

**ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИРОДНЫХ
ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И УГЛЕРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 18.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра химических технологий и переработки энергоносителей

**ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИРОДНЫХ
ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И УГЛЕРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 18.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 66.011, 66.012 (073)

ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Э.Ю. Георгиева, М.Ю. Назаренко*. СПб, 2021. 51 с.

Приведены теоретический материал и примеры решения задач по основным разделам дисциплины, задачи для работы студентов на практических занятиях и самостоятельные работы

Предназначены для студентов бакалавриата направления 18.03.01 «Химическая технология» по профилю «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов».

Научный редактор проф. *Н.К Кондрашева*

Рецензент проф. *Б.А. Дмитриевский* (НПО «Минерал»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях наука становится ведущей силой прогресса материального производства. Оказывая стимулирующее воздействие на общественное производство, наука пронизывает все сферы общественной жизни. Необходимость научного подхода в материальном производстве, экономике и других сферах заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую отрасль деятельности. Возросшие темпы научно-технических достижений, бурное развитие наукоемких производств и услуг дали новый импульс ускоренному производству в разных странах.

С увеличением объема научной и научно-технической информации, быстрой сменяемостью и обновлением знаний особое значение приобретает подготовка специалистов к самостоятельной научно – исследовательской деятельности.

Основными задачами исследовательской деятельности является формирование цели и задач, планирование и проведение экспериментов, обработка экспериментальных результатов и оформление отчетов научной деятельности. Знание методов научного исследования, владение основными понятиями организации научных исследований, такими как «эксперимент», «лабораторное исследование», «пробный опыт» и другими, позволяет избежать недопонимания или неверного толкования того или иного аспекта в исследовательской деятельности.

В процессе изучения дисциплины «Организация научных исследований в химической технологии природных энергоносителей и углеродных материалов» затрагивается ряд вопросов, который позволяет учащемуся сформировать представление о научной деятельности и помочь с решением проблем, связанных с организацией, подготовкой и проведением научных исследований. В данных методических указаниях рассматриваются такие аспекты научной деятельности, как организация научных исследований, подготовка к проведению эксперимента, математическая обработка полученных экспериментальных данных, установление корреляционной и функциональной зависимости, написание отзыва на монографию, автореферат, статью или научное исследование. Представлены разнообразные практические задания призванные закрепить полученные студентом знания.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1. Классификация и типы эксперимента

В научных работах используются два типа методов исследования: теоретические и экспериментальные.

Теоретические исследования – исследования, целью которых является изучение физической сущности объекта, предмета познания. В результате этого разрабатываются и обосновываются физические и математические модели процесса, анализируются полученные предварительные результаты исследования об объекте, процессе, явлении.

Экспериментальные исследования – это исследования для организации которых разрабатываются задачи, выбираются методики и программа эксперимента, по которым они будут выполняться.

Эксперимент – метод исследования, в основе которого лежит целенаправленное воздействие на объект в заданных контролируемых условиях, опосредованное рациональным (в идеале теоретическим) знанием. Эксперимент может быть активным и пассивным. **Пассивный эксперимент** проводят в условиях, когда исследователь не может контролировать параметры процесса. По сути, пассивный эксперимент является наблюдением. Основной, дающий наиболее полную и достоверную информацию вид эксперимента – **активный**, проводится в контролируемых и управляемых условиях.

Основной целью эксперимента является выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез. Проведение эксперимента в большинстве случаев связано с материальными затратами, отсюда встает задача получения максимума информации об объекте исследования при минимуме материальных затрат. Постановка и организация эксперимента определяются его назначением. Насчитывается более 10 признаков классификации эксперимента, которые определяют виды эксперимента. Например:

- по способу формирования условий эксперимента: естественные и искусственные;
- по целям исследования эксперимента: преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие и др.;
- по организации проведения эксперимента: лабораторные, натурные, полевые, производственные;
- по структуре изучаемых объектов и явлений: простые и сложные эксперименты;
- по типу моделей исследуемых в эксперименте: материальный и мысленный эксперименты;
- по характеру изучаемых объектов и явлений: технологические, биологические, социальные эксперименты;
- и другие признаки и эксперименты.

Из указанных признаков следует рассмотреть признак классификации по организации эксперимента.

Лабораторный эксперимент – самый распространенный в научных исследованиях. Он проводится в лабораторных условиях с применением специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т.п. Лабораторный эксперимент позволяет доброкачественно, с требуемой повторностью изучить изменение одних характеристик при варьировании других (факторов), при этом получить хорошую информацию с минимальными затратами времени и ресурсов.

Лабораторный эксперимент не всегда полностью моделирует реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении «натурного» эксперимента, который проводится в естественных условиях и на реальном объекте, т.е. в производственных условиях.

Производственный эксперимент – эксперимент, преимущество которого заключается в том, что он помогает изучить процесс или объект в реальных условиях с учетом воздействия случайных различных факторов производственной среды.

2. Планирование эксперимента

В постановке эксперимента особое значение имеет разработка методики его проведения.

Под **методикой эксперимента** понимается совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности для достижения цели исследования.

Для проведения эксперимента составляется план (программа), который включает следующие позиции: цель и задачи эксперимента; объект исследований; варьирующие факторы и шаг их изменения; объем эксперимента и число опытов; методы испытаний (анализа) оценочных показателей; распределение работы между исполнителями; сроки выполнения и предоставления результатов; методы обработки экспериментальных данных; форма предоставления отчета и др.

Для проведения основного эксперимента исполнителю целесообразно провести пробные опыты, чтобы:

- ознакомиться и освоить методику эксперимента и методы определения исследуемых показателей;
- определиться по длительности и времени опытов;
- проверить работу отдельных элементов установки и аппаратуры;
- оценить возможность появления ошибок при определении исследуемых показателей на приборе и др.

При выборе методов исследования необходимо заботиться не только о точности и надежности данных измерений, но также о простоте и доступности выполнения отдельных анализов и экспериментальной работы в целом.

Выбранные методы должны соответствовать современному уровню науки и задачам, которые ставятся в данном исследовании. Методы, выбранные для эксперимента, должны быть апробированы и освоены исследователем до начала его проведения.

После определения содержания и объема эксперимента проводится подготовка к его проведению: подбор необходимой химической посуды, аппаратуры, техники, реактивов.

3. Подготовка к проведению эксперимента

Результаты эксперимента в большей мере зависят от умения исследователя (исполнителя) качественно подготовиться к эксперименту, т.е. подобрать методики анализа, приборы, реактивы для их проведения, также подготовить химическую посуду и растворы.

Раствором называется многокомпонентная гомогенная система переменного состава. Растворы могут быть газовыми, жидкими и твердыми. Обычно термин "раствор", не содержащий уточнений, относится к жидкой гомогенной системе. Раствор состоит из растворителя и растворенного вещества. Растворителем обычно называют тот компонент раствора, содержание которого больше.

Как известно, в исследованиях используют растворы различных концентраций, основными из которых являются:

- процентная или массовая доля растворенного вещества;
- молярная концентрация;
- нормальная (или эквивалентная);
- титр раствора и др.

Процентная концентрация (C) или массовая доля растворенного вещества показывает, сколько весовых частей растворенного вещества содержится в 100 весовых частях раствора, единица измерения - %. Рассчитывается по следующему уравнению:

$$C = \frac{m}{g} \cdot 100 \quad (1)$$

где C – процентная концентрация (массовая доля растворенного вещества), %; m – масса растворенного вещества, г; g – масса раствора, г.

Молярная концентрация (C_M) - показывает число молей растворенного вещества в 1 л раствора, единица измерения – моль/л. Рассчитывается по следующему уравнению:

$$C_M = \frac{m \cdot 1000}{M \cdot V} \quad (2)$$

где C_M – молярная концентрация, моль/л; m – масса растворенного вещества, г; M – молярная масса растворенного вещества, г/моль; V – объем раствора, л.

Эквивалентная или нормальная концентрация (C_H) показывает число эквивалентных масс растворенного вещества в 1 л раствора, единица измерения – моль/л. Рассчитывается по следующему уравнению:

$$C_H = \frac{m \cdot 1000}{\Theta \cdot V} \quad (3)$$

где C_H – нормальная (эквивалентная) концентрация, моль/л; m – масса растворенного вещества, г; Θ – эквивалентная масса растворенного вещества, г/моль; V – объем раствора, л.

Титр раствора (T) показывает число граммов растворенного вещества в 1 мл раствора, единица измерения – г/мл.

Важной характеристикой раствора является его **плотность (d)**, единицы измерения – г/мл, кг/м³. Рассчитывается по следующему уравнению:

$$d = \frac{m}{V} \quad (4)$$

где d – плотность раствора, г/мл, кг/м³; m – масса раствора, г; V – объем раствора, л.

В *таблице 1* приведены справочные данные соотношения между плотностями некоторых лабораторных растворов и их концентрациями (массовыми долями).

Таблица 1

Соотношение между плотностями некоторых растворов и массовыми долями

Вещество	Плотность раствора (г/л) при массовой доле				
	6 %	8 %	10 %	12 %	15 %
1	2	3	4	5	6
AgNO ₃	1051	1069	1088	1108	1139

Окончание табл. 1

AlCl ₃	1053	1071	1090	1109	1139
Al ₂ (SO ₄) ₃	1061	1083	1105	1129	1164
BaCl ₂	1051	1071	1091	1111	1144
CH ₃ COOH	1007	1010	1013	1015	1020
CaCl ₂	1049	1066	1084	1102	1129
CrCl ₃	1054	1072	1092	1111	1161
Cr ₂ (SO ₄) ₃	1061	1082	1103	1126	1161
CuCl ₂	1056	1076	1096	1116	1149
CuSO ₄	1062	1084	1107	1131	1168
FeCl ₃	1049	1067	1085	1104	1133
FeSO ₄	1058	1079	1100	1122	-
H ₂ C ₂ O ₄	1028	1038	-	-	-
H ₂ O ₂	1021	1028	1035	1043	1054
H ₃ PO ₄	1031	1042	1053	1065	1083
K ₂ CO ₃	1053	1072	1090	1110	1139
KCl	1037	1050	1063	1077	1098
K ₂ CrO ₄	1048	1065	1082	1100	1127
K ₂ Cr ₂ O ₇	1041	1055	1070	-	-
KCr(SO ₄) ₂	1057	1077	-	-	-
KHCO ₃	1040	1053	1067	-	-
KI	1044	1060	1076	1093	1120
KMnO ₄	1042	-	-	-	-
KNO ₃	1036	1049	1063	1076	-
K ₂ SO ₄	1049	1067	1085	1192	1097
MgCl ₂	1049	1065	1084	1102	1129
MgSO ₄	1060	1082	1103	1126	1160
NH ₄ Cl	1017	1023	1029	1034	1043
NH ₄ NCS	1012	1017	1022	1026	1033

В таблице 2 приведены справочные данные соотношения между плотностями водных растворов HCl, HNO₃, H₂SO₄, KOH и NaOH и их массовой долей и молярной концентрацией.

