нельзя распространить на процессы в отстойных центрифугах.

Разделяющая способность отстойных центрифуг характеризуется индексом производительности Σ , который является произведением площади цилиндрической поверхности осаждения F в роторе на фактор разделения K_p :

$$\Sigma = F \cdot K_p, \quad (14)$$

откуда

$$\frac{\Sigma}{F} = K_p. \quad (15)$$

Учитывая, что фактор разделения выражает отношение скоростей отстаивания частиц в отстойной центрифуге и отстойнике, в соответствии с равенством (15) величину Σ следует считать равной площади отстойника, эквивалентного по производительности для данной суспензии рассматриваемой центрифуге. Индекс производительности Σ отражает влияние всех конструктивных особенностей осадительной центрифуги, определяющих ее разделительную способность.

Рассмотрим выражение для индекса производительности применительно к цилиндрическому ротору центрифуги, в котором находится слой жидкости. На рис.1 дана простейшая схема действия отстойной центрифуги. На практике толщина слоя жидкости h значительно меньше диаметра ротора D , поэтому величину фактора разделения можно отнести к среднему диаметру $(D-h)$. Тогда в соответствии с выражением (3)

$$K_p = \frac{\pi^2 \cdot n^2}{900 \cdot g} \cdot \frac{D-h}{2}$$

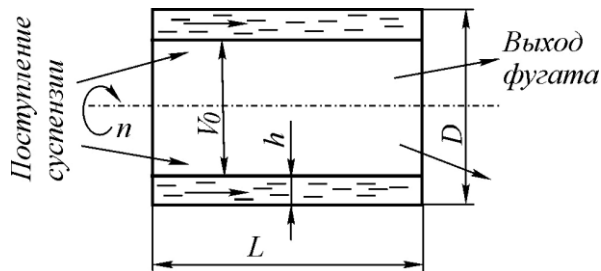


Рис. 1. Схема действия отстойной центрифуги

Площадь цилиндрической поверхности осаждения в роторе:

$$F = \pi \cdot (D-h) \cdot L \quad (16)$$

Отсюда

$$\Sigma = F \cdot K_p = \pi \cdot L \cdot \frac{(D-h)^2 \cdot n^2 \cdot \pi^2}{1800 \cdot g} \quad (17)$$

Если принять, что жидкость в роторе перемещается не по всему кольцевому пространству, занимаемому слоем, а только по тонкой внутренней

зоне кольцевого пространства (поверхностный режим течения), то приближенно можно полагать

$$K_p = \frac{r_0 \cdot n^2 \cdot \pi^2}{900 \cdot g} \text{ и } F = 2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot L, \quad (18)$$

где r_0 - радиус свободной поверхности жидкости.

В этом случае

$$\Sigma = F \cdot K_p = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \frac{r_0^2 \cdot n^2 \cdot \pi^2}{900 \cdot g} \quad (19)$$

Равенство (14) применимо при условии, если осаждение твердых частиц суспензии происходит при ламинарном режиме. Вследствие большого значения центробежной силы осаждение частиц в центрифугах может происходить в условиях переходного и турбулентного режимов. Индекс производительности выражается следующим образом:

в переходном режиме

$$\Sigma = F \cdot K_p^{0,715}, \quad (20)$$

в турбулентном режиме

$$\Sigma = F \cdot K_p^{0,5}. \quad (21)$$

Как видно из равенств (20) и (21), в этих случаях площадь отстойника, эквивалентного по производительности рассматриваемой центрифуге, возрастает не пропорционально фактору разделения, а менее интенсивно.

Производительность осадительных центрифуг в действительности оказывается пониженной по сравнению с производительностью, вычисленной на основе рассчитанной скорости осаждения твердых частиц в центробежном поле. Уменьшение производительности объясняется, в частности, следующими причинами: отставанием скорости вращения жидкости от скорости вращения ротора, приводящим к уменьшению центробежной силы, действующей на частицу; неравномерностью течения жидкости вдоль ротора и увлечением осадившихся частиц с его стенок; образованием вихревых зон,

взмучивающих частицы. В связи с этим вводят понятие о коэффициенте эффективности отстойной центрифуги

$$\zeta_e = \frac{Q_A}{Q_D}, \quad (22)$$

где Q_D и Q_T - действительная и рассчитанная производительности центрифуги, м³/сек.

