

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 23.02.2023 13:16:33
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eab73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова
« 14 » 02 2023 г.

« 14 » 02



ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Методические рекомендации по выполнению практических работ
для студентов направления подготовки 18.03.01

Курск 2022

УДК 53.023

Составитель: А.В. Лысенко

Рецензент

Кандидат педагогических наук, доцент К.Ф. Янкив

Основы технических расчетов: методические рекомендации по выполнению практических работ для студентов направления подготовки 18.03.01 / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.В. Лысенко. Курск, 2016, 21 с.: ил. 5, табл. 5. Библиогр.: 20 с.

Содержатся методические рекомендации к практической работе «Основы технических расчетов» по дисциплине «Моделирование химико-технологических процессов». Приведены теоретические основы определения коэффициентов эмпирических формул и рассматриваются основные методы их определения. Описан порядок проведения работы. Приведены примеры решения типовых задач, а также индивидуальные задания.

Методические рекомендации соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Предназначены для студентов направления подготовки 18.03.01 Химическая технология.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *Н.С.* Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. 1,22. Уч.-изд. л. 1,11.

Тираж 100 экз. Заказ *82* Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

1 Основы технических расчетов	4
1.1 Типы функций, используемых при описании химико-технологических процессов	4
1.2 Построение графиков	4
1.3 Определение коэффициентов эмпирических формул	5
1.3.1 Графический метод	5
1.3.2 Метод средних	7
1.3.3 Метод наименьших квадратов (МНК)	7
2 Практическая работа «Определение коэффициентов эмпирических формул»	9
2.1 Решение типовых задач	9
2.2 Индивидуальные задания	17
Список использованных источников	20
Приложение А	21

1 Основы технических расчетов

При экспериментальном исследовании того или иного процесса обычно получают некоторые численные результаты, по которым можно установить закон, связывающий исследуемые переменные. Если целью опыта является получение результатов, действительных только для данного случая (например, при калибровке измерительного прибора), то можно ограничиться представлением зависимости между исследуемыми переменными в виде таблицы или, что еще лучше, в виде графика. Когда же целью исследования является обобщение результатов опыта, то обычно экспериментальные данные математически обрабатывают для получения аналитического выражения искомого закона. Иногда и в первом случае целесообразнее получить эмпирическую формулу, которой пользоваться удобнее, чем графиками.

В зависимости от цели и требуемой точности для математической обработки экспериментальных данных можно использовать графические или статистические методы.

1.1 Типы функций, используемых при описании химико-технологических процессов

В таблице 1 графически представлены некоторые функции, наиболее часто встречающиеся при расчетах химической аппаратуры. Для каждого семейства кривых дано исходное уравнение, метод его линеаризации и уравнение, полученное после линеаризации. Число типов функций, с которыми приходится сталкиваться при описании процессов, намного больше, но с помощью различных методов замены переменных можно прийти к функциям, приведенным в таблице 1 приложения А.

1.2 Построение графиков

Построение графика состоит из следующих основных этапов:

- выбор масштаба шкал. При выборе масштаба (длины, соответствующей единице измерения изображаемой величины) учитывается точность отсчета и удобство нанесения делений. Масштаб выбирают так, чтобы значение величин, наносимых на

шкалу, выражались круглыми числами, а наклон полученной кривой составлял 45°;

- нанесение делений на оси. На координатные оси наносят только такие деления, которые соответствуют целым значениям изображаемых величин;

- нанесение точек, полученных при проведении опытов;

- проведение плавной кривой через полученные точки. Если не все точки укладываются на кривую, последнюю проводят между ними.

1.3 Определение коэффициентов эмпирических формул

Для определения коэффициентов эмпирических уравнений можно использовать:

- графический метод;

- метод средних;

- метод наименьших квадратов.

Как графический, так и аналитический метод требует линеаризации кривых, полученных при графическом изображении экспериментальных данных.

1.3.1 Графический метод

С помощью соответствующей замены переменных линеаризируют функциональную зависимость и получают линейную функцию вида:

$$y=A+Bx, \quad (1)$$

Эта функция изображается на графике прямой. Метод графического определения постоянных a и b представлен на рисунке 1.