Таблица 2

**Соотношения между плотностями водных растворов HCl, HNO₃, H₂SO₄, KOH
и NaOH и их массовой долей и молярной концентрацией**

<i>d</i> , г/л	<i>C</i> , %	<i>C_M</i> , моль/л	<i>d</i> , г/л	<i>C</i> , %	<i>C_M</i> , моль/л
HCl			H ₂ SO ₄		
1020	4,39	1,23	100	0,26	0,03
1025	5,41	1,52	1005	0,99	0,10
1030	6,43	1,82	1010	1,73	0,18
1035	7,46	2,12	1015	2,49	0,26
1040	8,49	2,42	1020	3,24	0,34
1045	9,51	2,73	1025	4,00	0,42
1050	10,52	3,03	1030	4,75	0,50
1075	15,49	4,57	1035	5,49	0,58
110	20,39	6,15	1040	6,24	0,66
1125	25,22	7,78	1045	7,00	0,74
1150	30,14	9,51	1050	7,70	0,83
1160	32,14	10,23	1055	8,42	0,91
1170	34,18	10,97	1060	9,13	0,99
1180	36,23	11,73	1065	9,84	1,07
1190	38,32	12,50	1070	10,56	1,15
HNO ₃			1500	60,17	9,20
1000	0,33	0,05	1815	90,12	16,68
1005	1,26	0,20	1824	92,00	17,11
1010	2,16	0,35	1831	93,94	17,54
1015	3,07	0,50	1834	95,12	17,79
1020	3,98	0,65	1835	95,72	17,91
1035	6,66	1,09	KOH		
1045	8,40	1,39	1000	0,20	0,04
1050	9,26	1,54	1005	0,74	0,13
1055	10,12	1,69	1010	1,30	0,23
1085	15,13	2,61	1015	1,84	0,33
1115	20,00	3,54	1020	2,38	0,43
1150	25,48	4,65	1025	2,93	0,54
1180	30,00	5,62	1025	2,93	0,54
1280	45,27	9,20	1030	3,48	0,64
1365	59,69	12,93	1035	4,03	0,75
1380	62,70	13,73	1040	4,58	0,85
1385	63,72	14,01	1045	5,12	0,95
1390	64,74	14,29	1050	5,66	1,06

Окончание табл. 2

1395	65,84	14,57	1055	6,20	1,17
NaOH			1060	6,74	1,27
1000	0,16	0,04	1070	7,82	1,49
1010	1,04	0,26	1080	8,89	1,71
1020	1,94	0,49	1090	9,96	1,94
1030	2,84	0,73	1290	30,21	6,95
1040	3,74	0,97	1395	39,92	9,93
1050	4,65	1,22	1510	49,95	13,45
1060	5,56	1,41	1535	52,05	14,24
1070	6,47	1,73	NaOH		
1080	7,38	1,98	1430	40,00	14,30
1090	8,28	2,26	1500	47,33	17,75
1100	9,19	2,53	1510	48,38	18,26
1110	10,10	2,80	1520	49,44	18,78
1165	15,09	4,40			

При химических расчетах часто приходится переходить от одного способа выражения концентрации к другому. Рассмотрим принцип пересчета концентраций на примерах.

Пример 1. Пересчитать 20 %-ный раствор серной кислоты плотностью 1,145 г/мл на молярную и нормальную концентрации. Определить титр этого раствора.

Решение. Находим содержание серной кислоты в 1 л раствора:

$$m = \frac{C \cdot 1000 \cdot d}{100} = 229 \text{ г}$$

Определим нормальность раствора:

$$C_N = \frac{m \cdot 1000}{\Xi \cdot V} = \frac{229}{49} = 4,62 \text{ моль/л}$$

Рассчитываем молярность раствора:

$$C_M = \frac{m}{M} = \frac{229}{98} = 2,31 \text{ моль/л}$$

Находим титр:

$$T = \frac{m}{1000} = 0,229 \text{ г/мл}$$

Ответ: $C_H = 4,62$ моль/л; $C_M = 2,31$ моль/л; $T = 0,229$ г/мл.

Пример 2. Рассчитать процентную концентрацию 2 н раствора NaOH плотностью 1,08 г/мл.

Решение. Определяем массу растворенного вещества в 1 л раствора:

$$m = C_H \cdot V = 2 \cdot 40 = 80 \text{ г}$$

Находим процентную концентрацию раствора:

$$C = \frac{m}{d \cdot 1000} \cdot 100 = \frac{80}{1,08 \cdot 10} = 7,4\%$$

Ответ: $C = 7,4\%$.

4. Контрольные вопросы

1. Какие типы метод исследования используются в научных работах?
2. Дайте характеристику теоретическому и экспериментальному исследованию.
3. В чем отличие пассивного эксперимента от активного?
4. Назовите признаки классификации эксперимента.
5. В чем заключается основная цель эксперимента?
6. Дайте определение методики эксперимента.
7. С какой целью проводят пробные опыты?
8. В чем заключается преимущество производственного эксперимента?

9. Что называется раствором? Растворителем?
10. Назовите формулы для расчета молярной концентрации и нормальности раствора.

5. Задачи для самостоятельного решения

1. Плотность 10 %-ного раствора NaCl 1,071 г/мл. Сколько грамм NaCl необходимо для приготовления 1 л 10 %-ного раствора? Сколько грамм NaCl требуется для приготовления 1 кг 10 %-ного раствора NaCl?

2. Вычислите титр, нормальность и молярность растворов серной кислоты следующих концентраций: а) 34 % (плотность 1,252 г/мл); б) 70 % (плотность 1,611 г/мл); в) 96 % (плотность 1,831 г/мл).

3. На титрование 10 мл 0,122 н раствора каустика пошло 12,2 мл раствора соляной кислоты. Определите нормальную концентрацию кислоты.

4. Какой объем 3,0 н раствора серной кислоты требуется для нейтрализации 8,415 г КОН.

5. Рассчитать количество NaCl для приготовления 500 см³ 0,5 н раствора (грамм/эквивалент NaCl равен молекулярному весу – 58,44).

6. Рассчитать объем исходной концентрированной серной кислоты плотностью 1,84 г/см³, что соответствует содержанию в ней 95,75 мас. % H₂SO₄ (таблица 2) для приготовления 500 мл 0,1 н раствора H₂SO₄.

7. Рассчитать необходимое количество навески HCl (исходная плотность раствора 1125 для г/л) для приготовления а) 0,5 л 8 % раствора; б) 0,25 л раствора нормальностью 0,2 н; в) 0,1 л раствора концентрацией 0,5 М.

8. Рассчитать необходимое количество CuSO₄·6H₂O для приготовления а) 0,3 л 10 % раствора; б) 0,5 л раствора нормальностью 1,0 н; в) 0,25 л раствора концентрацией 0,2 М.

9. Рассчитать необходимое количество KMnO₄·7H₂O для приготовления а) 0,2 л 6 % раствора; б) 0,5 л раствора нормальностью 0,2 н; в) 0,25 л раствора концентрацией 0,5 М.

10. Рассчитать необходимое количество NaOH (исходная плотность раствора 1100 для г/л) для приготовления а) 0,5 л 5 %

раствора; б) 0,1 л раствора нормальностью 0,2 н; в) 0,5 л раствора концентрацией 0,1 М.

11. Какова молярная и нормальная концентрация 12 %-ного раствора серной кислоты, плотность которого $1,08 \text{ г/см}^3$?

12. Чему равна молярная концентрация эквивалента 30 %-ного раствора NaOH плотностью $1,328 \text{ г/см}^3$? К 1 л этого раствора прибавили 5 л воды. Вычислите массовую (процентную) долю полученного раствора.

13. В воде объемом 480 мл растворили 20 г Na_2CO_3 . Вычислите процентную, молярную, нормальную концентрации и титр полученного раствора. Плотность раствора $1,02 \text{ г/см}^3$.

14. Вычислите эквивалентную и молярную концентрации 20,8 %-ного раствора HNO_3 плотностью $1,12 \text{ г/см}^3$. Сколько граммов кислоты содержится в 4 л этого раствора?

15. В 150 г воды растворено 30 г кристаллогидрата $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Вычислите массовую долю кристаллогидрата и безводного сульфата железа (II) в растворе.

16. При упаривании раствора хлорида натрия массой 500 г с массовой долей соли 1 % получен новый раствор массой 150 г. Вычислите массовую долю и молярную долю соли в новом растворе.

17. Сколько воды надо добавить к раствору массой 3 кг и с массовой долей соли 20 % для получения раствора с массовой долей 15 %?

18. При упаривании раствора хлорида натрия массой 500 г с массовой долей соли 1 % получен новый раствор массой 150 г. Рассчитать массовую долю и молярную долю соли в новом растворе.

19. Смешали 1 л воды с 250 см^3 раствора азотной кислоты (массовая доля 50 %, плотность $1,3 \text{ г/см}^3$). Какова массовая доля кислоты (%) в полученном таким образом растворе?

20. Рассчитать необходимое количество $\text{NaCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ для приготовления а) 1,0 л 8 % раствора; б) 0,25 л раствора нормальностью 0,1 н; в) 0,1 л раствора концентрацией 0,5 М.

