

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 31.01.2021 00:23:39
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ 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
« 31 » 01 2021 г.
(ЮЗГУ)

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Статистическая обработка в химической практике» для студентов
направлений 18.03.01 - Химическая технология

КУРСК 2018

УДК 66(076.5)

Составители: С.Д. Пожидаева, А.М. Иванов

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент *Н.А. Борщ*

Статистическая обработка измерений и вычислений в химической практике: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Статистическая обработка в химической практике» для студентов направлений 18.03.01 - Химическая технология / Юго-Зап.гос.ун-т; сост.: С.Д. Пожидаева, А.М. Иванов. Курск, 2018. 30 с. 14 табл.

В методические указания включены работы по статистической обработке экспериментальных данных в химическом эксперименте, позволяющие освоить методы и приемы оценки погрешностей измерений, испытаний и вычислений, основы корреляционного анализа и метода наименьших квадратов.

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Статистическая обработка в химической практике» для студентов направлений 18.03.01 - Химическая технология.

Методические указания соответствуют требованиям программы.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *ф. 02.18* Формат 64x18 1/16
Усл.печ.л. *1,44* Уч.-изд.л. *1,6* Тираж *100* экз. Заказ *615* Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
ВВЕДЕНИЕ	4
Методика выполнения конкретных измерений	5
Лабораторная работа № 1. Статистическая обработка экспериментальных данных	6
Лабораторная работа № 2. Статистическая обработка экспериментальных данных с использованием ЭВМ	8
Лабораторная работа № 3. Обработка результатов неравноточных наблюдений при разном числе измерений в рядах, но одинаковой точности каждого отдельного измерения	9
Лабораторная работа № 4. Обработка результатов неравноточных наблюдений с разной точностью отдельного измерения	11
Лабораторная работа № 5. О среднем значении и о дисперсии функции нескольких независимых случайных величин	14
Лабораторная работа № 6. Сравнение точности двух рядов измерений одной и той же величины величин с использованием критерия F	17
Лабораторная работа № 7. Сравнение точности двух рядов измерений одной и той же величины величин с использованием критерия F с использованием ЭВМ	19
Лабораторная работа № 8. Проверка гипотезы «Средние двух выборок относятся к одной и той же совокупности» с использованием критерия Стьюдента	20
Лабораторная работа № 9. Проверка гипотезы с помощью критерия Стьюдента с использованием ЭВМ	22
Лабораторная работа № 10. Использование χ^2 критерия при проверке гипотезы «Исполнители не отличаются друг от друга по допускаемым ошибкам в модельном эксперименте»	23
Лабораторная работа № 11. Построение калибровочных прямых на основании расчета регрессионного уравнения	25
Лабораторная работа № 12. Установление количественной зависимости между величинами, характеризующими данный процесс путем подбора эмпирических формул	27
Библиографический список	30

ВВЕДЕНИЕ

В химической практике используется очень большой ассортимент измерений. Это и различные виды взвешивания, начиная от сотых и тысячных грамма и оканчивая килограммами, тоннами и десятками тонн, определение объема, температуры, вязкости, теплопроводности. Давления, электропроводности, линейных размеров, площадей, концентраций веществ и т.д., причем как и в случае взвешивания в очень широких диапазонах. При этом каждый вид измерений может быть выполнен множеством способов с использованием различных приборов и оснащения разного класса, а следовательно, с predeterminedенной этим классом точностью. К тому же, кроме систематической, каждое измерение по тем или иным причинам будет содержать и случайную ошибку. Для выявления таких ошибок и оценки их величины и проводится статистическая обработка измерений. Естественно, чтобы результаты обработки были надежными, самих однотипных измерений должно быть не меньше 10.

Каждое измерение имеет свою технику и рекомендуемую систему проведения. Проиллюстрируем это на конкретном примере определения концентрации вещества в жидком растворе.

При определении концентрации вещества объемным методом, т.е. путем титрования отобранной пробы, предлагается разработать план выполнения эксперимента. Существуют следующие разновидности подобного плана:

1) последовательный план выполнения эксперимента. Отобрать пробу, выполнить подготовительные операции, оттитровать пробу, записать результат и так повторить указанное в задании число раз. Требуется минимальное количество емкостей, но является самым медленным вариантом исполнения.

2) параллельный план выполнения эксперимента. Отобрать все пробы по заданию, каждую в соответствующую посуду. Сделать подготовительные операции для каждой пробы по очереди. Затем оттитровать каждую пробу и записать результат. Является самым быстрым вариантом, но требует большое рабочее место и много емкостей для титрования. Поэтому на практике наиболее распространенным является третий вариант, которого целесообразно придерживаться.

3) параллельно-последовательный план выполнения экспери-

мента. Отобрать часть проб (5-7 по числу имеющихся в комплекте емкостей для этих целей) и выполнить все как в параллельном плане. Затем повторять такую же серию измерений до достижения заданного количества измерений.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КОНКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Любые химические измерения включают в себя ряд операций, начиная от отбора проб и заканчивая записью результата. На начальном этапе в качестве измерений можно использовать:

- определение плотности предложенной жидкости;
- определение вязкости предложенной жидкости;
- определение рН отобранных параллельно проб;
- определение концентраций реагентов.

По мере получения навыков в работе и расчетах методы статистики можно применять к экспериментально определенным константам (констант равновесия, скорости, распределения), размерам частиц и пор адсорбентов и т.д.

Основные формулы при определении концентраций растворов в лабораторных работах.