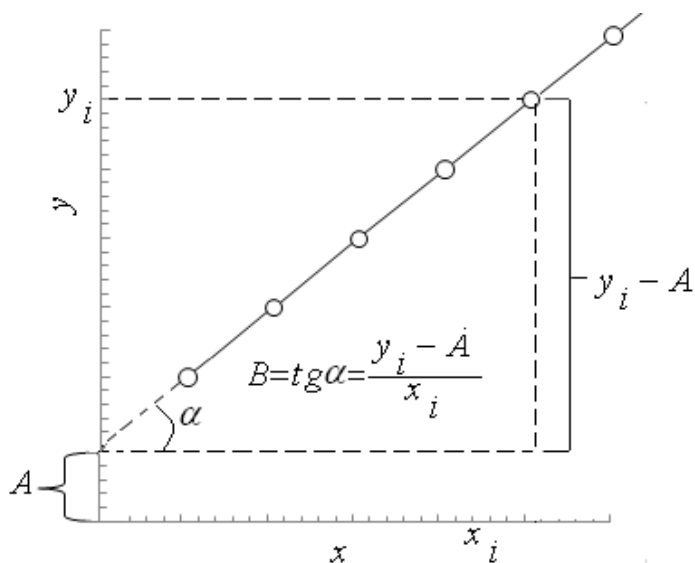


Рисунок 1 - Графическое определение коэффициентов эмпирических формул

Обратный переход к исходной функциональной зависимости осуществляют с учетом использованного метода линеаризации.

Если полученная прямая расположена далеко от начала координат и ее невозможно продолжить (см. рис.1), то используют следующие соотношения:

$$A = \frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1} \quad (2)$$

$$B = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (3)$$

где Y_1 , X_1 и Y_2 , X_2 - численные значения координат двух произвольных точек полученной прямой.

1.3.2 Метод средних

В линеаризованное уравнение (1) подставляют экспериментальные значения X_i и Y_i , при этом получают ряд уравнений вида $Y_i = A + BX_i$, число которых n равно числу экспериментальных точек. Эти уравнения разделяют на две приблизительно равные группы и складывают почленно уравнения каждой группы. Пусть в первой группе будет k уравнений, а во второй $(n-k)$ уравнений. В результате получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k Y_i &= kA + B \sum_{i=1}^k X_i \\ \sum_{i=k+1}^n Y_i &= (n-k)A + B \sum_{i=k+1}^n X_i \end{aligned} \quad (4)$$

Из данной системы уравнений определяют постоянные A и B .

1.3.3 Метод наименьших квадратов (МНК)

В его основу положено условие минимальности отклонений суммы квадратов экспериментально найденных величин от расчетных:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - A - BX_i)^2 = \min \quad (5)$$

Следовательно, частные производные по A и B должны быть равны нулю:

$$\frac{\partial}{\partial A} \sum (Y_i - A - BX_i)^2 = \sum 2(Y_i - A - BX_i)(-1) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial B} \sum (Y_i - A - BX_i)^2 = \sum 2(Y_i - A - BX_i)(-X_i) = 0 \quad (7)$$

Таким образом, получают систему уравнений

$$\sum Y_i = nA + B \sum X_i \quad (8)$$

$$\sum X_i Y_i = A \sum X_i + B \sum X_i^2 \quad (9)$$

из которых находят значения А и В.

Метод наименьших квадратов представляет собой наиболее точный метод определения коэффициентов эмпирических формул.

2 Практическая работа.

Определение коэффициентов эмпирических формул

Цель работы: познакомиться с методами, которые можно использовать для определения коэффициентов эмпирических уравнений. Освоить методы линеаризации кривых, полученных при графическом изображении экспериментальных данных, используя Microsoft office Excel.

Порядок выполнения работы

- 1 Получить допуск для выполнения работы.
- 2 Решить типовые задачи.
- 3 Получить индивидуальное задание и решить задачи разными способами, используя Microsoft office Excel.
- 4 Сделать вывод о проделанной работе. Обязательно указать наиболее точный метод определения коэффициентов эмпирических формул.
- 5 Оформить отчёт, используя Microsoft office Excel.

2.1 Решение типовых задач

Пример 1. В результате опытов получены значения перепадов давления Δp (в кгс/м²) [кгс - килограмм-сила (русское обозначение: кгс или кГ; международное: kgf или kgF) - единица силы в системе единиц МКГСС; 1 кгс = 9,80665 ньютонов (точно) \approx 10 Н] в функции от скорости воздуха ω_0 (в м/сек) в отверстиях ситчатой тарелки (пластины с дырочками или щелями плюс трубка для слива флегмы (смесь жидкостей, например, спирт-вода, при разделении смеси методом ректификации) на тарелку ниже), которые представлены в левой части таблицы 1.