21. Рассчитать необходимое количество H_3PO_4 (исходной концентрацией 1083 г/л) для приготовления а) 0,2 л 6 % раствора; б) 0,5 л раствора нормальностью 0,2 н; в) 0,5 л раствора концентрацией 0,1 М.

22. Какую навеску твердого гидроксида натрия необходимо взять для приготовления 50 см^3 раствора с концентрацией $0,15 \text{ моль/л}$?

23. Чему равна молярная концентрация раствора, содержащего $4,0 \text{ г}$ гидроксида натрия в 2 л раствора?

24. Какова молярность раствора карбоната натрия (Na_2CO_3) с массовой долей карбоната натрия (Na_2CO_3) $10,0 \%$ (плотность раствора $1,105 \text{ г/мл}$).

25. Определите молярность и нормальность раствора хлорида алюминия (AlCl_3), содержащего в 1 литре $13,35 \text{ грамм}$ хлорида алюминия (AlCl_3).

26. Какой объем 96% -процентного раствора серной кислоты (H_2SO_4) плотностью $1,84 \text{ г/мл}$ потребуется для приготовления 3 литров раствора с концентрацией 2 моль/л ?

27. Сколько грамм нитрата натрия (NaNO_3) находится в 400 миллилитрах 1 М раствора нитрата натрия (NaNO_3).

28. Рассчитать необходимое количество $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ для приготовления а) $0,2 \text{ л}$ 15% раствора; б) $0,2 \text{ л}$ раствора нормальностью $0,1 \text{ н}$; в) $0,2 \text{ л}$ раствора концентрацией $0,2 \text{ М}$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1. Понятие погрешности измерений

Грамотная обработка экспериментальных данных нередко дает возможность подтвердить реально существующие закономерности, зафиксированные в ходе эксперимента.

Обработка экспериментальных данных необходима:

- для оценки истинного значения измеряемой величины показателя;
- для оценки точности измерения величины показателя;
- для оценки сопоставления точности двух методов анализа или способов производства;
- для установления корреляционной и функциональной

зависимостей.

Обработка экспериментальных данных проводится с помощью методов математической статистики. Результаты экспериментальных данных, как известно, получаются в следствие проведения измерения величин показателей. Процесс измерения всегда представляет собой сравнение измеряемой величины с эталоном. **Эталоном** является некоторая другая величина (такой же размерности), принимаемая за единицу измерения. Сравнение редко осуществляется непосредственным наложением эталона на исследуемый объект, чаще используется какой-либо прибор.

Измерение физической величины не может быть выполнено абсолютно точно. Любое измерение дает приближенный результат, иначе говоря, содержит погрешность измерения.

Погрешностью измерения называется разность между истинным значением измеряемой величины X и результатом измерения x_i .

$$\Delta x = X - x_i \quad (5)$$

где Δx - погрешность измерения; X – истинное значение измеряемой величины; x_i – результат измерения.

Абсолютная точность – понятие идеальное, а в реальных технических изделиях на их функционирование влияет слишком большое число всевозможных факторов, и интерес, как правило, представляет не точное значение, а диапазон изменения значения измеряемой величины.

Таким образом, технические науки довольствуются приближенными результатами измерения. Но при этом *необходимо знать величину погрешности результата измерения*. Выражение (5) нельзя использовать для расчета погрешности, т. к. сама измеряемая величина X нам неизвестна. Погрешность результата зависит от используемого измерительного прибора и условий проведения измерений.

Прежде чем приступить к изложению конкретных методик, следует разделить всевозможные измерения на прямые и косвенные. При **прямых измерениях** определяемая величина сравнивается с

единицей измерения непосредственно с помощью измерительного прибора, который имеет шкалу, проградуированную в соответствующих единицах измерения. Значение физической величины считывается по шкале прибора. **Косвенное измерение** – измерение, при котором искомое значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Погрешности прямых измерений целесообразно разделить на систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности вызываются факторами, действующими либо одинаковым образом при повторных измерениях, либо изменяющимися по определенному закону.

Систематические погрешности возникают из-за неправильного выбора метода измерения, неправильной установки прибора и т. п. Систематическими являются ошибки при округлении математических и физических констант (например, таких, как число π , гравитационная постоянная, элементарный заряд и т. п.). Как правило, источники систематических погрешностей тщательно анализируются, выявляются причины этих ошибок, затем, по возможности, они устраняются.

В других случаях систематические погрешности учитываются в виде поправок. Например, при измерении длины может быть рассчитана поправка на удлинение, вызванное изменением температуры. Можно вычислить поправку на выталкивающую силу воздуха при определении массы тела взвешиванием и т. п.

Отличительная черта систематических погрешностей – возможность их предварительного расчета или полного устранения совершенствованием экспериментальной методики.

Проведем измерения какой-либо физической величины X несколько раз. Как уже указывалось ранее, мы получим, вообще говоря, несовпадающие результаты: $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$, где n – **число измерений**. Различие между числами x_i может быть достаточно заметным, хотя измерения проводятся в одинаковых условиях, теми же средствами измерения, тем же самым методом и одним и тем же исследователем.

Из-за неизвестного характера погрешности измеряемая искомая величина остается, вообще говоря, неизвестной. Расчет **случайных погрешностей** основан на теории вероятностей и математической статистике. При этом отклонения при измерениях, вызванные неизвестными или трудно учитываемыми факторами, считают **случайной величиной**. Результат измерения при таком допущении так же будет являться случайной величиной.

2. Расчет статических величин

Прежде всего в математической статистике доказывается, что при отсутствии систематических погрешностей (или после их устранения) наилучшим приближением измеряемой величины X является так называемое **среднее статистическое** результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

где \bar{x} – среднее статистическое; n – число измерений; x_i – результат измерения.

При любом конечном числе измерений n невозможно гарантировать, что вычисленное по формуле (6) значение \bar{x} в точности равно искомой величине X . Дело в том, что, хотя в каждой конкретной серии измерений мы получаем n определенных чисел x_i ($i = 1, \dots, n$), сами результаты измерений по своему смыслу являются случайными. В этом мы можем убедиться, повторив серию из n измерений. Мы получим уже другие числа x_i ($i = 1, \dots, n$). Среднее статистическое \bar{x} , вычисляемое по формуле (6), зависит от всех x_i . В этой ситуации и среднее статистическое \bar{x} также является *случайной величиной*. Одна из важных теорем математической статистики утверждает, что *при неограниченном увеличении числа измерений n среднее статистическое \bar{x} неограниченно приближается к искомой величине X .*

Дисперсией измеряемой величины X называется среднее значение квадратов отклонений отдельных его значений от среднего статистического; дисперсия определяется по формуле:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1} \quad (7)$$

где σ_i^2 – дисперсия; \bar{x} – среднее статистическое; n – число измерений; x_i – результат измерения.

Данная величина характеризует разброс отдельных результатов измерений вокруг истинного значения. Неудобство использования этой величиной заключается в том, что она имеет размерность квадрата измеряемой величины и, следовательно, не может быть напрямую сопоставлена с ней.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) корень квадратный из дисперсии.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2} \quad (8)$$

где σ_i – среднее квадратическое отклонение; σ_i^2 – дисперсия.

Дисперсия и среднее квадратичное отклонение измеряемой величины, как правило, определяются точностью используемых приборов, соблюдением условий проведения эксперимента, опытом экспериментатора.

Как было указано выше, среднее статистическое измеряемой величины так же по своей природе является случайной величиной и, следовательно, ее разброс так же может характеризоваться дисперсией и средним квадратическим отклонением.

Математическая статистика доказывает, что **среднее квадратическое отклонение значения среднего арифметического составляет:**

$$\sigma_x^- = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (9)$$

где σ_x^- – среднее квадратическое отклонение значения среднего арифметического; \bar{x} – среднее статистическое; n – число измерений; x_i – результат измерения.

Эту величину иногда называют **среднеквадратичным отклонением среднего значения**.

Сопоставив значения среднее квадратическое отклонение для отдельного измерения и среднего статистического, получим

$$\sigma_x^- = \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

где σ_x^- – среднее квадратическое отклонение значения среднего арифметического; σ_i – среднее квадратическое отклонение; n – число измерений.

Указанная зависимость является математическим выражением **закона увеличения точности с ростом количества измерений**.

σ_x^- – является **средней мерой отклонения** среднего статистического \bar{x} от истинного значения X . Однако запись результата измерений в виде $X = \bar{x} \pm \sigma_x^-$ будет некорректной. Дело в том, что повторяя серии из n измерений и вычисляя каждый раз новые значения среднего статистического \bar{x} , мы будем получать числа, как попадающие внутрь интервала $\bar{x} - \sigma_x^-$; $\bar{x} + \sigma_x^-$, так и лежащие вне его. Более подробное исследование показывает, что выпадают из указанного интервала *около трети* полученных значений среднего статистического в проведенных сериях

измерений. Это естественно, так как величина σ_x является оценкой *средней*, а не *максимальной* погрешности.

Величину σ_x часто называют среднеквадратичной погрешностью приближенного равенства $X \approx \bar{x}$.

Вообще говоря, теория допускает неограниченно большую величину максимальной погрешности. В то же время следует принять во внимание, что очень большие погрешности практически невероятны, т.е. не встречаются в измерениях.

Согласно математической статистике, для корректного представления результата измерений следует изначально задаться его **надежностью** или, иначе говоря, **доверительной вероятностью α** .

Величина доверительной вероятности α берется такой, чтобы дополнительная вероятность $(1-\alpha)$ была столь мала, что такое событие практически не происходило бы при однократном испытании. На практике величина доверительной вероятности выбирается близкой к единице, например: 0,9; 0,95; 0,99.

Случайные погрешности принято представлять в виде доверительного интервала, длина которого определяется величиной доверительной вероятности. В качестве центра доверительного интервала для измеряемой величины X берется ее среднее статистическое \bar{x} . Границы этого доверительного интервала выражаются произведением среднеквадратичного отклонения и безразмерного коэффициента Стьюдента $t_{\alpha,n}$.

