

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ


«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИПР
А.Ю. Дмитриев
«17 » 09 2015г.

**«Испытание выпарного аппарата электродного типа
с прямым электронагревом»**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»

Томск 2015

УДК 66.02(076.1)

Испытание выпарного аппарата электродного типа с прямым электронагревом. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»/

Составители В.И. Косинцев, А.Г. Пьянков В.Р. Риффель

–Томск: Изд. ТПУ, 2015 –14 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию
методическим семинаром кафедры
общей химической технологии «31 » августа 2015 г.

Зав. кафедрой ОХТ,
к.т.н., доцент


B.V. Tихонов

Рецензент
Доктор технических наук
профессор кафедры ОХТ
Коробочкин В.В.

© Составление. ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2015

© В.И. Косинцев, А.Г. Пьянков В.Р. Риффель

1. Введение

Выпариванием называется процесс концентрирования жидких растворов нелетучих веществ путем частичного удаления растворителя испарением при кипении жидкости.

В химической технологии выпаривание широко применяют для концентрирования водных растворов щелочей и солей, а также высококипящих жидкостей, обладающих сравнительно малым давлением пара при температуре кипения (некоторые минеральные и органические кислоты, многоатомные спирты и т.д.).

В выпарных аппаратах тепло передается от греющего агента к раствору, при этом в качестве греющего агента может быть использован водяной пар, горячая вода, топочные газы, высококипящие органические жидкости и их пары и т.д. В некоторых случаях целесообразно осуществлять нагрев электрическим током в широком диапазоне температур. Наиболее распространенным является так называемый косвенный электронагрев, при котором тепло выделяется за счет омического сопротивления какого-либо проводника и передается раствору. Для выпаривания растворов электролитов более приемлемым является прямой электронагрев. В этом случае тепло выделяется за счет сопротивления самого раствора. Преимуществами данного способа являются: отсутствие поверхности нагрева, высокий коэффициент преобразования электрической энергии в тепловую (до 98%), равномерный прогрев упариваемого раствора в объеме греющей камеры, возможность использования современных конструктивных материалов, обладающих высокой коррозионной стойкостью и малыми коэффициентами теплопроводности, что очень важно для выпаривания агрессивных растворов.

2. Цель работы

Целью данной лабораторной работы является знакомство с принципом выпаривания и методикой испытания выпарной установки электродного типа (с прямым электронагревом).

В задачу испытаний входит:

1) определение конечной концентрации упаренного раствора;

- 2) определение тепловых потерь и температурной депрессии;
- 3) расчет коэффициента полезного действия аппарата;
- 4) определение электрических характеристик греющей камеры;
- 5) расчет количества охлаждающей воды в конденсаторе - холодильнике.

3. Техническая характеристика выпарного аппарата

1. Давление в аппарате - атмосферное.
2. Температура кипения раствора - в зависимости от концентрации.
3. Диаметр сепарационного пространства-124 мм.
4. Высота сепаратора - 190 мм.
5. Расстояние между электродами - 365 мм.
6. Материал электродов - силицированный графит.
7. Масса аппарата – 4,6 кг.

Примечание: для выполнения работы необходимо получить секундомер.

Схема лабораторной установки.

На рис.1 представлена схема лабораторной установки, включающей в себя:

1. Сепаратор.
2. Центральная циркуляционная труба.
3. Труба вскипания.
4. Электроды.
5. Межэлектродный изолятор.
6. Емкость исходного раствора.
7. Патрубок отвода вторичного пара.
8. Каплеотбойник.
9. Термометр контура циркуляции
10. Термометр температуры раствора.
11. Конденсатор - холодильник.
12. Вентиль "Вода" подачи воды на конденсатор-холодильник.
13. Термометр конденсата вторичного пара.
14. Мерник конденсата вторичного пара.

15. Кран № 3.
16. Патрубок ввода и вывода раствора.
17. Кран № 1.
18. Кран № 2.
19. Вентиль подачи воды на вакуум - насос.
20. Водоструйный вакуум-насос.
21. Термометр на входе охлаждающей воды в конденсаторе - холодильнике.
22. Термометр на выходе охлаждающей воды в конденсаторе – холодильнике.