Найти зависимость перепада давления (потери напора) Δp от скорости воздуха ω_0 .

Таблица 1 – Значение перепадов давления в функции от скорости воздуха

Экспериментальные значения величины				Вычисленные значения величины			
Δp	ω_0	$\lg(\omega_0)$	$\lg(\Delta p)$	графический метод		метод средних	
				$\Delta p_{гр}$	$\Delta, \%$	$\Delta p_{ср}$	$\Delta, \%$
3,0	5,01	0,6998	0,4771	2,894	-3,67	3,012	-0,01
6,0	7,10	0,8513	0,7782	5,849	-2,59	6,067	-0,679
10,0	9,10	0,9590	1,0000	9,651	-15,59	9,986	-0,057
15,0	11,10	1,0453	1,1761	14,411	-4,09	14,881	-1,229
24,5	14,20	1,1523	1,3890	23,688	-3,49	24,400	-0,833
34,5	17,00	1,2305	1,5378	34,062	-1,29	35,022	1,072
46,0	19,20	1,2833	1,6628	43,543	-5,64	44,716	-3,308
60,0	22,30	1,3483	1,7782	58,898	-2,16	60,392	-0,228
75,3	24,80	1,3945	1,8768	72,983	-3,17	74,755	1,157
98,0	28,60	1,4564	1,9912	97,312	-0,69	99,530	1,120

Решение.

По экспериментальным данным строим график, представленный на рисунке 2.

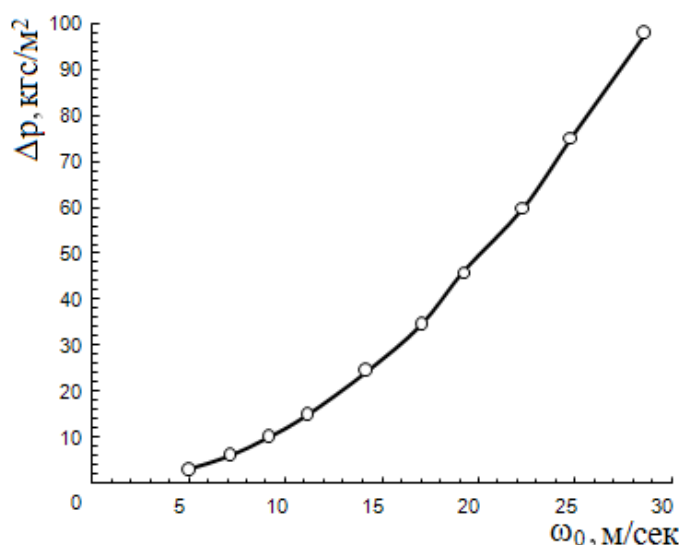


Рисунок 2 – Зависимость перепада давления Δp от скорости воздуха ω_0 (уравнение (10)) в обычных координатах

Из сравнения полученной кривой с кривыми, представленными в таблице 1 приложения А, видно, что ее можно аппроксимировать уравнением I, то есть зависимость потери напора от скорости газа описывается уравнением вида

$$\Delta p = a \omega_0^b \quad (10)$$

Обозначим $\Delta p = y$ и $\omega_0 = x$

Путем логарифмирования линеаризируем уравнение (10):

$$\lg y = \lg a + b \lg x \quad (11)$$

или

$$Y = A + BX \quad (12)$$

где $Y = \lg y = \lg \Delta p$, $X = \lg x = \lg \omega_0$, $A = \lg a$, $B = b$

В соответствии с уравнением (12), полученные экспериментальные данные изобразятся в логарифмических координатах в виде прямой.

Действительно, как видно из рисунка 3, в логарифмических координатах экспериментальные точки укладываются на прямую.