Величина коэффициента Стьюдента зависит от ранее выбранной доверительной вероятности α и целочисленного параметра n , называемого **числом степеней свободы**. При построении доверительного интервала для измеряемой величины X число степеней свободы берется на единицу меньше количества измерений n , проведенных в одинаковых условиях. Численные значения коэффициентов Стьюдента для нескольких различных доверительных вероятностей можно найти в таблице 3.

Таблица 3

Таблица t – распределения (t – случайная величина, распределенная по закону Стьюдента с числом степеней свободы n)

n / α	0,99	0,95	0,90	0,80	0,50	0,20
1	63,657	12,706	6,314	3,078	0,727	0,325
2	9,935	4,303	2,920	1,886	0,617	0,289
3	5,841	3,182	2,353	1,638	0,584	0,277
4	4,604	2,776	2,132	1,533	0,569	0,271
5	4,032	2,571	2,015	1,476	0,559	0,670
6	3,707	2,447	1,943	1,440	0,553	0,265
7	3,499	2,365	1,896	1,415	0,549	0,263
8	3,355	2,306	1,860	1,397	0,546	0,262
9	3,250	2,262	1,833	1,383	0,543	0,261
10	3,250	2,228	1,812	1,372	0,542	0,260
11	3,169	2,201	1,796	1,363	0,540	0,260
12	3,106	2,119	1,782	1,356	0,539	0,59
13	3,055	2,160	1,771	1,350	0,538	0,259
14	3,012	2,145	1,761	1,345	0,537	0,258
15	2,977	2,131	1,753	1,341	0,536	0,258
16	2,947	2,120	1,746	1,337	0,535	0,257
18	2,878	2,101	1,734	1,330	0,534	0,257
20	2,845	2,086	1,725	1,325	0,533	0,256
23	2,807	2,069	1,714	1,319	0,532	0,256
25	2,787	2,060	1,708	1,316	0,531	0,256
30	2,750	2,042	1,697	1,310	0,530	0,256
40	2,704	2,021	1,684	1,303	0,529	0,255
60	2,660	2,000	1,671	1,296	0,527	0,254
100	2,617	1,980	1,685	1,289	0,526	0,254
∞	2,576	1,960	1,645	1,282	0,524	0,253

Результат измерения физической величины X представляется в виде:

$$X = \bar{x} \pm \Delta X = \bar{x} \pm t_{\alpha, n-1} \sigma_x^- \quad (11)$$

где X – результат измерения физической величины; σ_x^- – среднее квадратическое отклонение значения среднего арифметического;

σ_i – среднее квадратическое отклонение; n – число измерений; $t_{\alpha, n-1}$ – коэффициент Стьюдента заданной степени вероятности α для числа степеней свободы равного $n-1$.

Смысл записи таков: *измеряемая величина X с вероятностью α находится внутри интервала $(\bar{x} - t_{\alpha, n-1} \sigma_x, \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \sigma_x)$* . Иначе говоря, построенный интервал покрывает значение неизвестной величины X с вероятностью α .

Величину ΔX , представленную формулой (11), называют **абсолютной погрешностью измеряемой величины X** . Отметим, что абсолютная погрешность выражается в тех же единицах, что и сама измеряемая величина X .

При обработке результатов измерений кроме абсолютной погрешности в виде (11), используют относительную погрешность измеряемой величины. **Относительной погрешностью ε_X измеряемой величины X** называют отношение абсолютной погрешности ΔX к истинному значению X . Так как истинное значение X неизвестно, то в качестве наилучшей оценки относительной погрешности ε_X используется отношение ΔX к среднестатистическому значению \bar{x} .

$$\varepsilon_X = \frac{\Delta X}{x} \quad (12)$$

где ε_X – относительная погрешность измерений; \bar{x} – среднее статистическое; ΔX – абсолютная погрешность.

Относительная погрешность всегда является безразмерной величиной. Относительную погрешность так же можно выразить в процентах, в этом случае формула (12) имеет вид:

$$\varepsilon_X = \frac{\Delta X}{x} \cdot 100\% \quad (13)$$

При проведении экспериментов может наблюдаться ситуация, в которой все измеренные значения x_i совпадают между

собой. В этом случае оценка случайной погрешности ΔX_{cl} согласно формуле (12) равна нулю. Однако было бы неверно считать, что получено точное значение измеряемой величины X .

Помимо случайной погрешности ΔX_{cl} на результат измерения влияет погрешность, вносимая прибором, так называемая **приборная погрешность**. Чем выше точность прибора, тем меньше будет приборная погрешность. По своей сути, величина приборной погрешности определяется разнообразными случайными процессами, происходящими внутри прибора. Величина же ΔX_{cl} в этом случае рассматривается как оценка погрешностей, вызываемых случайными процессами, протекающими вне измерительного прибора, а величина ΔX_{pp} – процессами, протекающими внутри прибора. Приборную погрешность можно интерпретировать как оценку средней погрешности с высоким уровнем доверия (близким к единице), полученную по результатам большого числа измерений в ходе испытаний прибора. Отсюда следует, что случайная и приборная погрешности независимы.

В математической статистике выводится, что общую погрешность результата можно представить как квадратный корень из суммы квадратов отдельных погрешностей:

$$\Delta X = \sqrt{(\Delta X_{cl})^2 + (\Delta X_{pp})^2} \quad (14)$$

где ΔX – общая погрешность измерений; ΔX_{cl} – случайная погрешность; ΔX_{pp} – погрешность прибора.

$$\Delta X_{pp} = t_{\alpha, \infty} \frac{\delta}{3} \quad (15)$$

где ΔX_{pp} – погрешность прибора; $t_{\alpha, \infty}$ – коэффициент Стьюдента заданной степени вероятности α и для бесконечного числа степеней свободы (его значение можно взять в таблице 3).

Следовательно, результат измерения величины X может быть представлен в виде:

$$X = \bar{x} \pm \sqrt{(t_{\alpha, n-1} \sigma_{\bar{x}})^2 + \left(t_{\alpha, \infty} \frac{\delta}{3}\right)^2} \quad (16)$$

В практических задачах составные части полной погрешности $\Delta X_{СЛ}$ и $\Delta X_{ПР}$ могут отличаться друг от друга на порядок и более. В этих случаях для предварительных оценок можно пренебрегать меньшей их них. При окончательных расчетах погрешности следует использовать общую формулу (15)

Для многих измерительных приборов приборная погрешность выражается классом точности. **Класс точности К** — это приборная погрешность, выраженная в процентах от максимально допустимых показаний прибора по выбранной шкале измерения, т. е.

$$K = \frac{\delta}{X_{max}} \cdot 100\% \quad (17)$$

где К – класс точности, X_{max} – максимально возможное значение измеряемой величины по выбранной шкале. Из (15) получаем:

$$\delta = \frac{X_{max}}{100\%} K \quad (18)$$

Класс точности приводится или в паспорте прибора, или на самом приборе. Величину класса точности помещают обычно в кружок, например, 0,5 или 1,0. Существуют следующие классы точности электроизмерительных приборов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Первые четыре класса являются прецизионными (высокоточными), остальные – техническими. Полагается, что величина δ постоянна по всей той шкале прибора, для которой она вычислена. Для некоторых измерительных приборов в его паспорте или непосредственно на приборе указывают сразу приборную погрешность. Если же неизвестен класс точности прибора и нет других сведений о приборной погрешности, то δ считают равной цене наименьшего деления шкалы.

Пример 1. В результате измерений силы тока цифровым миллиамперметром получен ряд значений, мА: 10,3924; 10,2123; 9,8534; 9,7754; 10,1545; 9,9921. Определить среднее значение и абсолютную и относительную погрешности силы тока при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$.

Решение. Среднее значение определяем по формуле (6):

$$I_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} = 10,0634 \text{ мА}$$

Округление до четвертого знака после запятой произведено, так как точность среднего значения не может быть выше точности результатов исходных измерений.

Среднее квадратичное отклонение полученного результата определяем по формуле (9):

$$\sigma_{I_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{cp} - I_i)^2}{n(n-1)}} = 0,0950 \text{ мА}$$

Для расчета абсолютной погрешности воспользуемся формулой (11). Входящий в формулу коэффициент Стьюдента берем в таблице распределения (таблица 3) по доверительной вероятности 0,95 и числу степеней свободы $n-1=5$, $t_{0,95;5}=2,571$.

Рассчитываем абсолютную погрешность:

$$\Delta I = \sigma_{I_{cp}} t_{0,95;5} = 0,2443 \text{ мА}$$

Округляем результат до второй значащей цифры абсолютной погрешности:

$$I = 10,06 \pm 0,24 \text{ мА.}$$

Находим относительную погрешность по формуле (13):

$$\varepsilon_X = \frac{\Delta I}{I_{cp}} \cdot 100\% = \frac{0,24}{10,06} \cdot 100\% = 2,4\%$$

Таким образом, можно сказать, что измеряемое значение силы тока равно $(10,06 \pm 2,4\%)$ мА.

Ответ: среднее значение – $I_{cp} = 10,0634$ мА, абсолютная погрешность – $\Delta I = 0,2443$ мА, относительная погрешность – $\varepsilon_X = 2,4\%$.

Пример 2. Прибор для измерения длин волн электромагнитного излучения аттестуется по стандартному излучению $\lambda_{ЭТ} = 546,07$ нм. При семи измерениях получены результаты, нм: 546,06; 546,05; 546,08; 546,07; 546,05; 546,07; 546,06. Оценить систематическую погрешность измерений и ширину доверительного интервала при доверительной вероятности 0,95.

Решение. Определяем среднее значение полученных результатов измерений по формуле (6):

$$\lambda_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n} = 546,06 \text{ нм}$$

Разница между истинным значением измеряемой величины и средним значением результатов измерений и будет *систематической погрешностью*:

$$\Delta \lambda_{cист} = \lambda_{эм} - \lambda_{cp} \approx 0,01$$

Ширину доверительного интервала – $2 \Delta \lambda$ определяем как в предыдущей задаче:

$$\sigma_{\lambda_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_{cp} - \lambda_i)^2}{n(n-1)}} = 0,0042 \text{ нм},$$

$$\Delta\lambda = \sigma_{\lambda_{cp}} t_{0,95;6} = 0,01 \text{ нм}$$

Таким образом, ширина доверительного интервала составляет $2 \Delta\lambda = 0,02 \text{ нм}$.