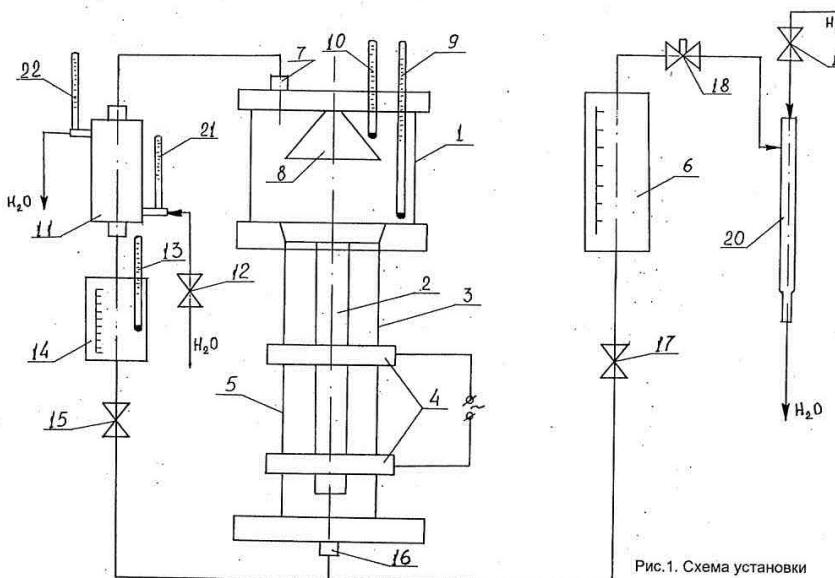


Рис.1. Схема установки

4. Порядок выполнения работы

- 4.1. Ознакомившись со схемой установки и получив разрешение у преподавателя на выполнение работы, заполняют выпарной аппарат исходным раствором медного купороса из емкости (6) с известной концентрацией (15% масс.)

Для этого необходимо:

- а) кран № 2 (18) поставить в положение "заполнение", кран №3 (15) должен быть закрыт;
- б) кран № 1 (17) перевести в положение "выпарной аппарат";
- в) провести заполнение аппарата раствором до отметки указанной преподавателем;
- г) закрыть кран № 1.

Объем исходного раствора (V_H) определяется по шкале на емкости (6) и заносится в табл.1.

4.2. Тумблер "Сеть" поставить в положение "Вкл.". Установив регулятором "нагрузка" напряжение 150 В, начинают отсчет времени эксперимента.

4.3. Через определенные промежутки времени (2 мин.) с момента начала эксперимента и до достижения температуры 90 °C снимают показания термометра (9), амперметра (I_i) и вольтметра (U_i), занося данные в таблицу 2.

4.4. При достижении температуры 90 - 95°C, открывают вентиль "вода" (12) подачи охлаждающей воды в конденсатор - холодильник (11). Время нагревания раствора от начальной температуры до появления первой капли конденсата вторичного пара в мернике (14) фиксируется (без остановки секундомера) и записывается в табл. 1 (t_f). Напряжение (U) снижается до 100 В.

4.5. После заполнения мерника конденсата вторичного пара до отметки 100 мл. снимают показания термометров вторичного пара $t_{\text{вт}}$ (10), кипения раствора t_k (9), входа t_n (21) и выхода t_k (22) охлаждающей воды на конденсаторе-холодильнике, конденсата вторичного пара t_k (13), вольтметра (U) и амперметра (I_i).

При достижении объема конденсата 200мл фиксируется общее время эксперимента($t_{общ}$) и прекращается подача электрического тока на электроды поворотом регулятора в крайнее левое положение и выключением тумблера "Сеть". Закрывается вентиль подачи воды в конденсатор-холодильник.

4.6. Возврат упаренного раствора из аппарата и конденсата из мерника осуществляется следующим образом:

- а) кран № 2 (18) перевести в положение "Возврат";
- б) вентилем "Вакуум" подать воду в вакуумный водоструйный насос (20);
- в) при достижении разряжения 0,2-105 (Па) открывается кран № 1 (17);
- г) при достижении одинакового уровня в аппарате и мернике конденсата вторичного пара открыть кран № 3 (15);
- д) после возврата раствора и конденсата в емкость (6) закрываются краны №1, №3, кран №2 - в положение "Заполнение", затем прекращается подача воды вентилем "Вакуум".