Значение коэффициента ζ_u для отстойных центрифуг разных конструкций различно и находится опытным путем. Пользуясь соотношением (22), определяют действительную производительность центрифуги.

Устройство центрифуг

По значению фактора разделения центрифуги можно условно разделить на две группы: нормальные центрифуги ($K_p < 3500$) и сверхцентрифуги ($K_p > 3500$).

Нормальные центрифуги применяются главным образом для разделения различных суспензий, за исключением суспензий с очень малой концентрацией твердой фазы, а также для удаления влаги из штучных материалов. Сверхцентрифуги служат для разделения эмульсий и тонкодисперсных суспензий.

Нормальные центрифуги могут быть отстойными и фильтрующими. Сверх центрифуги являются аппаратами отстойного типа и подразделяются на трубчатые сверхцентрифуги, используемые для тонкодисперсных суспензий, и жидкостные сепараторы, служащие для разделения эмульсий.

Существенным признаком типа центрифуг является способ выгрузки из них осадка. Выгрузка производится вручную, при помощи ножей или скребков, шнеков и поршней, движущихся возвратно-поступательно (пульсирующих), а также под действием силы тяжести и центробежной силы.

По расположению оси вращения различают вертикальные, наклонные и горизонтальные центрифуги. Вал ротора вертикальной центрифуги имеет опору внизу или подвешивается сверху.

В зависимости от организации процесса центрифуги делятся на периодически и непрерывно действующие.

Описание экспериментальной установки

Установка (рис.2) состоит из ротора (1), электродвигателя (2), рабочих кювет (3), пробирок с исследованными системами (4) и пульта управления (5).

На пульте управления смонтирован часовой механизм для автоматического выключения привода центрифуги, тахометр для контроля числа оборотов ротора, пакетный переключатель числа оборотов ротора и кнопка электромагнитного тормоза.

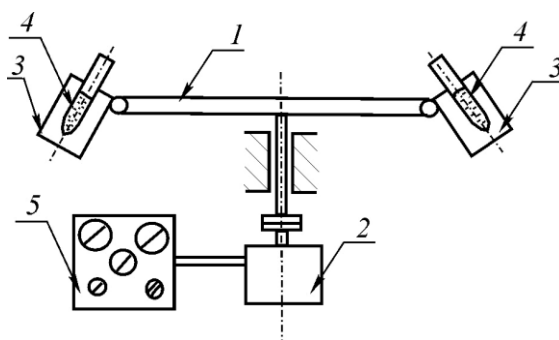


Рис. 2. Схема лабораторной установки

Описание конструкции пробирочной центрифуги

В работе используется центрифуга лабораторная медицинская ОПН-8 (рис.3)



Рис. 3. Центрифуга ОПН-8

Центрифуга лабораторная медицинская ОПн-8 является центрифугой лабораторной периодического действия, обычной, переносной с частотой вращения 8000 об/мин., предназначенной для разделения неоднородных жидких систем плотностью до 2 г/см³ в поле центробежных сил.

Центрифуга предназначена для использования в практике клинической лабораторной диагностики, проведения широкого круга исследований в области медицины и других областях.

Частота вращения ротора центрифуги ОПн-8 регулируется ступенчато в диапазоне от 0 до 8000 об/мин через каждые 100 об/мин.

Подготовка центрифуги к работе

1. Подключить сетевой шнур центрифуги к сети переменного тока.
2. Установить ручкой задатчика механизма отсчета времени (в дальнейшем – часы) требуемое время центрифугирования с учетом времени разгона.
3. Выключатель часов установить в положении включено, при этом на клавише будет видна красная точка.
4. Установить задатчиком частоты вращения ротора требуемое число оборотов.
5. Выключатель цепи питания установить в положение включено, при этом на клавише будет видна красная точка. Ротор начнет вращаться через некоторое время (30...45с) и автоматически достигнет заданной частоты вращения.
6. После истечения заданного времени автоматически отключается напряжение питания электродвигателя, и ротор начнет останавливаться.
7. Выключатель цепи питания установить в положение отключено.
8. После полной остановки ротора открыть крышку центрифуги, снять крышку ротора и вынуть пробирки.

9. Для продолжения центрифугирования без смены ротора необходимо заменить центрифугат в пробирках и повторить процесс.