Ответ: систематическая погрешность – $\Delta\lambda_{сист} \approx 0,01$, ширина доверительного интервала – $2 \Delta\lambda = 0,02 \text{ нм}$.

Пример 3. При измерении времени истечения нефтепродукта через капилляр вискозиметра получено 8 различных значений, с: 154,1; 154,4; 154,7; 154,8; 155,2; 154,3; 154,3; 154,2. Проверить, является ли пятое измерение промахом?

Решение. Выберем доверительную вероятность $\alpha=0,95$. Исключим из набора значение $t_5 = 155,2 \text{ с}$. Вычислим среднее статистическое остальных семи значений по следующей формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n,i \neq k} x_i \quad (19)$$

$$t_{cp} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n,n \neq 5} t_i = 154,4 \text{ с}$$

Для $\alpha=0,95$ и числа степеней свободы $8-2=6$ извлечем из таблицы значение коэффициента Стьюдента $t_{0,95;6} = 2,447$.

Рассчитаем ширину доверительного интервала по следующей формуле:

$$\Delta x_1 = 3 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n,i \neq k} (x_i - \bar{x})^2}{n-2}} \quad (20)$$

$$\Delta t_1 = 3 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n,i \neq k} (t_i - t_{cp})^2}{n-2}} \approx 0,77 \text{ с}$$

Отклонение проверяемого измерения t_5 от среднего значения t_{cp} остальных результатов значительно превышает Δt_i , поэтому величину t_5 следует признать промахом и исключить из набора результатов.

Ответ: величину t_5 следует признать промахом и исключить из набора результатов.

Пример 3. Диаметр цилиндра измерялся пять раз микрометром с приборной погрешностью $\delta = 0,01$ мм. При этом были получены следующие числовые значения, мм: 15,32; 15,31; 15,29; 15,31; 15,32. Требуется определить абсолютную и относительную погрешности измерения диаметра d , а также границы доверительного интервала для заданной доверительной вероятности $\alpha = 0,95$.

Решение. Сначала рассчитываем среднее значение диаметра по формуле (6) и получаем:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} = 15,31 \text{ мм}$$

Прежде чем вычислять Δd , следует провести предварительный анализ данных.

Все разности $(d_{cp} - d_i)$ по абсолютной величине совместимы с δ , следовательно, необходимо учесть и случайную, и приборную составляющие погрешности. По формуле (9) получаем:

$$\sigma_{dcp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{cp} - d_i)^2}{n(n-1)}} = 0,006 \text{ мм}$$

Выбираем доверительную вероятность (надежность) 0,95. Так как серия измерений содержит пять значений, то коэффициент Стьюдента следует брать для числа степеней свободы равного 4. Из таблицы коэффициентов Стьюдента (таблица 3) извлекаем значение $t_{0,95;4} = 2,776$.

Для той же доверительной вероятности 0,95 и для бесконечного числа степеней свободы значение коэффициента Стьюдента $t_{0,95; \infty} = 1,960$. Далее рассчитываем по формуле (16):

$$d = d_{cp} \pm \sqrt{\left(t_{\alpha, n-1} \sigma_{d_{cp}}\right)^2 + \left(t_{\alpha, \infty} \frac{\delta}{3}\right)^2} = 15,31 \pm 0,02 \text{ мм}$$

Эта запись означает, что истинное значение диаметра цилиндра с вероятностью 0,95 находится внутри доверительного интервала с границами (15,29 мм; 15,33 мм).

Относительную погрешность считаем по зависимости (13):

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d_{cp}} \cdot 100\% = 0,11\%$$

Таким образом, можно записать результат:

$$d = 15,31 \text{ мм} \pm 0,11\%$$

Ответ: Доверительный интервал $(15,31 \pm 0,02)$ мм ,
относительная погрешность $\varepsilon_d = 0,11\%$.

3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия погрешности измерения.
2. Что называется эталоном?
3. В чем отличие прямых и косвенных измерений?
4. Какими факторами вызываются систематические погрешности? Как их избежать?
5. Что характеризует дисперсия измеряемой величины?
6. Назовите математическое выражение закона увеличения точности с ростом количества измерений.
7. Что называют числом степеней свободы?
8. Дайте определение абсолютной и относительной погрешности.

9. Как определить класс точности прибора?

4. Задачи для самостоятельного решения

Задание 1. В результате измерений силы тока цифровым миллиамперметром получен ряд значений (представленный в таблице 4). Определить среднее значение и абсолютную и относительную погрешности силы тока при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ (для вариантов 1-15) и $\alpha = 0,99$ (для вариантов 16-30).

Таблица 4

Полученные значения силы тока, мА

Вариант	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	2	3	4	5	6	7	8
1	36,977	37,184	37,059	36,537	36,663	38,859	36,819
	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67		
2	0,0298	0,03	0,299	0,301	0,03	0,298	
	37,508	38,688	37,833	39,426	38,261	37,508	38,554
3	106,14	109,69	108,76	108,11	108,21	108,85	108,04
	0,0297	0,0301	0,0297	0,0302	0,0299	0,0298	0,0298
4	37,515	38,044	36,165	36,79	36,138		
	106,14	109,69	108,76	108,11	108,21	108,85	108,04
5	108,68	107,08	108,84	107,92	108,59	108,84	
	0,0302	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299	0,03	0,0303
6	0,0303	0,0301	0,0298	0,0298	0,03	0,0301	0,03
	35,646	37,541	38,957	36,134	36,786		
7	109,1	109,63	108,74	108,61	107,38	107,59	107,3
	0,0302	0,0298	0,0296	0,0302	0,0296		
8	37,508	38,688	37,833	39,426	38,261	37,508	38,554
	0,0302	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299	0,03	0,0303
9	108,68	107,08	108,84	107,92	108,59	108,84	107,22
	0,0302	0,0298	0,0296	0,0302	0,0296	0,0302	0,0298
10	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67	110,21	109,57
	37,515	38,044	36,165	36,79	36,138	37,515	
11	35,646	37,541	38,957	36,134	36,786	37,764	
	0,0303	0,0301	0,0298	0,0298	0,03		
12	108,68	107,08	108,84	107,92	108,59	108,84	107,22
	0,0298	0,03	0,299	0,301	0,03	0,0298	0,03

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
13	35,646	37,541	38,957	36,134	36,786		
	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67	110,21	109,57
14	0,0302	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299	0,03	0,0303
	35,646	37,541	38,957	36,134	36,786	35,646	37,541
15	108,76	108,11	108,21	108,85	108,76	108,11	
	0,0302	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299		
16	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67	110,21	109,57
	35,646	37,541	38,957	36,134	36,786	35,646	37,541
17	108,68	107,08	108,84	107,92	108,59		
	0,0298	0,03	0,299	0,301	0,03	0,0298	
18	108,76	108,11	108,21	108,85	108,76	108,11	
	0,0302	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299		
19	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67	110,21	109,57
	35,646	37,541	38,957	36,134	36,786	35,646	37,541
20	0,0298	0,03	0,299	0,301	0,03	0,0298	
	108,68	107,08	108,84	107,92	108,59	108,84	107,22
21	108,76	108,11	108,21	108,85	108,76	108,76	
	0,0302	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299	0,0302	
22	37,515	38,044	36,165	36,79	36,138	37,515	38,044
	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299	0,0301	0,0297	
23	107,08	108,84	107,92	108,59	108,84	107,08	108,84
	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67		
24	108,76	108,11	108,21	108,85	108,76		
	0,0302	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299		
25	37,515	38,044	36,165	36,79	36,138	37,515	38,044
	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299	0,0301		
26	107,08	108,84	107,92	108,59	108,84	107,08	
	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67	110,21	109,57
27	37,515	38,044	36,165	36,79	36,138		
	107,08	108,84	107,92	108,59	108,84	107,08	108,84
28	0,0301	0,0297	0,0298	0,0299	0,0301	0,0297	
	37,515	38,044	36,165	36,79			
29	36,977	37,184	37,059	36,537	36,663	38,859	36,819
	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67		
30	110,21	109,57	107,39	108,45	106,67	110,21	109,57
	35,646	37,541	38,957	36,134	36,786	35,646	37,541

Задание 2. Электронные лабораторные весы калибруются по эталонному грузу 0,001 г. Проводится 6 измерений. Результаты представлены в таблице 5. Определить систематическую ошибку и доверительный интервал при доверительной вероятности $\alpha=0,99$ (для вариантов 1-15) и $\alpha=0,95$ (для вариантов 16-30).

Таблица 5

Результаты калибровки электронных весов, г

Вариант	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
1	2	3	4	5	6	7
1	0,00123	0,00126	0,00129	0,00107	0,00120	0,00109
2	0,00115	0,00093	0,00093	0,00116	0,00096	0,00093
3	0,00116	0,00110	0,00114	0,00122	0,00116	0,00128
4	0,00117	0,00109	0,00126	0,00124	0,00115	0,00130
5	0,00095	0,00115	0,00127	0,00121	0,00096	0,00114
6	0,00120	0,00116	0,00122	0,00097	0,00116	0,00124
7	0,00104	0,00118	0,00091	0,00122	0,00118	0,00135
8	0,00134	0,00122	0,00112	0,00124	0,00122	0,00127
9	0,00115	0,00093	0,00093	0,00116	0,00096	0,00093
10	0,00101	0,00098	0,00086	0,00106	0,00123	0,00099
11	0,00138	0,00127	0,00113	0,00123	0,00122	0,00112
12	0,00127	0,00114	0,00099	0,00139	0,00118	0,00105
13	0,00120	0,00116	0,00122	0,00097	0,00116	0,00124
14	0,00104	0,00118	0,00091	0,00122	0,00118	0,00135
15	0,00112	0,00095	0,00090	0,00091	0,00122	0,00111
16	0,00115	0,00093	0,00093	0,00116	0,00096	0,00093
17	0,00116	0,00110	0,00114	0,00122	0,00116	0,00128
18	0,00117	0,00109	0,00126	0,00124	0,00115	0,00130
19	0,00096	0,00113	0,00084	0,00119	0,00122	0,00108
20	0,00104	0,00122	0,00125	0,00093	0,00118	0,00090
21	0,00127	0,00114	0,00099	0,00139	0,00118	0,00105
22	0,00125	0,00126	0,00085	0,00111	0,00114	0,00107
23	0,00101	0,00098	0,00086	0,00106	0,00123	0,00099
24	0,00138	0,00127	0,00113	0,00123	0,00122	0,00112
25	0,00117	0,00110	0,00110	0,00112	0,00116	0,00128
26	0,00117	0,00109	0,00126	0,00124	0,00115	0,00130
27	0,00120	0,00116	0,00122	0,00097	0,00116	0,00124
28	0,00104	0,00118	0,00091	0,00122	0,00118	0,00135

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
29	0,00115	0,00093	0,00093	0,00116	0,00096	0,00093
30	0,00116	0,00110	0,00114	0,00122	0,00116	0,00128

Задание 3. При измерении силы тока миллиамперметром получено шесть различных значений, представленных в таблице 6 Проверить, значения на наличие промахов.

Таблица 6

Полученные значения силы тока, мА

Вариант	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
1	2	3	4	5	6	7
1	35,12	35,07	35,37	35,15	34,60	35,53
2	35,02	34,75	35,11	35,02	35,15	35,50
3	35,10	34,83	35,02	34,78	34,85	35,77
4	34,92	35,13	35,22	35,21	34,97	35,52
5	35,28	35,75	35,00	35,22	34,92	35,06
6	34,96	34,84	34,68	34,81	34,94	35,02
7	34,98	35,47	34,92	35,08	34,95	35,78
8	34,94	35,39	35,07	35,35	34,79	34,98
9	35,12	35,07	35,37	35,15	34,60	35,53
10	35,02	34,75	35,11	35,02	35,15	35,50
11	34,86	34,96	34,79	35,10	34,54	35,68
12	35,11	34,99	34,93	34,44	35,23	35,10
13	34,95	35,00	34,99	35,27	35,03	35,40
14	35,18	34,95	35,09	34,83	35,01	35,55
15	35,06	34,65	35,18	35,01	35,49	35,72
16	34,89	34,84	35,27	34,86	35,03	35,46
17	35,28	35,75	35,00	35,22	34,92	35,06
18	34,96	34,84	34,68	34,81	34,94	35,02
19	34,98	35,47	34,92	35,08	34,95	35,78
20	34,94	35,39	35,07	35,35	34,79	34,98
21	35,12	35,07	35,37	35,15	34,60	35,53
22	35,06	34,65	35,18	35,01	35,49	35,72
23	34,89	34,84	35,27	34,86	35,03	35,46
24	35,28	35,75	35,00	35,22	34,92	35,06
25	34,96	34,84	34,68	34,81	34,94	35,02
26	34,98	35,47	34,92	35,08	34,95	35,78

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
27	35,06	34,65	35,18	35,01	35,49	35,72
28	34,96	34,84	34,68	34,81	34,94	35,02
29	34,92	35,13	35,22	35,21	34,97	35,52
30	35,28	35,75	35,00	35,22	34,92	35,06

Задание 4. Толщина детали измерялась пять раз микрометром с приборной погрешностью $\delta = 0,01$ мм. При этом были получены следующие числовые значения, представленные в таблице 7. Требуется определить абсолютную и относительную погрешности измерения толщины b , а также границы доверительного интервала для заданной доверительной вероятности $\alpha = 0,90$.

Таблица 7

Толщина измеряемой детали, мм

Вариант	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
1	2	3	4	5	6
1	8,45	8,49	8,52	8,50	5,58
2	8,57	8,44	8,47	8,53	8,53
3	8,51	8,39	8,56	8,50	8,56
4	8,39	8,47	8,62	8,50	8,57
5	8,49	8,51	8,56	8,45	8,47
6	8,50	8,50	8,51	5,47	8,51
7	8,58	8,52	8,50	8,45	8,62
8	8,51	8,39	8,56	8,50	8,56
9	8,39	8,47	8,62	8,50	8,57
10	8,51	8,39	8,56	8,50	8,56
11	8,39	8,47	8,62	8,50	8,57
12	8,49	8,51	8,56	8,45	8,47
13	8,39	8,47	8,62	8,50	8,57
14	8,53	8,50	8,57	8,48	8,45
15	8,45	8,49	8,52	8,50	5,58
16	8,57	8,44	8,47	8,53	8,53
17	8,58	8,52	8,50	8,45	8,62
18	8,51	8,39	8,56	8,50	8,56
19	8,51	8,39	8,56	8,50	8,56

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6
20	8,39	8,47	8,62	8,50	8,57
21	8,53	8,50	8,57	8,48	8,45
22	8,51	8,39	8,56	8,50	8,56
23	8,39	8,47	8,62	8,50	8,57
24	8,49	8,51	8,56	8,45	8,47
25	8,45	8,49	8,52	8,50	5,58
26	8,57	8,44	8,47	8,53	8,53
27	8,51	8,39	8,56	8,50	8,56
28	8,39	8,47	8,62	8,50	8,57

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 УСТАНОВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1. Корреляционная зависимость

В задачу статистического анализа входит также выявление величины корреляционной связи и установление ее типа.

Одним из основных коэффициентов, измеряющих связь между варьирующими признаками X и Y , является **коэффициент корреляции R** , который находится в пределах от 0 до ± 1 , при этом:

- при R близком к нулю – отсутствует связь;
- при $R = 0,2 - 0,3$ – малая связь;
- при $R = 0,4 - 0,6$ – средняя связь;
- при $R = 0,7 - 0,9$ – связь считается сильной.

Знак минус или плюс у коэффициента корреляции указывает на направление связи. Знак плюс означает, что связь между признаками X и Y **прямая (положительная)**, знак минус – связь **обратная (отрицательная)**.

Коэффициент корреляции выявляет величину и направление связи лишь тогда, когда связь между признаками близка к прямолинейной. Поэтому прежде чем вычислить коэффициент корреляции, необходимо установить, какой тип связи может быть между X и Y : близкий к прямолинейной или сильно выраженный криволинейный. Это достигается путем анализа литературных

данных или нанесения опытных данных на рисунок в координатах по X и Y .

Коэффициент корреляции рассчитывают по формуле (21):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \overline{X_x}) \cdot (y_i - \overline{Y_y})}{\sqrt{\sum (x_i - \overline{X_x})^2 \cdot \sum (y_i - \overline{Y_y})^2}} \quad (21)$$

где R – коэффициент корреляции; x_i – значение единичного результата одного признака; $\overline{X_x}$ – значение средней арифметической величины одного признака; y_i – значение единичного результата другого признака; $\overline{Y_y}$ – значение средней арифметической величины другого признака.

2. Установление функциональной зависимости

Влияние какого - либо фактора X на выход процесса – Y выражается функциональной зависимостью или уравнением регрессии (22):

$$Y = f(x) \quad (22)$$

Наиболее часто встречающиеся в технологических исследованиях виды функциональных зависимостей показаны графически на рисунке 1.

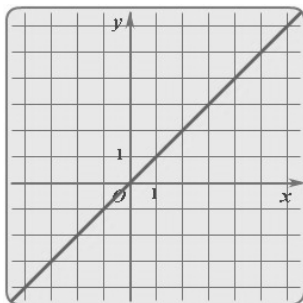
Этапы обработки полученных результатов исследования для установления зависимости и определения искомого уравнения регрессии:

1. Определение среднего значения результата (X ; Y) для средней оценки дисперсии единичного $\sigma^2(x_1; y_2)$ и среднего $\sigma^2(X; Y)$ результатов.

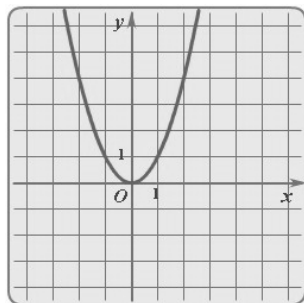
2. Графическое представление данных эксперимента и установление того или иного вида искомого уравнения (линейное, квадратичное, степенной и т.д.).

3. Определение коэффициента искомого уравнения и проверка адекватности (соответствия) полученного уравнения

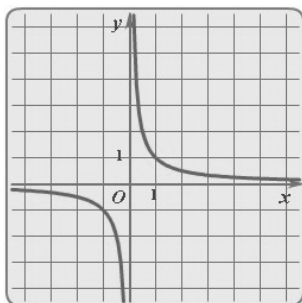
экспериментальным данным, оценка точности аппроксимации (выполняется в пакете Excel).



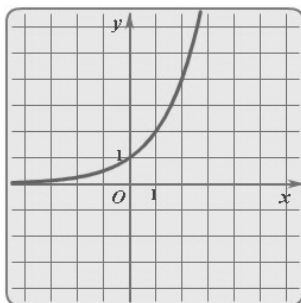
а) линейная зависимость



б) параболическая зависимость



в) гиперболическая зависимость



г) степенная зависимость

Рис. 1. Пример функциональных зависимостей

Если уравнение недостаточно точно описывает экспериментальные данные, то следует выбрать другой вид уравнения, перейти к полиному, более высокой степени.

3. Оценка точности аппроксимации

Точность аппроксимации оценивается для уравнения регрессии любого вида коэффициентом аппроксимации (ε , %), который вычисляется по формуле (23):

$$\varepsilon = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y - \bar{y} \cdot x_i}{y_i} \right| \quad (23)$$

где ε – коэффициент аппроксимации, %; x_i – значение единичного результата одного признака; y_i – значение единичного результата другого признака; \bar{y} – значение средней арифметической величины другого признака.

Точность аппроксимации считается удовлетворительной, если $\varepsilon \leq 10\%$.

4. Контрольные вопросы

1. В каких пределах находится значение коэффициента корреляции?
2. Дайте характеристику связи между варьирующими признаками X и Y если коэффициент корреляции: а) близок к нулю; б) находится в пределах $(0,2 \div 0,3)$; в) находится в пределах $(0,4 \div 0,6)$; г) находится в пределах $(0,7 \div 0,9)$.
3. На что указывает знак «+» у коэффициента корреляции?
4. Приведите примеры функциональной зависимости.
5. Изобразите графически линейную и степенную зависимости.
6. Перечислите этапы обработки полученных результатов исследований необходимые для установления зависимости.
7. При каком значении коэффициента аппроксимации точность аппроксимации будет удовлетворительной?

5. Задачи для самостоятельного решения

Задание 1. Установить корреляционную и функциональную зависимости между концентрацией соли в растворе (C) и температурой его замерзания (T), если в опытах были получены следующие результаты:

Таблица 8

Результаты анализа

1	C, %	X	1,0	1,3	2,2	2,6	3,3	3,6	5,3
	T, °C	Y	-1,3	-2,2	-2,8	-3,2	-3,8	-4,4	-5,8
2	C, %	X	1,2	1,3	1,5	2,0	2,3	2,5	3,1
	T, °C	Y	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,3	-1,5	-1,9
3	C, %	X	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
	T, °C	Y	-9,2	-8,6	-7,4	-6,9	-6,2	-5,4	-4,8
4	C, %	X	5	10	15	20	25	30	45
	T, °C	Y	-73,0	-76,5	-82,0	-82,3	-82,3	-82,5	-82,5
5	C, %	X	73,0	74,0	75,0	76,0	77,0	78,0	80,0
	T, °C	Y	-2,9	-2,4	-2,0	-2,1	-1,8	-1,6	-1,5
6	C, %	X	16	23	26	28	30	36	40
	T, °C	Y	-0,35	-0,57	-0,61	-0,69	-0,75	-0,81	-0,94
7	C, %	X	10	18	20	30	36	40	50
	T, °C	Y	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,18	0,34
8	C, %	X	1,0	1,6	2,2	2,6	3,6	4,2	5,5
	T, °C	Y	-1,6	-2,2	-2,8	-3,1	-3,7	-4,3	-5,7
9	C, %	X	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0
	T, °C	Y	3,1	3,3	3,9	4,6	5,1	5,4	5,7
10	C, %	X	5	10	15	20	25	30	45
	T, °C	Y	-67,6	-70,4	-72,6	-74,4	-74,6	-74,6	-75,0

Задание 2. Определить коэффициент корреляции и оценить точность аппроксимации полученных экспериментальных данных, представленных в таблице 8.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО КОСВЕННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

1. Косвенные измерения

В современной науке не всегда возможно напрямую исследовать исследуемую величину. Пусть необходимо измерить численное значение некой физической величины Z , что невозможно выполнить прямыми методами. Теоретическая наука функционально

связывает величину Z с несколькими другими физическими величинами A, B, C, \dots , значения которых уже известны или могут быть измерены непосредственно прямыми методами. Иначе говоря, исследуемая величина Z представляется в виде однозначной зависимости от величин A, B, C, \dots :

$$Z = f(A, B, C, \dots) \quad (24)$$

где Z – исследуемая величина; $f(A, B, C, \dots)$ – зависимость исследуемой величины от величин A, B, C ; A, B, C – величины, измеряемые прямым методом.

Причем явный вид функции f известен экспериментатору.

В ходе эксперимента численны значения A, B, C, \dots многократно измеряются в идентичных условиях. Затем, согласно рассмотренной в предыдущих практических занятиях, для каждой из них вычисляются средние статистические, а затем подставляются в функцию (23) вместо соответствующих величин.

$$\bar{Z} = f(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots) \quad (25)$$

где $(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots)$ – средние статистические величин, измеряемых прямым методом.

Вычисленное значение по формуле (25) полагается искомым значением измеряемой величины Z . При этом, согласно математической статистике, достигается наилучшее приближение к истинному значению неизвестной Z .

После вычисления приближенного значения искомой величины Z необходимо провести оценку погрешности полученного приближения, разумеется, при выбранной доверительной вероятности a .

В курсе математической статистики доказывается, что если измерения A, B, C, \dots проводятся независимо, то абсолютная погрешность ΔZ величины Z , заданной при помощи уравнения (24), может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A}\right)_{\substack{A=\bar{A} \\ B=\bar{B}}}^2 (\Delta A)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)_{\substack{A=\bar{A} \\ B=\bar{B}}}^2 (\Delta B)^2 + \dots} \quad (26)$$

где ΔZ – абсолютная погрешность величины Z , заданной при помощи уравнения (24); $\left(\frac{\partial f}{\partial A}\right)$, $\left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)$ – представляют собой частные производные функции (24) по переменным $A, B, C \dots$ соответственно; $\Delta A, \Delta B$ – абсолютные погрешности величин A, B .

Выражения для производных получаются аналитическим дифференцированием заданной функции (23). Нижние индексы у производных $A = \bar{A}$ означают, что численные значения производных рассчитываются после замены аргументов $A, B, C \dots$ на ранее полученные их средние статистические значения.

Пример 1. Определяется количество выделившегося в химической реакции водорода путем косвенных измерений, количество водорода рассчитывается по уравнению Менделеева – Клапейрона: $\rho V = \nu RT$. В результате измерений получены следующие величины: $\rho = 795 \pm 1$ мм рт.ст., $T = 293 \pm 0,1$ К, $V = 19,2 \pm 0,1$ мл. определить количество водорода и абсолютную погрешность измерений.

Решение. Переведем полученные данные в единицы СИ: $\rho = 106050 \pm 130$ Па, $V = 1,92 \cdot 10^{-5} \pm 10^{-7}$ м³. Выведем формулу для расчета количества водорода:

$$\nu = \frac{\rho V}{RT},$$

где ν – количество вещества, моль; ρ – давление, Па; V – объем, м³; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная, 8,31 Дж/(моль · К).

Рассчитываем количество водорода:

$$v_{H2} = \frac{106050 \text{ Па} \cdot 1,92 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{8,31444 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293 \text{ К}} = 8,36 \cdot 10^{-4} \text{ моль}.$$

Выведем формулу для расчета погрешности:

$$\begin{aligned} \Delta v &= \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial \rho}\right)^2 (\Delta \rho)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial V}\right)^2 (\Delta V)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)^2 (\Delta T)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{V}{RT}\right)^2 (\Delta \rho)^2 + \left(\frac{\rho}{RT}\right)^2 (\Delta V)^2 + \left(-\frac{\rho V}{RT^2}\right)^2 (\Delta T)^2} \end{aligned}$$

Рассчитываем значение погрешности $\Delta v = 4,5 \cdot 10^{-6}$ моль.
Окончательно получаем $v_{H2} = 8,36 \cdot 10^{-4} \pm 4,5 \cdot 10^{-6}$ моль.

Ответ: $v_{H2} = 8,36 \cdot 10^{-4} \pm 4,5 \cdot 10^{-6}$ моль.

2. Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия косвенные измерения.
2. Чем косвенные измерения отличаются от прямых измерений?
3. Приведите пример косвенных измерений?
4. Как вычислить абсолютную погрешность при косвенных измерениях?
5. Что означают нижние индексы у производных $A = \bar{A}$ в формуле (26)?

3. Задачи для самостоятельного решения

Задание 1. Определить количество потребленной нагрузкой электроэнергии по показаниям вольтметра, амперметра и секундомера и погрешность измерения количества энергии. Показания приборов и точность первичных измерений представлены в таблице 9.

Таблица 9

Показания приборов

Вариант	$U, В$	$\Delta U, В$	$I, А$	$\Delta I, А$	$t, с$	$\Delta t, с$
1	216,8	2,7	2,00	0,18	946,4	0,6
2	221,4	1,8	1,52	0,21	997,1	0,4
3	218,9	2,2	3,91	0,20	785,1	0,4
4	219,8	2,0	5,55	0,19	781,1	0,6
5	218,7	2,3	6,12	0,19	972,1	0,6
6	221,7	2,0	4,10	0,19	884,4	0,5
7	217,1	1,8	7,12	0,21	823,9	0,6
8	220,8	1,9	4,91	0,20	778,7	0,6
9	217,1	1,9	2,82	0,23	987,8	0,4
10	220,1	2,5	2,26	0,20	959,2	0,6
11	222,1	1,8	3,27	0,19	991,3	0,5
12	221,6	2,5	3,47	0,19	830,2	0,6
13	219,7	2,6	3,48	0,18	785,4	0,7
14	220,4	1,8	3,51	0,19	870,5	0,7
15	220,3	1,7	5,67	0,20	664,5	0,2
16	219,6	2,0	4,59	0,19	798,0	0,6
17	220,4	1,8	3,50	0,26	728,6	0,4
18	222,0	2,0	3,23	0,18	786,4	0,6
19	218,6	1,6	3,27	0,18	802,2	0,4
20	218,6	2,4	5,06	0,19	724,7	0,4
21	219,7	2,6	3,48	0,18	785,4	0,7
22	220,4	1,8	3,51	0,19	870,5	0,7
23	220,3	1,7	5,67	0,20	664,5	0,2
24	221,4	1,8	1,52	0,21	997,1	0,4
25	218,9	2,2	3,91	0,20	785,1	0,4
26	222,7	2,0	4,19	0,19	665,2	0,3
27	221,7	1,8	4,30	0,19	956,3	0,6
28	220,1	1,6	2,74	0,19	620,5	0,7
29	218,1	2,2	3,29	0,21	645,3	0,6
30	220,2	1,5	6,72	0,17	853,5	0,5

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

ОПИСАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1. Классификация тезисов научного исследования

Тезисы доклада, статьи или другого объемного (как правило – текстового) материала – совокупность отдельных положений, логически связанных друг с другом. При этом часто подразумевается, что их доказательство имеет место в тексте основной (объемной) публикации.

Основная цель написания любых тезисов – обобщить имеющийся материал, дать его суть в кратких формулировках, раскрыть содержание относительно большой по объему публикации или доклада; глубоко разобраться в вопросе, проанализировать его и создать возможность противопоставления своих мыслей мыслям других, либо дополнение последних.

Главное отличие тезисов от других научных текстов – малый объем (1–2 печатные страницы), в котором необходимо изложить все основные идеи доклада (статьи). Именно по качеству тезисов читатели будут судить обо всей работе целиком, и принимать решение о необходимости познакомиться с материалом в полном объеме.