5. Обработка результатов опыта

5.1. Определение концентрации упаренного раствора производят по уравнению материального баланса:

$$W = G_H \cdot \left(1 - \frac{b_H}{b_K}\right), \text{ кг} \quad (1)$$

где:

W - количество конденсата вторичного пара, кг.

b_H , b_K - концентрация исходного и упаренного раствора, масс.доля.

G_H - количество исходного раствора, кг.

$$G_H = V_H \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (2)$$

где:

V_H - объём исходного раствора, м³.

$\rho = f(t)$ - плотность исходного раствора, кг/м³ (см. приложение, табл. 3)

Из уравнения (1) следует:

$$b_K = \frac{b_H \cdot G_H}{G_H - W}, \text{ масс.доля} \quad (3)$$

5.2. Определение тепловых потерь.

Тепловые потери в окружающую среду определяются из уравнения теплового баланса (теплотой дегидрации пренебрегаем):

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{прин}} + Q_{\text{пот}}, \quad (4)$$

где:

$Q_{отд}$ - тепло, отданное нагревателем, Дж.

$Q_{прин}$ - тепло, принятое раствором и аппаратом, Дж.

$Q_{пот}$ - тепловые потери, Дж.

В аппарате электродного типа тепло выделяется в результате преобразования электрической энергии в тепловую:

$$Q_{отд} = Q_1 + Q_2 = 0,98 \cdot I_{1cp} \cdot U_1 \cdot \tau_1 + 0,98 \cdot I_2 \cdot U_2 \cdot \tau_2 \quad (5)$$

где:

Q_1 - тепло, затраченное на нагрев раствора и аппарата до температуры кипения, Дж;

Q_2 - тепло, затраченное на выпаривание, Дж;

I_{1cp} - средняя сила тока при нагреве, А (по данным табл. 2);

τ_1 - время нагрева до температуры кипения, с;

U_1 - напряжение при нагреве, В;

I_2 - сила тока при выпаривании, А (по данным табл. 1);

U_2 - напряжение при выпаривании, В;

τ_2 - время выпаривания, с.

$$I_{1cp} = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{n}, A \quad (6)$$

где:

I_i - сила тока при нагреве (табл. 2), А;

n - количество измерений.

$$\tau_2 = \tau_{общ} - \tau_1, с \quad (7)$$

где:

$\tau_{общ}$ - общее время опыта, с.

$$Q_{прин} = Q_{нагр} + Q_{испн} + Q_A \quad (8)$$

$$Q_{нагр} = G_h \cdot C_h \cdot (t_k - t_h);$$

$$Q_{испн} = W \cdot (I_{в.н.} - C_e \cdot t_h);$$

$$Q_A = G_A \cdot C_A \cdot (t_k - t_h),$$

где:

C_h - теплоёмкость исходного раствора, Дж/(кг·К);

t_h - начальная температура раствора, °C;

t_k - температура кипения раствора, °C;

W - количество конденсата вторичного пара, кг;

$I_{в.н.}$ - энтальпия вторичного пара, Дж/(кг·К);

C_e - теплоёмкость воды, Дж/(кг·К);

Q_A - тепло, затраченное на нагрев аппарата, Дж;

G_A - масса аппарата, кг;

C_A - теплоёмкость конструкционного материала (стекло), Дж/(кг·К).

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{пот} = Q_{отд} - Q_{прин}, Дж \quad (9)$$

5.3. Коэффициент полезного действия (КПД) может быть определён по уравнению:

$$КПД = \frac{Q_{испн}}{Q_2} \cdot 100\% \quad (10)$$

5.4. Физико - химическая (температурная) депрессия ($\Delta t_{депр}$) равна разности температур кипения раствора и растворителя при одинаковом давлении, т.е. в выпарном аппарате это разность между температурой кипения раствора и температурой вторичного пара в сепараторе:

$$\Delta t_{депр} = t_k - t_{в.н.} \quad (11)$$

5.5. Количество охлаждающей воды (G_e) в конденсаторе-холодильнике рассчитывается из уравнения теплового баланса конденсатора ($Q_{пот} = 0$)

$$Q_{отд}^k = Q_{прин}^k, Дж \quad (12)$$

$$Q_{отд}^k = W \cdot r + W \cdot C_e \cdot (t_h^k - t_k^k), Дж \quad (13)$$

$$Q_{прин}^k = G_e \cdot C_e \cdot (t_k^e - t_h^e), Дж \quad (14)$$

где:

r - удельная теплота конденсации вторичного пара, Дж/кг;

t_h^k - температура конденсации вторичного пара, °C;

t_k^k - температура конденсата в сборнике, °C;

t_h^e, t_k^e - начальная и конечная температура охлаждающей воды °C;

G_e - количество охлаждающей воды, кг.

5.6. Определение электрических характеристик электродной греющей камеры заключается в построении кривой "разго-

на", которая показывает изменение рабочих параметров греющей камеры в неустановившемся процессе теплообмена, т.е. в период нагрева раствора и аппарата от начальной температуры до температуры кипения. Кривая "разгона" представляет собой зависимость мощности (N) и сопротивления греющей камеры (R) от времени (τ) и строится по данным таблицы 2.

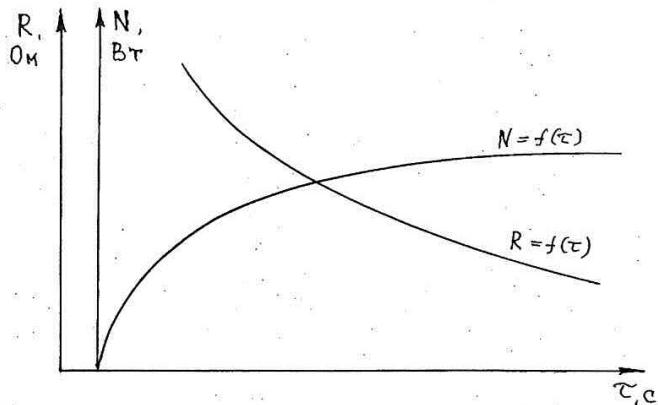


Рис.2 Кривая «разгона» электродной греющей камеры.

Мощность греющей камеры в любой момент времени рассчитывается по формуле:

$$N_i = I_i \cdot U_i, \text{ Вт} \quad (15)$$

где:

U_i I_i - напряжение и ток при разогреве раствора и аппарата.

Активное сопротивление греющей камеры:

$$R = \frac{U_i}{I_i}, \text{ Ом} \quad (16)$$

6. Оформление отчёта

Отчёт по испытанию выпарного аппарата электродного типа должен содержать:

а) цели работы;

- б) схему установки;
- в) краткое описание методики эксперимента;
- г) таблицы измерений;
- д) обработку результатов испытаний;
- е) выводы.

7. Приложение

Средняя теплоёмкость стекла $C_A=600 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Средняя теплоёмкость раствора медного купороса (15% масс.)
 $C_h=3520 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Зависимость плотности исходного раствора от температуры приведены в табл.3.

Таблица 1

Объём исходного раствора (V_h), м ³	
Концентрация исходного раствора (b_h), масс.доля	
Начальная температура раствора (t_h), °C	
Температура кипения раствора (t_k), °C	
Время нагрева до температуры кипения (τ_1), с	
Количество конденсата вторичного пара (W), кг	
Температура вторичного пара ($t_{e.n.}$), °C	
Общее время опыта ($\tau_{общ}$), с	
Напряжение при выпаривании (U_2), В	
Ток при выпаривании (I), А	
Мощность при выпаривании (N), Вт	
Начальная температура охлаждающей воды, (t^o_h), °C	
Конечная температура охлаждающей воды, (t^o_k), °C	
Конечная температура конденсата (t^k), °C	
Коэффициент полезного действия ($KПД$)	
Конечная концентрация раствора (b_k), масс.доля	

Таблица 2

№ п/п	Время, τ , с	Температура, °C	Напряжение, В, (U_i)	Сила тока, А, (I_i)	Мощность, Вт, (N_i)	Сопротивление Ом, (R_i)
1.						
2.						
...						
...						
n						

Таблица 3

Температура С	20	30	40	50	60	70	80
Плотность раствора, кг/м ³	1105	1096	1092	1087	1083	1078	1074

Учебное издание

**Испытание выпарного аппарата электродного типа
с прямым электронагревом**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу
"Процессы и аппараты химической технологии"

Составители

КОСИНЦЕВ Виктор Иванович
ПЬЯНКОВ Анатолий Григорьевич

РИФФЕЛЬ Виктор Романович

Подписано к печати . .2015. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать Херох. Усл. печ. л. 0,67. Уч.-изд. л. 0,58.
Заказ . Тираж 25 экз.



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