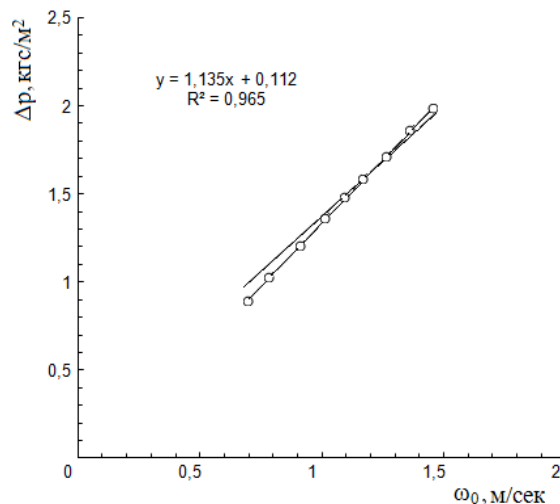


Рисунок 3 – Зависимость перепада давления Δp от скорости воздуха ω_0 (уравнение (10)) в логарифмических координатах

Постоянные a и b определяем графическим методом и методом средних.

Графический метод. Продолжив на рисунке 3 экспериментальную прямую до пересечения с осью ординат, получим при $X=0$ значение $a=0,112$.

Постоянную b (угловой коэффициент прямой) находим построением, показанным на рис. 3 пунктирными линиями:

$$b = \frac{\lg 50 - \lg 0,48}{\lg 20 - \lg 2} = 2,018 \quad (\text{см. уравнение (3)})$$

Таким образом, при использовании графического метода получаем следующее уравнение:

$$\Delta p_{\text{гр}} = 0,112 \omega_0^{2,018} \quad (13)$$

Метод средних. Подставив в уравнение (12) значение величин, соответствующих экспериментальным данным таблицы 1, получим следующие уравнения:

0,4771=A+0,6998B	1,5378=A+1,2304B
0,7781=A+0,8512B	1,6627=A+1,2833B
1,000=A+0,9590B	1,7781=A+1,3483B
1,1760=A+1,0453B	1,8767=A+1,3944B
1,3891=A+1,1522B	1,9912=A+1,4563B

Разделив эти уравнения на две группы и сложив уравнения каждой группы, составляем систему уравнений:

$$\begin{aligned} 5A+4,7075B &= 4,8203 \\ 5A+6,7127B &= 8,8465 \end{aligned}$$

Решая ее, получаем:

$$\begin{aligned} B &= b = 2,0079 \\ A &= \lg a = -0,9264; a = 10^{-0,9264} = 0,118 \end{aligned}$$

$$a=0,118$$

Подставив эти значения в уравнение (10), найдем выражение для определения потери напора в отверстиях ситчатой тарелки в зависимости от скорости воздуха в отверстиях:

$$\Delta p_{cp}=0,118\omega_0^{2,0079} \quad (14)$$

В правой части таблицы 1 приведены значения Δp , полученные при использовании уравнения (13) и (14), а также отклонения Δ расчетных значений величин в % от значений, определенных экспериментально. Как видно из таблицы 1, уравнение (14), полученное методом средних, дает значительно более близкие к экспериментальным данным результаты.

Пример 2. В таблице 2 приведены результаты опытов по растворению соли в сосуде с мешалкой, причём y - концентрация соли в растворе, %, а x - время растворения, мин.

Найти экспериментальное уравнение, выражающее зависимость между величинами x и y .

Таблица 2 – Результаты опытов по растворению соли в сосуде с мешалкой

Экспериментальные значения величин			Вычисленные значения величин по			
			уравнению (18)		уравнению (19)	
y , %	x , мин	$\lg y$	$y_{гр}$	Δ , %	y_{cp}	Δ , %
1,78	1	0,25	1,76	-1,1	1,81	1,5
2,24	2	0,35	2,18	-2,75	2,27	1
2,74	3	0,438	2,70	-1,48	2,83	3
3,74	4	0,573	3,35	-11,6	3,54	-5,5
4,45	5	0,648	4,15	-7,23	4,43	-0,45
5,31	6	0,725	5,14	-3,31	5,54	4,5
6,92	7	0,84	6,37	-8,63	6,93	0
8,85	8	0,947	7,89	-12,17	8,67	-2
10,97	9	1,04	9,77	-12,28	10,84	-1

Решение: Экспериментальные данные представлены на рисунке 4.

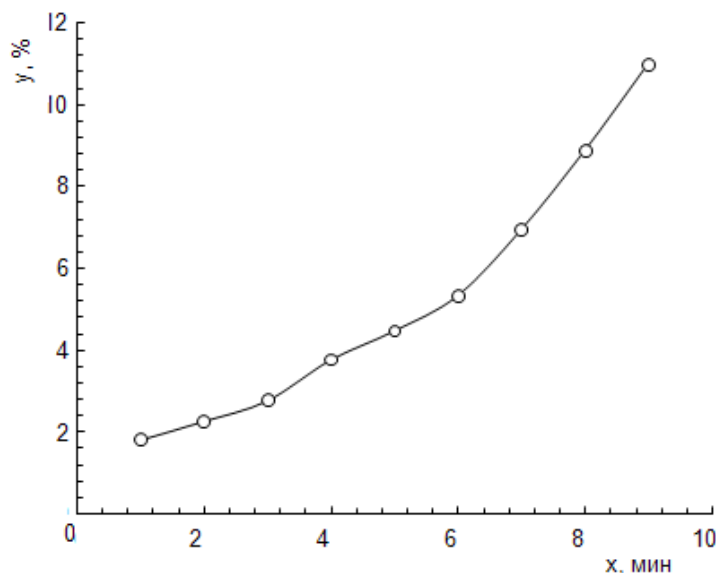


Рисунок 4 – Графическое изображение экспериментальных данных таблицы 2

Из сравнения полученной кривой с кривыми, приведенными в таблице 1 приложения А, видно, что экспериментальную кривую можно аппроксимировать уравнением II:

$$y = ae^{bx} \quad (15)$$

Уравнение (15) после логарифмирования превращается в линейное уравнение:

$$\lg y = \lg a + bx \lg e \quad (16)$$

или в общем виде

$$Y = A + Bx \quad (17)$$

где $Y = \lg y$; $A = \lg a$; $B = b \lg e$.

В полулогарифмических координатах уравнение (16) изображается прямой. Действительно, полученные экспериментальные значения величина графике, построенном в

логарифмических координатах, укладываются на прямую (рисунок 5).

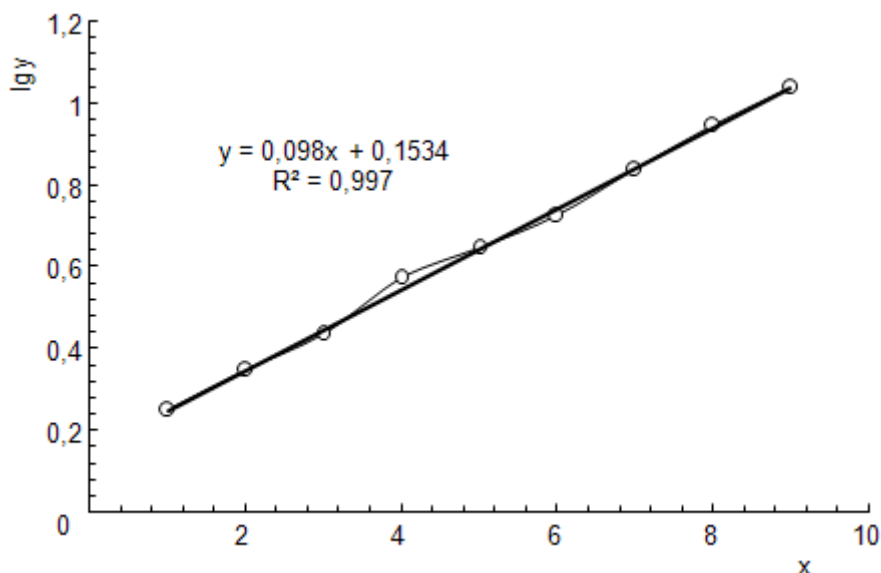


Рисунок 5 – Линейаризованный график уравнения (16), полученный на основании экспериментальных данных таблицы 3

Это указывает на то, что уравнение (15) было выбрано правильно. Из рисунка 5 получаем следующие значения постоянных a и b :

$$A = \lg a = 0,1534; a = 1,424$$

$$B = \frac{0,92 - 0,36}{8 - 2} = 0,0933$$

$$B = \frac{0,093}{\lg e} = \frac{0,093}{0,4343} = 0,214$$

Подставив эти значения в уравнение (15), получим следующую эмпирическую формулу:

$$y = 1,424e^{0,214x} \quad (18)$$

Для определения постоянных a и b методом средних напишем уравнения соответствующие функции (17):

$$0,259 = A + B$$

$$0,725 = A + 6B$$

$$0,350=A+2B$$

$$0,438=A+3B$$

$$0,573=A+4B$$

$$0,648=A+5B$$

$$0,840=A+7B$$

$$0,947=A+8B$$

$$1,040=A+9B$$

Сложив первые пять и последние четыре уравнения, получим систему:

$$2,259=5A+15B$$

$$3,552=4A+30B$$

Решая ее, находим следующие значения постоянных:

$$B=0,097$$

$$b = \frac{B}{\lg e} = \frac{0,097}{0,4343} = 0,2235$$

$$A = \lg a = 0,161; a = 1,45$$

Таким образом, при помощи метода средних получаем следующую эмпирическую формулу:

$$y = 1,45e^{0,2235x} \quad (19)$$

В четверном и шестом столбцах таблицы 2 приведены расчетные значения концентрации соли в растворе $U_{гр}$ и $U_{ср}$, вычисленные по формулам (18) и (19).

2.2 Индивидуальные задания

Задача 1. При проведении опытов по фильтрованию суспензии при постоянном перепаде давления на фильтре были получены результаты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты опыта по фильтрованию суспензии при постоянном перепаде давлений на фильтре

Экспериментальные значения величин				Значения величин, рассчитанные по уравнению			
τ , мин	V , см ³	τ/V	V^2	aV	bV^2	τ , мин	$\Delta\tau$, %
1,40	50	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^3$	0,5	0,9	1,40	0
4,60	100	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^4$	1	3,6	4,60	0
9,75	150	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$2,25 \cdot 10^4$	1,5	8,1	9,60	-1,5
12,6	175	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$3,06 \cdot 10^4$	1,75	11,0	12,75	+1,5
16,6	200	$8,3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^4$	2,0	14,4	16,40	-1,2
20,30	225	$9 \cdot 10^{-2}$	$5,06 \cdot 10^4$	2,25	18,2	20,45	+0,75
25,0	250	$10 \cdot 10^{-2}$	$6,25 \cdot 10^4$	2,50	22,5	20,5	0
30,2	275	$11 \cdot 10^{-2}$	$7,56 \cdot 10^4$	2,75	27,3	30,05	-0,5

Уравнение фильтрования при постоянном перепаде давления имеет вид $\tau = aC + bV^2$ (τ - время фильтрования, мин; V - объём фильтра, см³). Определить константы a и b .

Задача 2. В столбцах 1 и 2 таблицы 4 приведены равновесные концентрации бензола в жидкости (x) и в паре (y) для системы бензол-толуол (в мольных долях).

Найти экспериментальную формулу для определения равновесного состава паровой фазы в зависимости от состава жидкой фазы.

Таблица 4 – Равновесные концентрации бензола в жидкости и в паре для системы бензол-толуол

Экспериментальные значения величин				Расчетные значения величин			
у	х	1/у	1/х	графическим методом		методом средних	
				у _{гр}	Δ, %	у _{ср}	Δ, %
0,370	0,200	2,702	5,000	0,373	+0,8	0,373	+0,5
0,500	0,300	2,000	3,333	0,508	+1,4	0,505	+1
0,618	0,397	1,618	2,518	0,615	-0,5	0,613	-0,8
0,710	0,489	1,408	2,045	0,703	-1,0	0,700	-1,4
0,789	0,592	1,267	1,689	0,786	-0,5	0,781	-1
0,853	0,700	1,172	1,428	0,862	+1,0	0,855	+0,2
0,914	0,803	1,094	1,245	0,904	-1,1	0,916	+0,2
0,957	0,903	1,044	1,107	0,975	+1,8	0,967	+1

Задача 3. Была определена производительность шаровой мельницы в зависимости от скорости её вращения и получены следующие результаты:

Скорость вращения n , об/ч	140	240	650
Производительность, W , т/ч	4,0	5,0	7,0

Зависимость между изучаемыми параметрами характеризуется функцией вида $W=an^b$.

Определить постоянные a и b .

Задача 4. При фильтровании суспензии гидроокиси хрома на лабораторном фильтре были получены значения удельного сопротивления осадка r_{oc} (в m^{-2}) в зависимости от перепада давления на фильтре Δp (в n/cm^2), приведенные в таблице 5 (столбцы 1 и 2).

Найти уравнение, выражающее зависимость $r_{oc}=f(\Delta p)$.

Таблица 5 – Значения удельного сопротивления осадка в зависимости от перепада давления на фильтре

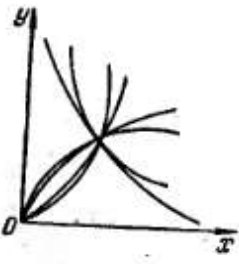
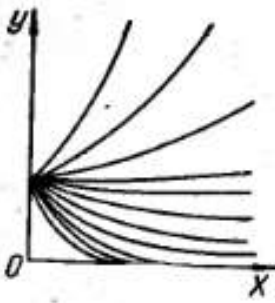
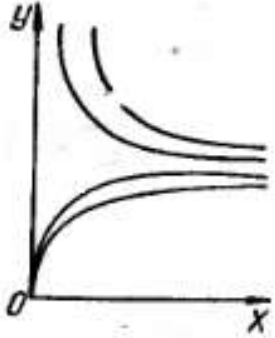
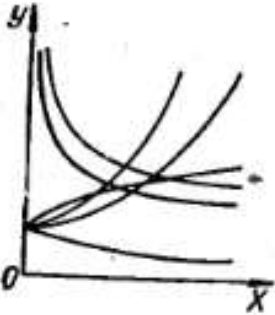
Экспериментальные значения величин		Значения r_{oc-c} , m^{-2}	Значения величин, рассчитанные по уравнению		
Δp , в n/cm^2	r_{oc} , M^{-2}		$a\Delta p$	r_{oc}	Δr_{oc} , %
2,720	$1,81 \cdot 10^{14}$	$1,48 \cdot 10^{14}$	$1,47 \cdot 10^{14}$	$1,80 \cdot 10^{14}$	-0,5
4,080	$2,30 \cdot 10^{14}$	$1,97 \cdot 10^{14}$	$1,97 \cdot 10^{14}$	$2,30 \cdot 10^{14}$	0
5,440	$2,82 \cdot 10^{14}$	$2,49 \cdot 10^{14}$	$2,47 \cdot 10^{14}$	$2,80 \cdot 10^{14}$	-0,7
6,800	$3,26 \cdot 10^{14}$	$2,93 \cdot 10^{14}$	$2,91 \cdot 10^{14}$	$3,24 \cdot 10^{14}$	-0,6
8,160	$3,64 \cdot 10^{14}$	$3,31 \cdot 10^{14}$	$3,34 \cdot 10^{14}$	$3,67 \cdot 10^{14}$	+0,8
9,520	$4,08 \cdot 10^{14}$	$3,75 \cdot 10^{14}$	$3,75 \cdot 10^{14}$	$4,08 \cdot 10^{14}$	0

Список использованных источников

1. **Флореа, О.** Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии [Текст]: учеб. / О. Флореа, О. Смигельский; Химия. М., 1971. 448 с.
2. **Батунер, Л.М.** Математические методы в химической технике [Текст]: учеб. / Л.М. Батунер, М.Е. Позин; Химия, 5-е изд. М., 1968. 823 с.
3. **Вычислительная математика в химии и химической технологии** [Текст]: учеб. / С.В. Брановицкая, Р.Б. Медведев, Ю.Я. Фиалков; Высшая школа. Головное издательство, М., 1986. 216 с.
4. **Семендяев, К.А.** Эмпирические формулы [Текст]: учеб. пособие / К.А Семендяев; Гостехиздат, М., 1933. 88 с.

Приложение А

Таблица 1 – Некоторые типы функций, наиболее часто встречающиеся в химических расчетах

Форма кривой	Уравнение	Метод линеаризации	Уравнение, полученное при линеаризации
	<p>I</p> $y = ax^b$ <p>(график дан для $a = \text{const}$)</p>	$X = \lg x$ $Y = \lg y$	$Y = \lg a + bX$
	<p>II</p> $y = ae^{bx}$ <p>(график дан для $a = \text{const}$)</p>	$Y = \lg y$	$Y = \lg a + bx \lg e$
	<p>III</p> $y = \frac{x}{a + bx}$	$Y = \frac{1}{y}$ $X = \frac{1}{x}$	$Y = aX + b$
	<p>IV</p> $y = c + ax^b$	<p>если b известно: $X = x^b$ если b неизвестно: $X = \lg x$ $Y = \lg(y - c)$</p>	$Y = c + aX$ $Y = \lg a + bX$