Можно выделить три основных типа тезисов:

- К постановке проблемы;
- Результаты исследования;
- Новая методика работы.

Каждый тип предъявляет довольно жесткие требования к структуре работы.

При написании тезисов типа **«К постановке проблемы»** необходимо представить следующие блоки информации:

- Краткое вступление (актуальность темы);
- Цель работы (поставить проблему/задачу);
- Обзор существующих точек зрения на проблему, или описание ситуации в предметной области;
- Некоторые собственные мысли на эту тему;
- Предполагаемые исследования (опционально);

- Вывод (какая задача или проблема ставится для последующего решения).

При написании тезисов типа **«Результаты исследования»** необходимо представить следующие блоки информации:

- Краткое вступление, постановка проблемы (собственно, все-то же, что в тезисах «к постановке проблемы», только коротко);
- Цель работы (исследовать что-то конкретное);
- Базовые положения исследования или гипотеза (в случае экспериментального исследования);
- Примененные методы;
- Параметры выборки;
- Промежуточные результаты (при необходимости);
- Основные результаты;
- Интерпретация + выводы.

При написании тезисов типа **«Новая методика работы»** необходимо представить следующие блоки информации:

- Краткое вступление, описывающее задачи, для решения которых необходима разрабатываемая методика, область применения методики (актуальность);
- Цель работы (разработать такую-то методику);
- Описание существующих методик;
- Описание новой методики;
- Описание результатов применения;
- Оценка преимуществ и ограничений новой методики;
- Выводы.

2. Оформление тезисов научного исследования

Требования к оформлению тезисов определяются оргкомитетом конференции и доводятся до сведения всех потенциальных участников. Их необходимо неукоснительно соблюдать, т.к. любое нарушение требований приводит к значительному увеличению затрат на составление сборника тезисов доклада, что может послужить причиной отказа со стороны оргкомитета. Обычный объем тезисов устанавливается равным 1–2 страницам печатного текста. Реже его указывают в количестве слов

или знаков. При часто встречающихся требованиях к оформлению тезисов (шрифт Times New Roman, 12, интервал одинарный, формат-документ Word), 1 страница печатного текста составляет около 45 строк или 5–7 средних абзацев. При этом заметную часть занимает заголовок, фамилии авторов и названия организаций, где они работают. В общем, это совсем небольшой объем, доступный для внятного изложения мыслей автора.

Алгоритм написания тезисов:

1. Определитесь, к какому типу будут относиться ваши тезисы и выберите соответствующую структуру.

2. Четко представьте себе, что будет основным результатом или выводом вашей работы.

3. Подберите рабочее название тезисам. При этом необходимо одновременно учитывать: – выбранный выше тип тезисов; – основной результат/вывод вашей работы и ее фактическое содержание, которое будет описано в тезисах; – название конференции, в которой предполагается участие. Последний пункт нужен для того, чтобы ваши тезисы соответствовали тематике конференции. В случае несоответствия вам откажут в участии. В то же время, любую работу можно представить с различных точек зрения. Поэтому употребите в названии ключевые слова по теме конференции (конечно, с умом), взяв их из названия конференции, ее отдельных секций или тематики. В общем, скажите то, что от вас хотят услышать оргкомитет и другие участники конференции. Помните – название определяет все остальное содержание тезисов («Как яхту назовем, так она и поплывет»).

4. Составьте структуру тезисов согласно обязательным разделам тезисов выбранного вами типа, указанным выше. Подумайте, о чем пойдет речь в каждом разделе, и напишите его основную идею (тезис) одним – предложением напротив каждого раздела. Обычно одному разделу в тексте тезисов (точнее – каждой идее) соответствует один абзац. Если у вас оказалось в одном разделе несколько идей, значит, этот раздел будет состоять из нескольких абзацев. Таким образом, вы получили подробный план ваших тезисов – основное содержание по каждому абзацу.

5. Внимательно прочитайте написанное и проверьте, достаточно ли этих разделов и абзацев для полного раскрытия темы.

Если недостаточно – допишите. Составленные вами идеи каждого абзаца должны быть выстроены логически так, чтобы доказать основную идею всей работы – результат/вывод ваших тезисов (самый последний раздел тезисов любого типа), которые вы определили на этапе 2 данного алгоритма. При необходимости, поменяйте порядок следования абзацев, уточните формулировки. Возможно, вам захочется внести корректировки в название работы.

6. Внимательно прочитайте требования к оформлению тезисов, обратив внимание на их объем. Выразите его в количестве строк соответствующего шрифта и распределите (примерно) этот объем между отдельными разделами и абзацами. Таким образом, вы получили подробный план ваших тезисов. Можно переходить к их написанию.

7. По очереди, начиная с первого абзаца, излагайте свои мысли, стараясь уложиться в отведенный для них объем. После написания первого абзаца переходите ко второму и т.д.

8. Прочитайте весь получившийся текст целиком. Отредактируйте переходы между абзацами, само содержание абзацев. Очень вероятно, что в процессе написания у вас появились новые соображения по тезисам. Если считаете необходимым, внесите их в план, начиная с п. 4 данного алгоритма, и повторно пройдите пп. 4–8. По объему отдельные абзацы могут отклониться от первоначального плана. В этом нет ничего страшного – кроме вас этот план был никому не известен. Важно, чтобы основной результат/вывод вашей работы был хорошо аргументирован.

9. Проверьте соответствие получившихся тезисов заданному общему объему. Если их размер несколько больше – найдите и сократите второстепенные детали, измените отдельные фразы, которые помогут избавиться от неполных строчек и др.

10. Оформите тезисы согласно всем требованиям оргкомитета.

3. Составление отзыва на научное исследование

Рецензия или отзыв о научной работе оценивает научные положения и результаты научного исследования. При составлении рецензии обычно придерживаются такой последовательности:

- актуальность темы;

- оценка научного содержания, языка, стиля изложения;
- последовательность изложения результатов;
- практическая и научная значимость;
- оценка иллюстраций;
- замечания по объёму и содержанию;
- общие выводы и итоговая оценка исследований.

Критика рецензента должна быть принципиальной, научно обоснованной, но вместе с тем доброжелательной, способствующей улучшению исследования.

Актуальность исследовательской темы характеризует ее востребованность и важность для решения определенной проблемы (задачи, вопроса), возникшей перед автором работы.

Для того чтобы обосновать актуальность, следует объяснить, по какой причине темы данных исследований назрели именно сейчас, в данный момент, почему они не были раскрыты ранее, что этому препятствовало. Также необходимо выявить, насколько выбор данной темы обусловлен развитием науки, накоплением новых методов исследования и сведений, недостатками в уже осуществленных исследованиях, использованием новых методов исследования, необходимостью проведения исследования в новых экономических условиях и т.д.

Актуальность исследования представляет собой основной вопрос, который исследователь должен поставить себе еще до начала работы над проектом. Если тема исследования не актуальна, то выполнение работы не будет иметь никакого смысла и практического применения. Актуальность темы - это степень важности исследования в данной ситуации и данный отрезок времени для решения данных задач, вопросов и проблем.

Научная новизна работы считается доказанной, если в работе:

- обоснованы новые решения поставленных задач;
- разработаны новые принципы решения задач, исследованы
- новые явления;
- представлены новые методики.

При представлении научной новизны в исследовании обязательно должно быть дано и ее отличие от существующих

работ. При этом в понятие «научная новизна» включаются выражения: «в отличие от существующих методов...»; «новая методика, позволяющая эффективно...» и т.д.

При написании отзыва необходимо уделять внимание, насколько раскрыта научная новизна в исследовании (особенно это касается диссертационных работ, так как именно за научную новизну и присуждается степень кандидата наук).

4. Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «тезис».
2. В чем заключается основная цель тезисов?
3. Главное отличие тезисов от остальных научных работ?
4. Назовите три типа тезисов.
5. Какие блоки информации входят в структуру тезисов типа «К постановке проблемы»?
6. Какие блоки информации входят в структуру тезисов типа «Результаты исследования»?
7. Какие блоки информации входят в структуру тезисов типа «Новая методика работы»?
8. Опишите алгоритм написания тезисов.
9. Что характеризует актуальность научного исследования?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кокшарова Т.Е.* Основы научных исследований. Учебное – методическое пособие / Т.Е. Кокшарова. – Улан-Удэ: Изд. ВСГУТУ, 2007. – 111 с.
2. *Андреев Г.И.* Основы научной работы и оформления результатов научной деятельности. Учебное пособие / Г.И. Андреев. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 269 с.
3. *Вольсков Д.Г.* Основы научных исследований: методические указания к выполнению практических работ / Д.Г. Вольсков, Д.В. Мухин. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 131 с.
4. *Рязанов С.И.* Основы организации научных исследований: методические указания / С.И. Рязанов, Е.А. Карев. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 100 с.
5. *Ковальский Е.Р.* Основы научных исследований. Методические указания к расчетно – графическим работам / Е.Р. Ковальский, А.А. Санковский. – СПб: Санкт-петербургский горный университет, 2016. – 26 с.
6. *Бабиюк Г.В.* Основы научных исследований: Курс лекций / Г.В. Бабиюк. – Алчевск: ДонГУ, 2007. – 247 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение.....	3
2	Практическое занятие №1. Организация экспериментальных исследований в химической технологии.....	4
3	Практическое занятие №2. Математическая обработка экспериментальных данных в химической технологии	15
4	Практическое занятие №3. Установление корреляционной и функциональной зависимостей при обработке данных в химической технологии.....	36
5	Практическое занятие №4. Обработка экспериментальных данных в химической технологии по косвенным измерениям.....	40
6	Практическое занятие №5. Описание результатов научных исследований в химической технологии	45
7	Рекомендуемый библиографический список.....	50

**ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИРОДНЫХ
ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 18.03.01*

Сост.: *Э.Ю.Георгиева, М.Ю. Назаренко*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
химических технологий и переработки энергоносителей

Ответственный за выпуск *Э.Ю.Георгиева*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 25.05.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,0. Усл.кр.-отт. 3,0. Уч.-изд.л. 2,8. Тираж 75 экз. Заказ 453.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2