Порядок проведения работы

1. В две пробирки наливаются по 5 мл 0,1N раствора хлорида или сульфата железа (III), а затем к ним добавляются по 5 мл 0,1N раствора аммиака или едкого натра.
2. Пробирки устанавливаются в центрифугу симметрично относительно оси вращения в стаканчики ротора центрифуги.
3. Включите центрифугу кнопкой «СЕТЬ».
4. Закройте крышку центрифуги.
5. Установите на центрифуге при помощи соответствующих кнопок частоту вращения (варианты – 1000, 1500, 2000, 2700 об/мин. и время (от 0 до 10 мин через 1 мин).
6. Выключение происходит через заданный интервал автоматическом режиме.
7. Извлеките любую пробирку из центрифуги и при помощи линейки измерьте высоту осадка, после чего зажав пальцем интенсивно встряхните и поместите обратно. Результаты измерений занесите в табл.1. Возможно повторение процесса со следующей пробиркой и т.д.
8. Опыт повторяют на различной частоте и продолжительности процесса.
9. Определите объём влажного осадка по формуле

$$V_{oc} = V_c - V_{\phi}, \quad (23)$$

где V_c – объём суспензии, мм³; V_{ϕ} – объём фугата, мм³.

$$V_{\phi} = h_1 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (24)$$

где h_1 – высота слоя фугата, мм; d – диаметр пробирки, мм.

10. Рассчитайте фактор разделения по формуле (11).
11. Определите степень уплотнения осадка:

$$\Delta = \frac{V_{oc} - V'_{oc}}{V_{oc}} \quad (5)$$

где V_{oc}^0 – первоначальный объём осадка, мм³; V_{oc} – объём осадка в данный момент времени, мм³.

12. Постройте зависимость изменения объёма влажного осадка от времени центрифугирования $V_{oc} = f(\tau)$ при различных числах оборота ротора.
13. Постройте зависимость степени уплотнения осадка от фактора разделения $\Delta = f(K_p)$.
14. Составьте отчет и сделайте выводы по работе.

Таблица 1. Таблица экспериментальных данных

№ пробирки	Число оборотов, об/мин	Время центрифугирования τ , мин	Высота слоя фугата h_f , мм	Объемы			Фактор разделения F_r
				суспензии V_c , мм ³	фугата V_f , мм ³	осадка V_{oc} , мм ³	

Определение погрешностей измерений и расчетов

При обработке экспериментальных данных необходимо правильно оценивать погрешности измерений и расчета.

Экспериментальные установки оснащены измерительными устройствами и приборами, использование которых для измерения того или иного параметра процесса сопряжено с погрешностями. Погрешности могут быть систематическими и случайными. Кроме того, при несоблюдении условий проведения опытов или недостаточном внимании, исполнителя работы могут быть грубые погрешности (промахи). Для оценки точности измерений применяют статистическую теорию ошибок. В частности, удобным вычислительным методом является метод наименьших квадратов. Приведем для примера порядок вычисления погрешностей при прямых измерениях:

- 1) составить таблицу измерений;

2) найти среднее $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i$ (где n - число измерений в серии (выборке));

x_i - численное значение измеренной величины);

3) найти единичные отклонения $\Delta X_i = X_i - \bar{X}$;

4) проверить согласие с соотношением $\sum_1^n \Delta X_i = 0$ (сумма всех положительных и отрицательных отклонений от среднего должна равняться нулю);

5) вычислить квадраты отклонений $(\Delta X_i)^2$;

6) найти среднее квадратическое отклонение:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{(n-1)}}$$

7) выявить и исключить из таблицы измерений промахи (приближенно считая промахами измерения, при которых $\Delta X_i > 2S_n$);

8) найти среднее квадратическое отклонение среднего

$$S_{\bar{X}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{[n(n-1)]}}$$

9) задаться значением надежности (доверительной вероятности α -обычно 0,95);

10) выбрать из таблицы коэффициент (критерий) Стьюдента $t_{\alpha n}$ при данных α и n (число выборок может быть как угодно большим, но при проведении лабораторных опытов обычно $n = 5 \div 7$, не менее 4);

Таблица 2. Значение коэффициентов Стьюдента $t_{\alpha n}$

Доверительная вероятность	ВЫБОРКА									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,7	2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
0,95	12,7	4,3	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3	2,1
0,99	63,7	9,9	5,8	4,6	4,0	3,7	3,5	3,4	3,3	3,0

11) вычислить погрешность результата измерения

$$\Delta X = \varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha n} \cdot S_{\bar{X}}$$

При умножении критерия Стьюдента $t_{\alpha n}$ на $S_{\bar{X}}$ определяют, в каком интервале находится истинное значение измеряемой величины (при отсутствии систематической погрешности). Если желательно получить один и тот же интервал погрешности при измерениях, а значит и одинаковый коэффициент $t_{\alpha n}$, например, 3,1, то при $\alpha = 0,95$ достаточно провести три-четыре измерения, а при $\alpha = 0,99$ - десять.