1. Определение содержания сильного основания прямым титрованием стандартным раствором кислоты.

Отобранную пробу реакционной смеси вносят в колбу, добавляют фенолфталеин в качестве индикатора (раствор должен иметь розовый цвет) и титруют раствором кислоты до исчезновения окраски. Концентрацию рассчитывают по закону эквивалентов.

2. Определение содержания кислоты прямым титрованием стандартным раствором щелочи.

Отобранную пробу реакционной смеси вносят в колбу, добавляют фенолфталеин в качестве индикатора и титруют раствором кислоты до появления розовой окраски, не исчезающей в течение 20 с. Концентрацию кислоты рассчитывают по закону эквивалентов.

3. Определение содержания ионов кальция в растворе трилонометрическим методом.

Отобранную пробу реакционной смеси вносят в колбу, добавляют 6-8 мл 2 н. раствора аммиака или щелочи, добавить мурексид (сухая смесь мурексида с солью) в качестве индикатора (раствор должен иметь розовый цвет) и титруют раствором трилона Б до пе-

рехода розовой окраски в фиолетово-синюю. Концентрацию рассчитывают по формуле:

$$[Ca^{2+}] = \frac{C_{тр} V_{тр}}{V_{пробы}}, г-экв/л,$$

где $C_{тр}$ – концентрация трилона Б; г-экв/л; $V_{тр}$ – объем титрованного раствора трилона Б; $V_{пробы}$ – объем пробы для титрования.

Лабораторная работа № 1

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: получить серию из 15-25 измерений указанной преподавателем величины (концентрации раствора, pH, показателя преломления и т.д.), провести статистическую обработку полученных результатов. Конечный результат записать 1-3 вариантами из принятых способов.

ОБОРУДОВАНИЕ: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент.
2. Провести по предложенной методике 15-25 измерений величины заданного параметра и полученные данные занести в табл.1.
3. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту. Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. Заполнить расчетные столбцы таблицы 1.
2. Определить среднее арифметическое результатов проведенных результатов.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1}$$

и

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_i}{n_2}.$$

Таблица 1 -Результаты выполненных измерений и их обработка

Исходные данные		Первая обработка		Вторая обработка		
№	Результат измерения x_i	$\bar{x} - x_i$	$(\bar{x} - x_i)^2$	x_i	$\bar{x} - x_i$	$(\bar{x} - x_i)^2$
1						
2						
...						
n_1				n_2		
	$\sum_{i=1}^{n_1} x_i$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{x} - x_i)$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{x} - x_i)^2$	$\sum_{i=1}^{n_2} x_i$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{x} - x_i)$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{x} - x_i)^2$

3. Найти среднюю квадратичную ошибку отдельного измерения σ . При этом сумма $\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{x} - x_i)$ должна быть равна нулю, что является контролем правильности вычислений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}.$$

4. Определить наибольшую возможную ошибку Δ отдельного измерения ($\Delta=3\sigma$) и убедиться, что среди результатов измерений нет таких, которые бы отличались от среднего арифметического более чем на Δ . Если такие результаты присутствуют, то их следует отбросить и начать обработку сначала, но уже с числом измерений n_2 . ($n_1 - n_2$) – число отброшенных измерений, выполненных неточно.

5. Определить среднюю квадратичную ошибку σ_0 среднего арифметического:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

6. Определить вероятную ошибку среднего арифметического

$$r_0 = 0,675\sigma_0$$

7. Рассчитать максимальную ошибку среднего арифметического Δ_0 .

8. Рассчитать меру точности единичного измерения по форму-

ле:

$$h = \sqrt{\frac{n-1}{2\sum(\bar{x}-x_i)^2}}$$

9. Рассчитать меру точности среднего арифметического по формуле:

$$H = h\sqrt{n}$$

10. Записать конкретный вид кривой распределения:

$$\varphi(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-(x-\bar{x})^2 \cdot h^2}$$

Построить кривую распределения графически и показать, что вероятность достоверного события равна 1.

11. Оформить отчет, представить его на утверждение и защитить теоретическую часть работы.

Лабораторная работа № 2

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: провести статистическую обработку результатов, полученной в лабораторной работе № 1 серии измерений указанной преподавателем величины с использованием программы Excel.

ОБОРУДОВАНИЕ: персональный компьютер типа IBM-PC.

Порядок выполнения работы

1. Ввести полученные в предыдущей работе данные в компьютер и провести соответствующие расчеты с помощью специальной программы.

2. Распечатать полученные результаты на принтере и вклеить в отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы к лабораторным работам 1 и 2

1. Ошибки эксперимента и источники их происхождения. Систематическая и случайная ошибки. Пути их обнаружения и устранения.

2. Средние значения величины в химии и химической технологии. Средняя арифметическая простая и взвешенная. Медиана. Мода.

3. Средние значения величины. Средняя логарифмическая и геометрическая. Средняя квадратичная и средняя гармоническая

величины.

4. Математическое ожидание и дисперсия случайной дискретной величины.

5. Математическое ожидание и дисперсия случайной непрерывной величины.

6. Плотность распределения и кривая распределения.

7. Нормальное распределение. Кривая Гаусса и ее характеристика.

8. Закон распределения ошибок.

9. Средняя квадратичная ошибка отдельного измерения и среднего арифметического.

10. Оценка меры точности отдельных измерений и среднего арифметического.

11. Наибольшая возможная и вероятная ошибка отдельных измерений и среднего арифметического. Правило трех сигм.

12. Наивероятнейшее значение измеряемой величины.

13. Функция Лапласа.

14. Последовательность статистической обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 3

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРАВНОТОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ РАЗНОМ ЧИСЛЕ ИЗМЕРЕНИЙ В РЯДАХ, НО ОДИНАКОВОЙ ТОЧНОСТИ КАЖДОГО ОТДЕЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: познакомить студентов с данным методом обработки экспериментальных данных, широко встречающемся на практике. На конкретных примерах освоить технику выполнения данного приема.

ОБОРУДОВАНИЕ: объектом может быть любое измерение в области химии и химической технологии, которое можно воспроизвести множество раз. Оснащение рабочего места зависит от выбора объекта измерения и приводится дополнительно.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент (объект измерения, количество рядов измерений, число измерений в каждом ряду). Число рядов измерений не меньше трех, число измерений в каждом ряду не менее 10.

2. Провести измерения величины заданного параметра по

предложенной методике, полученные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2 -Результаты выполненных измерений

№	Ряд 1		Ряд 2		Ряд j	
	Измеренный результат	Анализируемый результат x_i	Измеренный результат	Анализируемый результат x_i	Измеренный результат	Анализируемый результат x_i
1						
2						
...						
i						
		$\sum_{i=1}^{n_1} x_i$		$\sum_{i=1}^{n_2} x_i$		$\sum_{i=1}^{n_j} x_i$
\bar{g}_i		g_1		g_2		g_j
\bar{x}		$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1}$		$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_i}{n_2}$		$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{n_j}$

3. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту.

4. Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. Заполнить расчетные столбцы табл. 2 предыдущего раздела. Определить средние значения по рядам.

2. Принимая количество измерений в каждом ряду за соответствующий вес ряда g_i , найти общую арифметическую середину по формуле:

$$\bar{x} = \frac{g_1 \bar{x}_1 + g_2 \bar{x}_2 + \dots + g_n \bar{x}_n}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n g_j \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n g_j}$$

3. Все измерения выполненных рядов расположить в один ряд, провести их обработку в последовательности:

- определить среднее арифметическое;
- найти среднюю квадратичную ошибку отдельного измерения;
- убедиться, что среди результатов измерений нет таких, которые бы отличались от среднего арифметического более чем на Δ .

Если такие результаты присутствуют, то их следует отбросить и начать обработку сначала;

- определить среднюю квадратичную ошибку σ_0 среднего арифметического.

Техника работы по данному пункту описана в методических указаниях к лабораторной работе №1.

4. Сравнить значения средних арифметических по пп. 2 и 3 и сделать соответствующие выводы.

5. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Неравноточные наблюдения. Классификация.

2. Порядок и методы обработки неравноточных измерений.

3. «Вес» наблюдения и принципы его определения. Общая арифметическая середина неравноточных измерений.

4. Варианты обработки рядов неравноточных наблюдений, отличающихся числом измерений в каждом ряду, но при одинаковой точности каждого из отдельных измерений.

5. Обработка неравноточных наблюдений по принципу статистической обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 4

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРАВНОТОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С РАЗНОЙ ТОЧНОСТЬЮ ОТДЕЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: познакомиться с методом обработки неравноточных измерений с разной точностью отдельных измерений и осуществить его на практике, получив экспериментальные данные.

ОБОРУДОВАНИЕ: объектом может быть:

- титрование реакционной смеси растворами разной концентрации;
- синхронное измерение температуры разными приборами;
- синхронное измерение других физических характеристик разными приборами.

Оснащение рабочего места зависит от выбора объекта измерения и приводится дополнительно.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент (объект измерения, количество рядов изме-

рений, число измерений в каждом ряду, условия проведения отдельных измерений в каждом ряду). Число рядов измерений не меньше трех, число измерений в каждом ряду не менее 10.

2. Провести измерения величины заданного параметра по предложенной методике, полученные данные занести в таблицу 3.

Таблица 3 -Результаты выполненных измерений

№	Ряд 1		Ряд 2		Ряд j	
	Измеренный результат	Анализируемый результат x_i	Измеренный результат	Анализируемый результат x_i	Измеренный результат	Анализируемый результат x_i
1						
2						
...						
i						
n_i		n_1		n_2		n_j
		$\sum_{i=1}^{n_1} x_i$		$\sum_{i=1}^{n_2} x_i$		$\sum_{i=1}^{n_j} x_i$
\bar{x}		$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1}$		$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_i}{n_2}$		$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{n_j}$

3. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту.

4. Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. Заполнить расчетные столбцы табл. 3 предыдущего раздела. Определить средние значения по рядам.

2. Повести статистическую обработку каждого ряда измерений в последовательности:

- определить среднее арифметическое;
- найти среднюю квадратичную ошибку отдельного измерения;
- убедиться, что среди результатов измерений нет таких, которые бы отличались от среднего арифметического более чем на Δ . Если такие результаты присутствуют, то их следует отбросить и начать обработку сначала;
- определить среднюю квадратичную ошибку σ_0 среднего

арифметического.

3. Принимая количество измерений в каждом ряду n_i за соответствующий вес ряда g_i , найти общую арифметическую середину по формуле:

$$\bar{x} = \frac{g_1 \bar{x}_1 + g_2 \bar{x}_2 + \dots + g_n \bar{x}_n}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

4. Представив формулу п.3. в виде

$$\bar{x} = \frac{g_1}{\sum g_i} \bar{x}_1 + \frac{g_2}{\sum g_i} \bar{x}_2 + \dots + \frac{g_j}{\sum g_i} \bar{x}_j = k_1 \bar{x}_1 + k_2 \bar{x}_2 + \dots + k_j \bar{x}_j$$

Рассчитать дисперсию σ_z^2 для середины выполненных измерений:

$$\sigma_z^2 = k_1^2 \sigma_1^2 + k_2^2 \sigma_2^2 + \dots + k_j^2 \sigma_j^2$$

Все измерения выполненных рядов расположить в один ряд, провести их обработку в последовательности:

Техника работы по данному пункту описана в методических указаниях к лабораторной работе №1.

4. Сравнить значения средних арифметических по пп. 2 и 3 и сделать соответствующие выводы.

5. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Неравноточные наблюдения. Классификация.
2. Каковы причины происхождения неравноточных измерений? Являются ли неравноточные измерения отрицательной характеристикой деятельности производящих такие измерения людей?
3. «Вес» наблюдения и принципы его определения. Общая арифметическая середина неравноточных измерений.
4. Порядок и методы обработки неравноточных измерений.
5. Классификация неравноточных измерений с четко оговоренным (известным) числом их.
6. Сущность обработки неравноточных измерений с известным числом и одинаковой точностью отдельных измерений.
7. Сущность обработки неравноточных измерений с известным числом, но не одинаковой точностью отдельных измерений
8. Сущность обработки неравноточных измерений, когда число их неизвестно.

9. Использование методов статистической обработки экспериментальных данных при обработке неравноточных измерений.

Лабораторная работа № 5

О СРЕДНЕМ ЗНАЧЕНИИ И О ДИСПЕРСИИ ФУНКЦИИ НЕСКОЛЬКИХ НЕЗАВИСИМЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: на конкретном примере из химической практики получить необходимый массив экспериментальных данных, позволяющих вычислить среднее значение и дисперсию функции нескольких независимых случайных величин.

ОБОРУДОВАНИЕ: в качестве объекта исследования можно взять приготовление определенного количества раствора путем смешивания соответствующим соотношением двух других растворов. Концентрация такого раствора будет следовать формуле:

$$m_1C_1 + m_2C_2 = m_{\Sigma}C_{\Sigma}$$

или

$$C_{\Sigma} = \frac{m_1C_1}{m_{\Sigma}} + \frac{m_2C_2}{m_{\Sigma}},$$

где $m_1 + m_2 = m_{\Sigma}$, m – масса раствора, C – концентрация, моль/кг.

Соответственно рабочее место для данной лабораторной работы может быть оснащено:

- средствами точного взвешивания масс в рабочем диапазоне значений;
- средствами определения концентраций исходных и конечных значений.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент. В задании должны быть указаны объект измерения, методики проведения отдельных операций и комплексов операций, число повторений и другие, необходимые для проведения эксперимента сведения.

2. Провести не менее 10 (указывает преподаватель) определений концентрации первого из предложенных растворов. Результаты занести в табл. 4.

3. Повторить п. 3 в отношении второго из предложенных растворов. Результаты занести в таблицу 4.

4. Взвесить до третьего знака после запятой указанные количества первого и второго растворов, смешать их в предназначенной для этих целей емкости, тщательно перемешать. Повести не менее 10 (указывает преподаватель) определений концентрации полученного раствора. Результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4 -Результаты выполненных измерений и их обработка

Исходные данные		Первая обработка			Вторая обработка		
№	Результат измерения	C_i , моль/кг	$\bar{C} - C_i$	$(\bar{C} - C_i)^2$	C_i , моль/кг	$\bar{C} - C_i$	$(\bar{C} - C_i)^2$
Раствор 1							
		$\sum_{i=1}^{n_1} C_i$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{C} - C_i)$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{C} - C_i)^2$	$\sum_{i=1}^{n_2} C_i$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{C} - C_i)$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{C} - C_i)^2$
Раствор 2							
		$\sum_{i=1}^{n_1} C_i$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{C} - C_i)$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{C} - C_i)^2$	$\sum_{i=1}^{n_2} C_i$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{C} - C_i)$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{C} - C_i)^2$
Раствор Σ							
		$\sum_{i=1}^{n_1} C_i$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{C} - C_i)$	$\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{C} - C_i)^2$	$\sum_{i=1}^{n_2} C_i$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{C} - C_i)$	$\sum_{i=1}^{n_2} (\bar{C} - C_i)^2$

5. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту.

6. Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. По результатам измерений рассчитать концентрации C_1 , C_2 , C_Σ . Заполнить соответствующие столбцы таблицу 4.

2. Повести статистическую обработку каждого ряда измерений в последовательности:

- определить среднее арифметическое;
- найти среднюю квадратичную ошибку отдельного измерения;
- найти наибольшую возможную ошибку Δ отдельного измерения;
- убедиться, что среди результатов измерений нет таких, которые бы отличались от среднего арифметического более чем на Δ ;
- если такие окажутся, их следует отбросить и провести вторую обработку, введя соответствующие коррективы в число измерений;
- определить среднюю квадратичную ошибку среднего арифметического (σ_x – для раствора №1, σ_y – для раствора №2, σ_z – для раствора, полученного смешиванием)
- определить значения a и b в уравнении $z = ax + by$;

- воспользовавшись формулой $\sigma_z^2 = a^2 \sigma_x^2 + b^2 \sigma_y^2$,

определить величину σ_z . Сравнить полученное значение σ_z с рассчитанным в результате статистической обработки результатов. Сделать соответствующие выводы по результатам такого сравнения.

3. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Среднее значение функции нескольких независимых случайных величин.

2. Дисперсия функции нескольких независимых случайных величин.

3. Среднее значение функций:

$$z = ax + by,$$

$$z = x + y$$

$$z = ax - by,$$

$$z = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n$$

$$z = x_1 + x_2 + \dots + x_n$$

$$z = (k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n) / n$$

4. Дисперсия функций, приведенных в вопросе 3.

5. Дисперсия функций $z = \varphi(x, y)$.

6. Использование сведений о среднем значении и о дисперсии функции нескольких случайных величин в химической практике и исследовательской работе.

Лабораторная работа № 6

СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДВУХ РЯДОВ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ВЕЛИЧИНЫ ВЕЛИЧИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ F

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: получить два ряда измерений указанной преподавателем величины (концентрации конкретного соединения при использовании разных методов анализа и т.д.) и провести их сравнение с помощью F–критерия. Доказать или опровергнуть гипотезу, что между используемыми методами анализа в части воспроизводимости устойчивости результатов различий нет.

ОБОРУДОВАНИЕ: приводится дополнительно в зависимости от природы измеряемой величины и рекомендуемых к использованию методов измерения этой величины.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методики предложенных методов анализа, необходимое оснащение рабочего места для выполнения эксперимента, а также инструкции к используемым измерительным приборам в части подготовки к работе.

2. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент. В задании должны быть указаны объект измерения и методики проведения анализов, другие необходимые для проведения эксперимента сведения.

3. Выполнить запланированные измерения сначала одним, а затем другим методом. Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5 -Результаты выполненных измерений при использовании разных методов анализа

Метод измерения 1				Метод измерения 2			
№ П/П	Объем (масса) пробы, взятой на измерение	Результат измерения	S_1	№ П/П	Объем (масса) пробы, взятой на измерение	Результат измерения	S_2

4. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту.

Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента

и оформлению отчета по лабораторной работе

Обработка результатов эксперимента

1. Обозначить результаты эксперимента C_1 через X_1 , а C_2 через X_2 . Выбрать значения постоянных A и B таким образом, чтобы A было меньше самого малого X_1 , а B меньше самого малого X_2 . Найти соответствующие разности

$$x_{1(i)} = X_{1(i)} - A \quad \text{и} \quad x_{2(i)} = X_{2(i)} - B.$$

Полученные результаты занести в таблицу 6.

Таблица 6 - Обработка результатов выполненных измерений

Метод измерения 1				Метод измерения 2					
№ п/п	$X_{1(i)}$	$x_{1(i)}$	$x_{1(i)}^2$	σ_1^2	№ п/п	$X_{2(i)}$	$x_{2(i)}$	$x_{2(i)}^2$	σ_2^2
1									
2									
...									
n_1					n_2				
		$\Sigma x_{1(i)}$	$\Sigma x_{1(i)}^2$				$\Sigma x_{2(i)}$	$\Sigma x_{2(i)}^2$	

2. Заполнить соответствующие расчетные столбцы табл.6. Расчет дисперсии провести по формуле:

$$\sigma_1^2 = \frac{\Sigma x_{1(i)}^2 - \frac{(\Sigma x_{1(i)})^2}{n_1}}{n_1 - 1} \quad \text{и} \quad \sigma_2^2 = \frac{\Sigma x_{2(i)}^2 - \frac{(\Sigma x_{2(i)})^2}{n_2}}{n_2 - 1}$$

3. Определить расчетное значение критерия Фишера:

$$F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \quad \text{при условии, что } \sigma_1^2 > \sigma_2^2 .$$

4. Выбрать уровень значимости этой функции (из имеющихся в справочных таблицах) и рассчитать число степеней свободы для каждой выборки.

5. Найти табличное значение критерия F .

6. Сравнить табличное и расчетное значения критерия F и на основе результатов такого сравнения сделать вывод о точности двух методов анализа.

7. Оформить отчет по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 7

СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДВУХ РЯДОВ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ВЕЛИЧИНЫ ВЕЛИЧИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ F С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: провести обработку рядов и доказать или опровергнуть гипотезу, предложенную в работе №6, на основании использования F–критерия с помощью программы Excel.

ОБОРУДОВАНИЕ: персональный компьютер типа IBM-PC.

Порядок выполнения работы

1. Полученные в предыдущей работе экспериментальные данные внести в компьютер и, используя программу Excel провести соответствующие расчеты, войдя в меню «Сервис» выбрать «Анализ данных», «двухвыборочный F-тест для двух дисперсий».

2. Распечатать полученные данные на принтере и вклеить в отчет по лабораторной работе, написать соответствующий вывод.

Контрольные вопросы к лабораторным работам №6, 7

1. Как проводится оценка надежности выполненных измерений?

2. Критерий F и его применение при проверке гипотез

3. Таблицы функций F и правила пользования ими.

4. Показать, что расчет дисперсии по формуле

$$\sigma^2 = \frac{\sum x_{(i)}^2 - \frac{(\sum x_{(i)})^2}{n}}{n-1}$$

не зависит от численного значения величины A в разности $x_{(i)} = X_{(i)} - A$.

5. Показать, что расчет дисперсии по формулам (а) и (в) приводит к эквивалентным результатам

$$\sigma^2 = \frac{\sum x_{(i)}^2 - \frac{(\sum x_{(i)})^2}{n}}{n-1} \quad (a) \quad \text{и} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \quad (b).$$

6. Число степеней свободы для критерия F при выполнении практических задач.

Лабораторная работа № 8

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ «СРЕДНИЕ ДВУХ ВЫБОРОК ОТНОСЯТСЯ К ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ СОВОКУПНОСТИ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ СТЬЮДЕНТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: получить две выборки экспериментальных данных указанной преподавателем величины (концентрации конкретного соединения, рН, показателя преломления и т.д.) и, используя критерий t и таблицы распределения Стьюдента, доказать или опровергнуть гипотезу, что средние арифметические двух этих выборок относятся к одной и той же совокупности.

ОБОРУДОВАНИЕ: приводится дополнительно в зависимости от природы измеряемой величины и рекомендуемых к использованию методов измерения этой величины.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методику предложенного метода, необходимое оснащение рабочего места для его выполнения, инструкции к используемому оборудованию.

2. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент. В задании должны быть указаны объект измерения, метод проведения анализа, другие необходимые для проведения эксперимента сведения.

3. Выполнить необходимый эксперимент по двум выборкам. Результаты занести в табл. 7.

Таблица 7 -Результаты выполненных измерений и их обработка

Выборка 1					Выборка 2				
№	Результат измерения	$x_{1(i)}$	$x^2_{1(i)}$	σ_1^2	№	Результат измерения	$x_{2(i)}$	$x^2_{2(i)}$	σ_2^2
1					1				
2					2				
...					...				
n_1					n_2				
		$\sum x_{1(i)}$	$\sum x^2_{1(i)}$				$\sum x_{2(i)}$	$\sum x^2_{2(i)}$	
		$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1}$					$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_i}{n_2}$		

4. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту.

Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. Заполнить расчетные столбцы таблицы 7. Расчет σ провести по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1} - \frac{(\sum x)^2}{n(n-1)}}.$$

2. Определить расчетное значение критерия Стьюдента по формуле:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}.$$

3. Рассчитать число степеней свободы k .

4. По таблице Стьюдента найти вероятность, которой соответствует рассчитанная величина критерия t при числе степеней свободы k .

5. Сделать вывод относительно того, относятся ли экспериментально полученные выборки к одной и той же совокупности или нет.

7. Оформить отчет по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 9

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ СТЬЮДЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: обработать полученные в предыдущей работе две выборки указанной величины и доказать или опровергнуть гипотезу, используя программу Excel.

ОБОРУДОВАНИЕ: персональный компьютер типа IBM-PC.

Порядок выполнения работы

1. Полученные в предыдущей работе экспериментальные данные внести в компьютер и, используя программу Excel провести соответствующие расчеты, войдя в меню «Сервис» выбрать «Анализ данных», «парный двухвыборочный t-тест для двух средних».

2. Распечатать полученные данные на принтере и вклеить в отчет по лабораторной работе, написать соответствующий вывод.

Контрольные вопросы к лабораторным работам № 8,9

1. Критерий Стьюдента и его применение на практике при проверке гипотез.
2. Какие задачи решаются с помощью распределения Стьюдента?
3. В чем сущность распределения Стьюдента и чем оно отличается от нормального распределения?
4. Таблицы Стьюдента и правила пользования ими.
5. Выражение для критерия Стьюдента при проверке различий между двумя средними.
6. Число степеней свободы при проверке гипотезы о наличии различия между двумя средними.
7. Области преимущественного использования распределения Стьюдента.

Лабораторная работа № 10

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ χ^2 КРИТЕРИЯ ПРИ ПРОВЕРКЕ ГИПОТЕЗЫ «ИСПОЛНИТЕЛИ НЕ ОТЛИЧАЮТСЯ ДРУГ ОТ ДРУГА ПО ДОПУСКАЕМЫМ ОШИБКАМ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: выполнить предложенный модельный эксперимент, полученные результаты сравнить с истинными, оценить количество ошибок, допущенных каждым исполнителем, и, используя χ^2 критерий, проверить гипотезу, указанную в заглавии.

ОБОРУДОВАНИЕ: приводится дополнительно в зависимости от природы измеряемой величины и рекомендуемых к использованию методов измерения этой величины.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методику предложенного метода, необходимое оснащение рабочего места для его выполнения, инструкции к используемому оборудованию. Вся отобранная преподавателем группа выполняет один и тот же эксперимент, но в разном, четко оговоренном объеме.
2. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное за-

дание на эксперимент. В задании должны быть указаны объект измерения, метод проведения анализа, другие необходимые для проведения эксперимента сведения.

3. Выполнить необходимый эксперимент, полученные результаты занести в таблицу 8.

Таблица 8 -Результаты эксперимента

№ п/п	Результат измерения	Фактически полученный результат	Истинный результат (по указанию преподавателя)	Допустимые отклонения при проверке гипотезы	Принятый результат

В графе «Фактически полученный результат» рассчитать концентрацию, выход продукта, степень превращения, константу скорости и другую величину в зависимости от выполняемого эксперимента. Получить подпись преподавателя под этими данными.

4. Получить у преподавателя истинное значение результата и допустимые границы для приемки.

5. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту. Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. Рассчитать отклонения полученных фактически результатов от истинного значения. Все измерения, где эти отклонения окажутся за пределами допустимых, считать непринятными. Сосчитать число принятых и неприятных результатов у каждого исполнителя и внести полученные результаты в таблицу 9.

2. Рассчитать ожидаемое число ошибок для каждого исполнителя. Для этого воспользоваться формулой:

Таблица 9 -Обработка результатов выполненных измерений

№ п/п	Фамилия, имя, отчество исполнителя	Общее число измерений	Число результатов	
			принятых	непринятых
1		n_1	N_1	O_1
2		n_2	N_2	O_2
...				
Итого		Σn_i	ΣN_i	ΣO_i

$$\frac{n_i}{\Sigma n_i} \Sigma O_i = E_i \quad \Sigma E_i = \Sigma O_i$$

3. Определить величину χ^2 критерия по формуле:

$$\chi^2 = \sum_i \left[\frac{\left(n_i - N_i - \frac{n_i}{\Sigma n_i} \cdot \Sigma O_i \right)^2}{\frac{n_i}{\Sigma n_i} \cdot \Sigma O_i} \right] + \sum_i \left[\frac{\left(N_i - \frac{n_i}{\Sigma n_i} \cdot \Sigma N_i \right)^2}{\frac{n_i}{\Sigma n_i} \cdot \Sigma N_i} \right]$$

4. Определить число степеней свободы k (на единицу меньше числа участников эксперимента) и воспользовавшись табличными значениями χ^2 , найти вероятность того, что значение χ^2 не меньше найденного расчетным путем.

5. На основании найденной вероятности сделать обоснованный вывод о приемлемости или о сомнительности выбранной гипотезы

6. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность проверки значимости с помощью χ^2 критерия?
2. В каких случаях используют χ^2 критерий?
3. Специфика χ^2 распределения и его отличие от нормального распределения.
4. Формула для определения χ^2 критерия и смысл входящих в нее составляющих.
5. Роль гипотезы при определении математического ожидания числа событий.
6. Число степеней свободы при использовании χ^2 критерия.
7. Примеры гипотез, вводимых при подсчете χ^2 критерия. Всегда ли вводимая гипотеза должна быть истинной?
8. Что значит, что суммирование при расчете χ^2 критерия производится по всем исходам опыта?
9. Таблица функций χ^2 критерия. Правила пользования таблицей на практике.
10. Какую вероятность следует считать малой, а какую - большой? Какой следует вывод, если найденная по таблице функций χ^2 вероятность мала?

11. Какой следует вывод, если найденная по таблице функций χ^2 вероятность велика? Покажите на примере нескольких гипотез.

Лабораторная работа № 11

ПОСТРОЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ПРЯМЫХ НА ОСНОВАНИИ РАСЧЕТА РЕГРЕССИОННОГО УРАВНЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: используя метод наименьших квадратов, для экспериментально полученных данных, имеющих зависимость в виде математического уравнения прямой между величиной измеряемого параметра и значением требуемой величины, т.е.

$$y=ax+b,$$

раскрыть численные значения величин a и b и построить прямую линию между полученными точками.

ОБОРУДОВАНИЕ: приводится дополнительно в зависимости от природы измеряемой величины.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методику предложенного метода, необходимое оснащение рабочего места для его выполнения, инструкции к используемому оборудованию.

2. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент. В задании должны быть указаны объект измерения, метод проведения анализа, другие необходимые для проведения эксперимента сведения.

3. Выполнить необходимый эксперимент и получить данные, имеющие зависимость в виде математического уравнения прямой между величиной измеряемого параметра и значением требуемой величины, т.е.

$$y=ax+b,$$

где a и b - неизвестные параметры этой зависимости. Полученные результаты занести в таблицу 10.

Таблица 10 -Результаты эксперимента

№ п/п						
Варьируемая переменная X						
Измеряемый показатель Y						

4. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту.

Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. На основании полученных результатов выполнить соответствующие расчеты и заполнить таблицу 11, где n – число выполненных измерений или экспериментально полученных пар X и Y .

2. Рассчитать численные значения σ_x и σ_y по формулам

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum X^2 - \bar{X}^2 \qquad \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum Y^2 - \bar{Y}^2$$

Таблица 11 -Обработка результатов эксперимента

Y	X	YX	X ²	Y ²
Y ₁	X ₁			
...	...			
...	...			
$\sum Y_i$	$\sum X_i$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum Y_i^2$
$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	$\frac{1}{n} \sum X_i Y_i$		

3. Рассчитать коэффициент корреляции r

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum X_i Y_i - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sigma_x \sigma_y} .$$

4. Найти конкретный вид регрессионного уравнения

$$Y - \bar{Y} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (X - \bar{X})$$

5. На основании зависимости между несколькими парами значений y и x (не меньше десяти) составить соответствующее число уравнений для определения наивероятнейших значений параметров a и b в уравнении

$$y = ax + b.$$

6. Построить полученную прямую. Оформить отчет по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 12

УСТАНОВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНАМИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИМИ ДАННЫЙ ПРОЦЕСС ПУТЕМ ПОДБОРА ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: для экспериментально полученных данных установить количественную зависимость между значениями x и y , характеризующими данный процесс, т.е. получить функциональную зависимость

$$y = f(x).$$

На практике в большинстве случаев можно ограничиться следующими типами функциональных зависимостей, представленных в таблице 12.

Таблица 12 - Функциональные зависимости и необходимые условия наличия эмпирических зависимостей

№	Вид эмпирической формулы	$\overline{x_s}$	$\overline{y_s}$
1	$y = ax + b$	$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$
2	$y = a \cdot x^b$	$\sqrt{x_1 x_n}$	$\sqrt{y_1 y_n}$
3	$y = a \cdot e^{xb}$	$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\sqrt{y_1 y_n}$
4	$y = \frac{1}{ax + b}$	$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\frac{2y_1 \cdot y_n}{y_1 + y_n}$
5	$y = \frac{x}{ax + b}$	$\frac{2x_1 \cdot x_n}{x_1 + x_n}$	$\frac{2y_1 \cdot y_n}{y_1 + y_n}$
6	$y = a \ln x + b$	$\sqrt{x_1 x_n}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$
7	$y = a + \frac{b}{x}$	$\frac{2x_1 \cdot x_n}{x_1 + x_n}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$

ОБОРУДОВАНИЕ: приводится дополнительно в зависимости от природы измеряемой величины.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методику предложенного метода, необходимое оснащение рабочего места для его выполнения, инструкции к используемому оборудованию.

2. Получить у преподавателя допуск к работе и подробное задание на эксперимент. В задании должны быть указаны объект измерения, метод проведения анализа, другие необходимые для проведения эксперимента сведения.

3. Выполнить необходимый эксперимент, фиксируя получаемые значения величины y при варьируемых значениях величины x . Все полученные значения (не меньше 8-10) занести в таблицу 13.

Таблица 13 -Результаты эксперимента

№ п/п						
Варьируемая переменная x_i						
Измеряемый показатель y_i						

4. Привести рабочее место в порядок и сдать его лаборанту. Приступить к обработке результатов выполненного эксперимента и оформлению отчета по лабораторной работе.

Обработка результатов эксперимента

1. Для установления количественной зависимости между переменными, т.е. проверки определенной эмпирической формулы между значениями x_i и y_i , находят соответствующие значения \bar{x}_s и \bar{y}_s для всех типов эмпирических формул (см. таблицу. 12) для соответствующих значений x_1 и x_n , а также y_1 и y_n . Полученные результаты заносят в таблицу 14.

2. Определяют значение \bar{y}_s' , соответствующее значению \bar{x}_s по данным таблицы 13, путем сравнения величины \bar{x}_s с определенными экспериментально данными.

Если значение \bar{x}_s не находится среди исходных данных, то величину \bar{y}_s' определяют путем линейной интерполяции

$$\bar{y}_s' = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \cdot (\bar{x}_s - x_i)$$

где \bar{x}_i и x_{i+1} - промежуточные значения, между которыми содержится \bar{x}_s , т.е. $x_i < \bar{x}_s < x_{i+1}$. Следует иметь в виду, что эти условия яв-

ляются необходимыми, т.к. не учитывается поведение всех эмпирических данных (x_i, y_i) и в табл. 12 представлено всего 7 типов эмпирических зависимостей и может случиться, что величины x_i и y_i связаны зависимостью, не представленной в таблице 12.

Таблица 14 -Выбор типа эмпирической формулы

№	$\overline{x_s}$	$\overline{y_s}$	$\overline{y_s}'$	$ \overline{y_s} - \overline{y_s}' $	Вывод
1	$\frac{x_1+x_n}{2}$	$\frac{y_1+y_n}{2}$			
2	$\sqrt{x_1 x_n}$	$\sqrt{y_1 y_n}$			
3	$\frac{x_1+x_n}{2}$	$\sqrt{y_1 y_n}$			
4	$\frac{x_1+x_n}{2}$	$\frac{2y_1 \cdot y_n}{y_1+y_n}$			
5	$\frac{2x_1 \cdot x_n}{x_1+x_n}$	$\frac{2y_1 \cdot y_n}{y_1+y_n}$			
6	$\sqrt{x_1 x_n}$	$\frac{y_1+y_n}{2}$			
7	$\frac{2x_1 \cdot x_n}{x_1+x_n}$	$\frac{y_1+y_n}{2}$			

Полученные значения $\overline{y_s}'$ вносят в таблицу 14.

3. На основании расчета разности $|\overline{y_s} - \overline{y_s}'|$ определяем предпочтительную эмпирическую формулу, т.е. ту, для которой это расхождение мало. В графу «вывод» таблицы 14 вносится информация о том, подходит, мало подходит или не подходит данный тип эмпирической формулы для полученных значений.

Контрольные вопросы к лабораторным работам 11, 12

1. Способ наименьших квадратов в обработке экспериментальных данных. Сущность метода и области его использования.
2. В чем сущность и техника операций приведения нелинейных уравнений к случаю линейных?
3. Система нормальных уравнений и ее получение.
4. Техника операций приведения условных уравнений к нормальным.
5. Средняя квадратичная ошибка неизвестного переменного, найденного по методу наименьших квадратов.

6. Доверительные границы найденных способом наименьших квадратов значений и их определение.

7. Проведение прямой через заданные точки в рамках метода наименьших квадратов.

8. Эмпирические формулы. Принцип подбора типа эмпирической формулы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химических процессов. - М.: Химия, 1982. - 288 с.

2. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. -М.: Химия, 1968. - 824 с.

3. Лебедев Н.Н., Манаков М.Н., Швец В.Ф. Теория химических процессов основного органического и нефтехимического синтеза. -М.: Химия, 1984. - 376 с.

4. Аналитическая химия. Проблемы и подходы. В двух томах./под ред. Ю.А.Золотова. Т.2.-М.: Мир, «АСТ», 2004. – 728 с.

5. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. -М.: Мир, 1972. - 381 с.