12) внести в таблицу окончательный результат: $\bar{X} \pm \Delta X$;

13) найти относительную погрешность (в %): $\varepsilon_x = \left(\frac{\Delta X}{\bar{X}}\right) \cdot 100$.

Пример

Определение погрешностей измерения и расчета

1. Произвели измерение величины параметра "X":

15, 18, 14, 16.

2. Находим среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{1}^n x_i$$

где n - число измерений в серии;

x_i - численное значение измеренной величины;

$$\bar{x} = \frac{15+18+14+16}{4} = 15,76$$

3. Находим единичные отклонения от среднего значения:

$$\Delta X_i = X_i - \bar{X};$$

$$15-15,75=-0,75$$

$$18-15,75=2,25$$

$$14-15,75=-1,75$$

$$16-15,75=0,25$$

4. Проверяем согласие с соотношением:

$$\sum_{1}^n \Delta X_i = 0$$

(т.к. сумма всех положительных и отрицательных отклонений от среднего должна равняться нулю);

$$-0,75+2,25-1,75+0,25=0$$

5. Вычисляем квадраты отклонений $(\Delta X_i)^2$:

$$(-0,75)^2 = 0,56$$

$$(2,25)^2=5,06$$

$$(-1,75)^2=3,06$$

$$(0,25)^2=0,0625$$

6. Находим среднее квадратичное отклонение:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,56+5,06+3,06+0,0625}{3}} = \sqrt{\frac{8,75}{3}} = 1,7$$

7. Выявляем и исключаем из таблицы промахи (приблизительно считая промахами измерения, при которых $\Delta X_i > 2S_n$):

$$(2S_n=2 \cdot 1,7=3,4)$$

$$X_i$$

$$-0,75 < 3,4$$

$$2,25 < 3,4$$

$$-1,75 < 3,4$$

$$0,25 < 3,4$$

8. Находим среднее квадратичное отклонение среднего

$$S_{\bar{X}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{[n(n-1)]}} = \frac{1,7}{\sqrt{4}} = \frac{1,7}{2} = 0,85.$$

9. Задаемся значением надежности (доверительной вероятности α -обычно 0,95);

10. Выбираем из таблицы коэффициент (критерий) Стьюдента $t_{\alpha n}=3,2$.

11. Вычисляем погрешность результата измерения:

$$\Delta X = \varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha n} \cdot S_{\bar{X}} = 3,2 \cdot 0,85 = 2,72$$

12. Вносим в таблицу окончательный результат: $\bar{X} \pm \Delta X$,

т.е. $15,75 \pm 2,72$.

13. Находим относительную погрешность (в %):

$$\varepsilon_x = \left(\frac{\Delta X}{\bar{X}} \right) \cdot 100 \%$$

$$\frac{2,72}{15,75} \cdot 100 = 17,3\%$$

Контрольные вопросы

1. Типы и конструкции осадительных центрифуг?
2. Параметры, характеризующие работу центрифуг?
3. Что такое фактор разделения?
4. Что такое индекс производительности?
5. Достоинство и недостатки осадительных центрифуг?
6. Достоинство и недостатки отстойных центрифуг?
7. От чего зависит производительность центрифуги?
8. Из каких основных элементов состоит центрифуга ОПН-8?

Литература

1. А.А.Безденежных и др. Руководство к практическим занятиям по лаборатории процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов (Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г.Романова. Л.-Химия, 1990.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.- Химия, 1973.
3. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги. М.- Машиностроение, 1967.
4. Шкоропад Д.Е. Центрифуги для химических производств. М.- Машиностроение, 1975.

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Учебное издание

РАЗДЕЛЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса,
обучающихся по специальности 240501 «Химическая технология материалов современной
энергетики»

Составители

КАНТАЕВ Александр Сергеевич
БРУС Иван Дмитриевич
ВОРОШИЛОВ Федор Анатольевич


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 05.11.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ Тираж 10 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru