

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

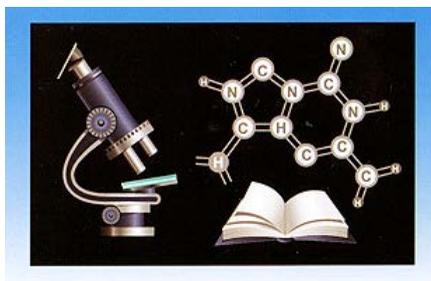
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

**ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНИКА
ЭКСПЕРИМЕНТА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
(профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»)
очной формы обучения



Воронеж 2021

УДК 519.237.5:515.126.2:655.28.02.1(07)
ББК 72.5:22.17я7

Составители: канд. техн. наук, доц. Т. В. Свистова,
канд. техн. наук, доц. Н. Н. Кошелева

Основы научных исследований и техника эксперимента: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Т. В. Свистова, Н. Н. Кошелева. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 45 с.

Методические указания содержат лабораторные работы, посвященные основам научных исследований и технике эксперимента, в них представлены основные приемы и методы, используемые в современной практике при выполнении научных и научно-технических исследовательских работ.

Предназначены для студентов первого курса направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения.

Издание подготовлено в электронном виде и содержится в файле МУ_ЛР_ОНИиТЭ.pdf.

Ил. 6. Табл. 12. Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.237.5:515.126.2:655.28.02.1(07)
ББК 72.5:22.17я7

Рецензент – Е. Ю. Плотникова, канд. техн. наук, доц.
кафедры полупроводниковой электроники
и наноэлектроники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

КОНСПЕКТИРОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Цель работы: получение навыков конспектирования научно-технической литературы.

Используемые материалы: научно-технические журналы.

Теоретические сведения

Изучение специальной литературы (монографий, учебников, учебных пособий, сборников научных трудов и др.) рекомендуется проводить в определенной последовательности. Сначала следует ознакомиться с книгой в общих чертах. Необходимость этого этапа определяется тем, что вовсе не обязательно тратить время на прочтение каждой книги, возможно, вам понадобится лишь отдельная ее часть или даже просто конкретная информация. В этих целях может оказаться достаточным прочитать справочный аппарат издания, который включает: выходные сведения (заглавие, автор, издающая организация, год издания, аннотация, выпускные данные и т.д.); оглавление или содержание: библиографические ссылки и списки; предисловие, вступительную статью, послесловие или заключение. Такое ознакомление с книгой поможет установить, целесообразно ли дальнейшее ее изучение.

Существует два способа чтения книги: беглый просмотр ее содержания и тщательная проработка текста.

Путем беглого просмотра можно ознакомиться с книгой в общих чертах. В результате такого «поискового» чтения может оказаться, что в ней содержится нужная информация и требуется скрупулезно ее изучить.

Тщательная проработка текста заключается не только в полном его прочтении, но и в усвоении, осмыслении, детальном анализе прочитанного. При чтении литературы важно уточнить все те понятия и термины, которые могут быть неправильно или неоднозначно истолкованы. Для этого необхо-

можно обратиться к словарям, справочникам и энциклопедиям, в которых может быть дано их толкование. Вместе с тем, в тексте следует выделить основные положения и выводы автора и доказательства, их обосновывающие.

Если изучается нужная, интересная публикация и требуется тщательная проработка текста, то при отсутствии возможности его скопировать составляется *конспект*. Он представляет собой сжатое изложение существенных положений и выводов автора без излишних подробностей. Кратко и точно записываются определения, новые сведения, точки зрения автора публикации по спорным вопросам, приведенные им аргументы, цифровые данные, а также все то, что может быть использовано для научной работы. При этом рекомендуется в конспекте указывать номера страниц издания, на которых содержится необходимая вам информация, чтобы впоследствии: при написании курсовой и дипломной работы, доклада или статьи можно было сделать ссылку на использованный источник.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Бегло прочитайте статью, исключая обзорные работы и краткие сообщения. Если она содержит аннотацию, преднамеренно не знакомьтесь с ее содержанием. Уясните для себя: общий смысл работы, отметьте наиболее трудные для понимания разделы. Выпишите ее выходные данные (библиографическое описание).

Примеры библиографических описаний для статей из журналов:

1. Брокко О. Высококачественный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь / О. Брокко // Электроника. – 1978. – № 8. – С. 25 – 34.

2. Коробочкин И.Ю. Повышение стойкости линеек при прошивке заготовок из сплавов на основе титана / И.Ю. Коробочкин, А.Н. Смелин, К.К. Ботвиновская // Черная металлургия. –1996. – Вып. 23. – С. 18 – 31.

3. Aplevich J.D. Time-Domain Input-Output Representation

of Linear Systems / J.D. Aplevich // *Automatika*. – 1981. – Vol. 17. № 3. – P. 509 - 522.

4. Иванов И.М. Разработка процессов электрохимической обработки импульсами тока / И.М. Иванов // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2006. Т. 2. № 1. С. 95 – 103.

Задание 2. Внимательно перечитайте статью, выписывая на отдельном листке незнакомые термины и понятия, неясные формулировки и высказывания. Уясните цель работы и ее основную идею, оцените внутреннюю логику изложения материала. Целесообразно представить себе «алгоритм» выполненных в статье исследований, выяснить наличие и смысл «решающего эксперимента». Отметьте заявляемую авторами актуальность и новизну, наиболее впечатляющие части работы, важнейшие ее выводы, выяснить смысл непонятных терминов, установите происхождение неясных формул.

Задание 3. Составьте конспект работы, не прибегая к практике переписывания ее фрагментов. Целесообразно привести приблизительные графические зависимости, если таковые имеются в статье. Особенно тщательно выпишите формульные и табличные данные. Если какие-то положения или данные цитируются авторами, скопируйте выходные данные на ссылки из списка литературы в конце статьи. Необходимо изложить основной смысл работы, избегая мелких ее деталей.

Примерный план конспекта:

1. Актуальность.
2. Цель исследования.
3. Объект исследования.
4. Оборудование.
5. Методика эксперимента.
6. Результаты эксперимента.
7. Глоссарий (выписать из статьи незнакомые термины и найти их толкование).

Глоссарий - (от лат. *glossarium* «собрание глосс») — словарь узкоспециализированных терминов в какой-либо отрасли знаний с толкованием, иногда переводом на другой язык, ком-

ментариями и примерами.

Задание 4. Составьте аннотацию работы.

Аннотация (от лат. *annotatio* «замечание»), **резюме** (от фр. *résumé* «сокращённый») — краткое содержание книги, рукописи, монографии, статьи, патента, фильма, грампластинки или другого издания, а также его краткая характеристика.

Аннотация должна кратко, но максимально чётко передать ключевые мысли, которые автор заложил в своё произведение. Объём работы не должен превышать 500 символов. Это около 5 небольших предложений. В некоторых случаях размер можно увеличить до 600 знаков. Объём аннотации должен быть достаточным для того, чтобы было понятно, как подготавливались образцы, какие были проведены работы и какими методами проводились измерения и расчеты, какие получились результаты, какие следуют из этого выводы.

Важно учитывать, что аннотацию пишут исключительно от третьего лица. Форма повествования должна быть абсолютно безличной, **необходимо избежать** таких фраз, как: *в моей работе вы можете найти...; в этой статье я уделил внимание...; основная идея моей книги...; изучите внимательно мои исследования...*

Примерный план аннотации:

1. Указать, что работа посвящена конкретному исследованию или вопросу.

2. Написать несколько фраз по существу про основной предмет исследования.

3. Написать, на основе каких подходов и анализов автор пришёл к конкретному выводу.

4. Написать несколько предложений о выводах и открытиях, которые сделал автор статьи.

Если автор составляет аннотацию в первый раз, то ему может быть трудно подобрать слова, поэтому многие авторы пользуются **стандартными фразами-шпаргалками**, например:

В статье подробно рассмотрена проблема...

Основная идея работы в том...

В работе даётся сравнительный анализ...
Особое внимание уделяется...
В статье автор подробно анализирует...
Автор приходит к выводу, что...
Работа носит междисциплинарный характер, поскольку написана...

Речь в статье пойдёт о...

Значительное внимание автор статьи уделяет...

В заключение автор рассказывает...

В заключение статьи дан вывод о том...

Пример-образец аннотации.

Автор статьи рассмотрел необходимость и важность защиты персональных данных пользователей Всемирной паутины. Были изучены способы исключения утечки информации и несанкционированного её использования. В заключение работы автор представил наиболее удачные варианты безопасного хранения и оптимизации персональных данных, которые можно использовать в различных организациях и учреждениях.

Контрольные вопросы

1. Что собой представляет научная информация и каковы ее источники?
2. Приведите классификацию изданий.
3. Какие виды научных изданий Вам известны?
4. Какие виды учебных изданий Вам известны?
5. Какие виды справочно-информационных изданий Вам известны?
6. Назовите виды библиотечных каталогов.
7. Дайте характеристику универсальной десятичной классификации (УДК).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Цель работы: получение навыков математической обработки экспериментальных данных.

Используемые материалы: экспериментальные данные для обработки.

Теоретические сведения

Обработка экспериментальных данных проводится с использованием *методов математической статистики*.

Процесс измерения - это сравнение измеряемой величины с эталоном. *Эталоном* - это 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, т.е. содержит погрешность измерения.

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

$$\Delta x = X - x_i. \quad (2.1)$$

Абсолютная точность - понятие идеальное, а в реальных технических изделиях на их функционирование влияет 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 (2.1) нельзя использовать для расчета погрешности, т. к. сама измеряемая величина X нам не-

известна. Погрешность результата зависит от используемого измерительного прибора и условий проведения измерений.

Всевозможные измерения следует разделить 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. В косвенных методах погрешность всегда выше, чем в прямых.

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

Промахи (или *грубые ошибки*) в эксперименте появляются из-за небрежности или некомпетентности исследователя, невнимательности его в работе или плохого знания метода анализа. Для выявления таких ошибок необходимо повторить измерения. *Грубая ошибка должна быть обязательно исключена из экспериментальных данных.*

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. Такие ошибки также должны *быть обнаружены и не допускаться далее в эксперименте*. Отличительная черта систематических погрешностей – возможность их предварительного расчета или полного устранения совершенствованием экспериментальной методики.

Случайные ошибки в отличие от систематических ошибок они *не имеют видимой причины*. Они являются неопределенными по своей природе и величине. В появлении каждой случайной ошибки *не наблюдается какой-либо закономерности*. Общая случайная ошибка *непостоянна по величине, знаку*

и не может быть исключена опытным путем, но её можно вычислить с использованием методов математической статистики.

Математическая обработка результатов исследования включает расчет, как минимум, следующих статистических величин.

Среднее арифметическое значение результатов наблюдения (измерения)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.2)$$

где i – порядковый номер наблюдения $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

x_i - результат отдельного наблюдения (измерения);

n - число наблюдений, объем выборки.

Среднеквадратичное отклонение (СКО)

$$s = \sqrt{s^2} \quad (2.3)$$

где s^2 - дисперсия, равная

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.4)$$

следовательно,

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.5)$$

Величина s всегда положительная. Выражается величина s в тех же единицах измерения, что и среднее арифметическое. Величину s определяют с точностью на один десятичный знак больше точности, принятой в отношении среднего арифметического.

Стандартное отклонение или среднеквадратичная ошибка

оценки ошибка среднего арифметического значения

$$s\{\bar{x}\} = s/\sqrt{n} \text{ при } n > 30; \quad (2.6, \text{ а})$$

$$s\{\bar{x}\} = s/\sqrt{n-1} \text{ при } n < 30. \quad (2.6, \text{ б})$$

Дисперсия среднего значения

$$s^2\{\bar{x}\} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.7)$$

и СКО среднего значения

$$s\{\bar{x}\} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2.8)$$

Величину среднего и его ошибку принято записывать так:
 $\bar{x} \pm s\{\bar{x}\}$.

Ошибка среднего арифметического значения можно выразить в относительных величинах - в процентах (%). В этом случае её называют показателем точности средней арифметической или коэффициентом вариации (ν) и вычисляют по формуле

$$\nu = \frac{s\{\bar{x}\}}{\bar{x}} \cdot 100, \%. \quad (2.9)$$

Для оценки точности проведенных исследований большое значение имеет **доверительный интервал**. Исследования считаются *достоверными*, если результаты эксперимента *не выходят за пределы доверительного интервала*. Этот интервал показывает, в каких пределах колеблется точная величина исследуемого показателя в сравнении с генеральным средним, т. е. истинные величины значения искомой величины X находятся в пределах $(\bar{X} \pm \Delta X)$:

$$\bar{X} - \Delta X \leq X \leq \bar{X} + \Delta X, \quad (2.10)$$

где \bar{X} — генеральное среднее значение; ΔX — доверительная ошибка.

Эти величины рассчитывают только после того, как в серии опытов останутся лишь достоверные результаты.

Истинное значение измеряемой величины с заданной доверительной вероятностью P должно лежать в пределах доверительного интервала $\bar{X} \pm \Delta X$.

Для определения доверительного интервала используется критерий Стьюдента $t(P; f)$:

$$t(P; f) = \left| \frac{\bar{x} - \bar{X}}{s} \right| \sqrt{n}. \quad (2.11)$$

Критерий $t(P; f)$ берется из таблиц в зависимости от заданной доверительной вероятности P или уровня значимости $\alpha = 1 - P$ и числа степеней свободы $f = n - 1$ (см. табл. 2.1).

Для выбора доверительной вероятности можно воспользоваться эмпирическим правилом:

- в особо ответственных случаях $P = 0,99$;
- при обработке аналитических данных $P = 0,95$;
- при обработке данных технологического эксперимента $P = 0,9$.

Доверительный интервал, в котором допустимо принятие гипотезы о равенстве генеральной средней \bar{X} величине \bar{x} с вероятностью $P = 1 - \alpha$, соответствует выполнению условия

$$P \left\{ \bar{x} - t \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \bar{X} \leq \bar{x} + t \frac{s}{\sqrt{n}} \right\} = 1 - \alpha. \quad (2.12)$$

При обработке результатов анализа необходимо все цифры математически обработать, отбросить незначащие цифры - **округлить данные анализа.**

Таблица 2.1

Значение критерия достоверности по Стьуденту

Число степеней свободы (<i>f</i>)	Уровень значимости (α)		
	Уровень вероятности (<i>P</i>)		
	$\alpha=0,1; P=0,90$	$\alpha=0,05; P=0,95$	$\alpha=0,01; P=0,99$
1	6,31	12,71	63,66
2	2,92	4,30	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,02	2,57	4,03
6	1,94	2,45	3,71
7	1,89	2,37	3,50
8	1,86	2,31	3,36
9	1,83	2,26	3,25
10	1,81	2,23	3,17
11	1,79	2,20	3,11
12	1,78	2,18	3,06
13	1,77	2,16	3,01
14	1,76	2,15	2,98
15	1,75	2,13	2,95
16	1,74	2,12	2,92
17	1,74	2,11	2,90
18	1,73	2,10	2,88
19	1,73	2,09	2,86
20	1,72	2,09	2,85

В задачу статистического анализа входит **установление корреляционной зависимости**, 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 .

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 график в координатах по *X* и *Y*.

Коэффициент корреляции рассчитывают по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.13)$$

где x_i и \bar{x} - значение единичного результата и средней арифметической величины одного признака; y_i и \bar{y} - значение единичного результата и средней арифметической величины другого зависимого признака.

При r близком к 0 (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 r указывает на направление связи. Знак плюс означает, что связь между признаками X и Y прямая (положительная), знак минус - связь обратная (отрицательная).

Порядок выполнения работы

Задание 1. Провести по индивидуальному заданию математическую обработку результатов измерений с вероятностью P , если в опыте было проведено восемь измерений и получены результаты, приведенные в табл. 2.2. Номер варианта соответствует номеру фамилии студента в журнале преподавателя.

Вычислить следующие статистические величины:

- 1) среднее арифметическое значение \bar{x} , формула (2.2);
- 2) дисперсию s^2 , формула (2.4)
- 3) среднеквадратичное отклонение единичного результата s , формула (2.5);
- 4) дисперсию $s^2\{\bar{x}\}$ и СКО среднего значения $s\{\bar{x}\}$, формулы (2.7), (2.8).

Результаты расчета свести в таблицу 2.3.

Таблица 2.2

Варианты для выполнения задания 1

Вариант/ Вероятность		Номер измерения/Результат измерения							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1/0,95	11/0,90	3,8	3,7	3,82	3,83	3,78	3,90	3,92	3,84
2/0,90	12/0,95	73,1	74,8	73,3	73,0	74,6	74,6	73,4	73,3
3/0,95	13/0,95	86	87	84	88	87	86	88	89
4/0,90	14/0,90	0,80	0,90	0,86	0,93	0,92	0,88	0,88	0,90
5/0,95	15/0,90	79,6	79,4	80,0	80,2	80,4	80,4	80,5	81,0
6/0,90	16/0,95	3,20	3,15	3,18	3,24	3,30	3,20	3,30	3,25
7/0,95	17/0,90	3,20	3,16	3,19	3,24	3,30	3,40	3,50	3,25
8/0,90	18/0,95	79,4	79,6	80,0	80,4	80,5	80,1	80,3	80,2
9/0,90	19/0,99	3,75	3,76	3,84	3,65	3,78	3,91	3,82	3,84
10/0,95	20/0,90	0,90	0,85	0,93	0,94	0,87	0,88	0,92	0,84

Таблица 2.3

Данные измерений и их обработка

№	x_i	\bar{x}	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	Δx^2	s^2	s
1						
2						
3						
4					$s^2\{\bar{x}\}$	$s\{\bar{x}\}$
5						
6						
7						
8						

5. Рассчитать доверительный интервал случайной погрешности (случайную погрешность)

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{P,f} \cdot s\{\bar{x}\}, \quad (2.14)$$

где $t_{P,f}$ – коэффициент Стьюдента (см. табл. 2.1), который учитывает требуемую доверительную вероятность P и количество проведенных измерений f , на основании которых вычислена величина $s_{\text{ср}}$.

6. Определить абсолютную погрешность измерения с учетом случайной погрешности $\Delta_{\bar{x}}$ и инструментальной погрешности $\Delta_{\text{их}}$

$$\Delta_x = \sqrt{\Delta_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{2}{3}\Delta_{\text{ин}}\right)^2}. \quad (2.15)$$

Множитель «2/3» в выражении учитывает разные доверительные вероятности определения случайной $\Delta_{\bar{x}}$ и инструментальной $\Delta_{\text{ин}}$ погрешностей (в данной лабораторной работе инструментальная погрешность отсутствует).

7. Вычислить относительную погрешность измерения

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta_x}{\bar{x}} \cdot 100 \%. \quad (2.16)$$

8. Используя правила представления результатов измерения, определить количество значащих цифр в абсолютной и относительной погрешностях, и в значении измеряемой величины. Конечный результат измерения записать в виде



Задание 2. Установить корреляционную зависимость между величинами, если в экспериментах были получены результаты, приведенные (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Варианты для выполнения задания 2

Вариант		Результаты эксперимента									
1	11	x	1,0	1,3	2,2	2,6	3,3	3,6	5,3	6,0	
		y	-1,3	-2,2	-2,8	-3,2	-3,8	-4,4	-5,8	-6,5	
2	12	x	0	1	2	3	4	5	6	7	8
		y	19	21	23	28	33	46	60	63	78
3	13	x	5	10	15	20	25	30	35	60	
		y	71,5	75,5	77,1	78,0	78,2	78,3	78,4	78,5	
4	14	x	0	15	30	45	60	90	120		
		y	0	40	52	64	69	73	76		
5	15	x	73,0	74,0	75,0	76,0	77,0	78,0	79,0	80,0	81,0
		y	-2,9	-2,4	-5,0	-2,1	-1,8	-1,6	-1,5	-1,6	-1,4
6	16	x	16	23	26	28	30	36	40		
		y	-0,35	-0,57	-0,61	-0,69	-0,75	-0,81	-0,94		
7	17	x	10	18	20	30	36	40	50	70	
		y	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,18	0,34	0,42	
8	18	x	0	73	85	95	103	115	130		
		y	0,71	0,49	0,43	0,39	0,37	0,35	0,21		
9	19	x	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
		y	9,2	8,6	7,4	6,9	6,2	5,4	4,8	4,2	
10	20	x	5	10	15	20	25	30	45	60	
		y	73,0	76,5	82,0	82,2	82,3	82,3	82,5	82,5	

Для выполнения задания студенту необходимо результаты эксперимента представить графически. Определить коэффициент корреляции r по формуле (2.13). Далее, по его величине и знаку установить направление корреляционной связи и ее тип. Для определения коэффициента корреляции вычисляем

среднее значение $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$. Затем среднее значение $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$.

Далее находим: $\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$; $\sum (x - \bar{x})^2$; $\sum (y - \bar{y})^2$.

Подставим полученные значения в формулу для r .

Контрольные вопросы

1. Цель и задачи математической обработки результатов исследования.
2. Какие ошибки имеют место в измерении величин пока-

зателей эксперимента, назовите ошибки по характеру появления причин?

3. Укажите причины появления промахов и систематических ошибок, способы их устранения.

4. Укажите причины появления случайных ошибок, способы их устранения.

5. Назовите основные статистические величины, которые следует определять при обработке экспериментальных данных.

6. Цель установления корреляционной зависимости, по какому показателю она определяется, и какие значения может иметь данный показатель?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА ПАТЕНТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Цель работы: получение навыков поиска патентной документации, её обработки и оформления результатов.

Используемые материалы: подборка реферативных журналов, периодических журналов по электронике, обзорные статьи и сборники обзоров (на русском языке), материалы сети Интернет.

Теоретические сведения

Патентные исследования проводятся на основе анализа источников патентной информации с привлечением других видов информации, содержащей сведения о последних научно-технических достижениях, связанных с разработкой промышленной продукции, а также о состоянии и перспективах развития рынка продукции данного вида. Вид и объем источников научно-технической информации зависит от объекта и задачи исследований.

Виды патентного поиска:

- 1) патентно-правовой поиск;
- 2) тематический поиск;
- 3) именной (фирменный) поиск;
- 4) нумерационный поиск;
- 5) определение уровня техники (поиск аналогов);
- 6) исследование на патентную чистоту.

Объектами патентного исследования могут выступать:

1. Устройство в целом, а также принцип его работы; функциональные элементы устройства; способ (технология) изготовления устройства и его функциональных элементов; внешний вид устройства (дизайн); новое применение известного устройства.

2. Способ (технологический процесс) в целом, а также отдельные операции способа, если они являются самостоятель-

ным патентоспособным объектом; исходная, промежуточная и конечная продукция и способы ее получения; оборудование, которое используется при осуществлении способа; новое применение известного способа.

3. Вещество (химическое соединение, действующее вещество), препарат (композиция, комбинация действующих веществ), а также структура вещества, его химическая формула, качественный и количественный состав вещества; способ получения вещества; исходные материалы (вещества); отрасли перспективного использования вещества.

Этапы проведения патентных исследований - это

- 1) разработка регламента поиска информации;
- 2) поиск и отбор патентной и другой научно-технической информации в соответствии с утвержденным регламентом;
- 3) систематизация и анализ отобранной информации;
- 4) оформление результатов исследований в виде отчета о патентных исследованиях.

Регламент поиска информации определяет задачи исследования, сроки исполнения и формы отчетности, область проведения поиска по фондам патентной, научно-технической и экономической информации. В регламенте исследования определяется предмет поиска и его классификация в соответствии с Международной патентной классификацией (МПК), Международной классификацией промышленных образцов (МКПО). В нашей стране она ранее именовалась **Международной классификацией изобретений** (МКИ), в настоящее время - **Международной патентной классификацией** (МПК), хотя на практике часто используют оба названия.

В зависимости от цели патентного исследования выбираются страны, по которым будет производиться поиск.

При работе с источниками патентной информации специалист определяет глубину (ретроспективу) поиска, которая зависит от конкретных задач исследования.

Поиск патентной документации можно проводить по материалам, расположенным в сети Интернет.

Патенты США и Японии находятся в свободном доступе

по адресу: www.freepfttentsonline.com. Все патенты Евросоюза доступны по адресу: <http://ep.espacenet.com>. Российские патенты находятся по адресу: <http://ru.espacenet.com>. Федеральный институт промышленной собственности, по фондам которого можно проводить; поиск, находится по адресу <https://www.fips.ru>, там же можно найти много полезной информации по индексам МКИ.

Результатом проведения патентного исследования является Отчет о патентном исследовании, который представляет собой две таблицы: справка о поиске (см. табл. 3.1.) и патентная документация, отобранная для дальнейшего анализа (см. табл. 3.2).

Таблица 3.1

Справка о поиске

Предмет поиска	Страна поиска	Классификационные признаки	По фонду какой организации проведен поиск	Источник информации	
				Научно-техническая документация	Патентная документация
1. Технология импульсного отжига соединенный А ³ В ⁵	Россия США Великобритания Франция Германия Япония	H01L 21/324	Сайт Роспатент. Сайт ФИПС	Реферативный журнал ВИНТИ «Электроника» №1, 2010 – №12, 2020	«Изобретения стран мира» №1, 2010 - №8 2020 Описания изобретений
2. Оборудование для импульсного отжига		B32 B 3/02			

Порядок выполнения работы

Задание 1. По индивидуальной теме (табл. 3.3) провести поиск патентов на сайте Федерального института промышленной собственности (не менее пяти) (см. методические указания к выполнению патентного поиска).

Таблица 3.2

Патентная документация, отобранная
для дальнейшего анализа

Предмет поиска	Страна выдачи, вид и номер охранного документа, Кл. МКИ	Заявитель с указанием страны, номер заявки дата и приоритета, дата публикации	Сущность заявляемого технического решения и цели его создания
1	2	3	4
1. Технология импульсного отжига соединений A^3B^5	Япония Заявка 21930 МКИ ⁵ H01L 21/324	Ниппон денки К.н. Япония, №63- 143151 Приоритет 10.6.68 Опубл. 8.01.90	Термообработка полупроводниковых соединений GaAs, AlGaAs, InAlGaAs излучением ксеноновых ламп в течении 5с при T = 850 - 950 °С. Скорость нагрева 300 К·с ⁻¹ .
2. Оборудование для импульсного отжига	США Пат. 4978567 МКИ ³ B32 В 3/02 МКИ 428/157	Materials Technology Corp., USA. № 175707 Заявл. 31.3.88 Опубл. 18.12.90	Патентуется зажимное приспособление для полупроводниковых пластин, используемое при импульсном отжиге. Приспособление представляется в виде графитового кольца толщиной 0,4 - 0,62 мм с покрытием из SiC и содержит на лицевой стороне углубление для пластины с направленными внутрь периферийными выступами.

Задание 2. Уясните смысл терминов, приведенных в заголовках табл. 3.1 и 3.2 «Справка о поиске», «Патентная документация, отобранная для последующего анализа». Уясните назначение таблиц. Заполните графы таблиц (можно от руки списать в тетрадь или распечатать и вклеить).

Таблица 3.3

Индивидуальная тема для проведения
патентных исследований

Вариант		Индексы МПК	Предмет поиска
1	12	H01F	Магниты, содержащие редкоземельные металлы
2	13	H01F	Электромагниты
3	14	H01K	Лампы накаливания для получения узкого пучка света
4	15	H01L	Конструктивные элементы полупроводниковых приборов, чувствительных к инфракрасному излучению, свету, электромагнитному, коротковолновому или корпускулярному излучению
5	16	H01L	Полупроводниковые приборы по меньшей мере с одним потенциальным барьером или с поверхностным барьером, специально предназначенные для светового излучения со структурой с квантовыми эффектами или сверхрешеткой, например с туннельным переходом
6	17	H01L	Конструктивные элементы переходов термоэлектрических приборов, содержащих переход между различными материалами, т.е. приборы, основанные на эффекте Зеебека или эффекте Пельтье
7	18	H01L	Термоэлектрические приборы без перехода между различными материалами, с использованием температурных изменений диэлектрической постоянной, например приборы, работающие выше и ниже точки Кюри
8	19	H01L	Конструктивные элементы приборов с использованием сверхпроводимости
9	20	H01L	Конструктивные элементы приборов с использованием гальваномагнитных или аналогичных магнитных эффектов (эффект Холла)
10	21	H01L	Приборы с эффектом Ганна
11	22	H01L	Приборы на твердом теле с использованием органических материалов в качестве активной части или с использованием комбинации органических материалов с другими материалами в качестве активной части, специально предназначенные для восприятия инфракрасного излучения, светового, коротковолнового электромагнитного излучения или корпускулярного излучения;

Задание 3. Ознакомьтесь с примерами кратких аннотаций к описаниям изобретений, сравните с содержанием полных описаний.

Методические указания к выполнению задания 1

Заходим на сайт Федерального института промышленной собственности (ФИПС). Для входа:

- открыть сайт <http://www.fips.ru>;
- перейти в раздел «Поиск – Поисковая система»;
- нажать кнопку «Перейти к поиску» (рис. 3.1).

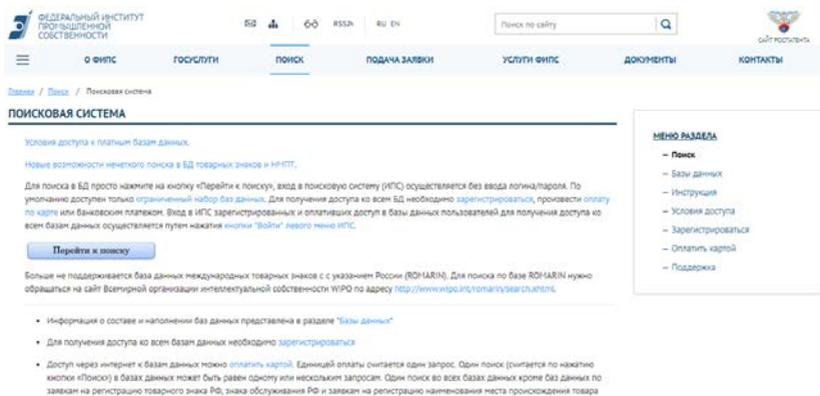


Рис. 3.1. Раздел «Поисковая система»

Затем нужно выбрать базы данных (БД) для поиска (рис. 3.2). Для выбора БД, в которых будет производиться поиск:

- щелкнуть на названии библиотеки (например, «Патентные документы РФ (рус.)»);
- одну или несколько БД из открывшегося списка - поставить флаг (щелкнуть) в квадрате слева от названия БД. Кнопка «?» слева от БД содержит описание данной БД.

Затем выбираем «Перейти к поиску». Открывается окно, где мы должны задать условие поиска. Страница «Поиск» (рис. 3.3) содержит несколько полей для ввода терминов запроса.

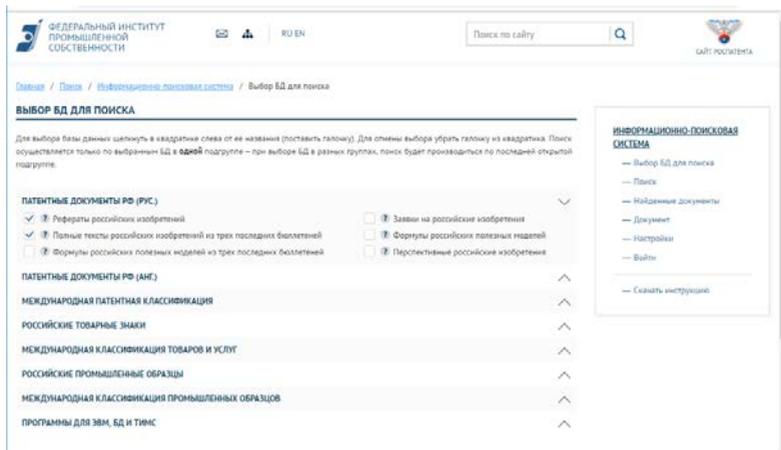


Рис. 3.2. Выбор БД для поиска

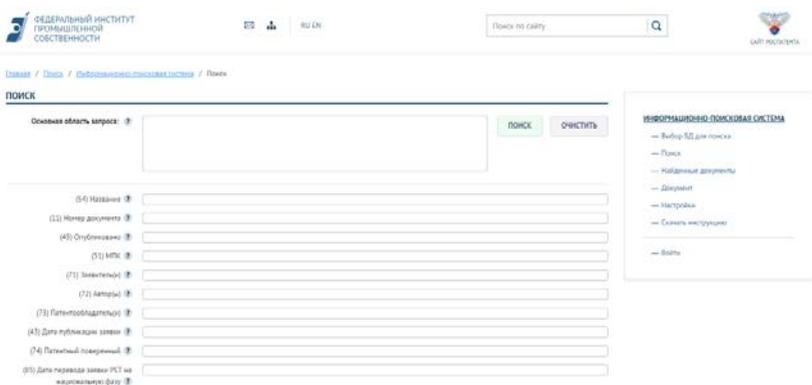


Рис. 3.3. Страница поиска

Слева от каждого окна дана кнопка «?», при нажатии на которую выводится подсказка с указанием части документа или его библиографии, в которой будет проводиться поиск введенных в данное окно терминов, а также правила формулировки запроса в данном поле.

Поиск терминов запроса, введенных в поле «Основная область запроса», производится в реферате, описании, названии и формуле изобретения для полнотекстовых БД, в рефера-

те и названии для реферативных БД и по названиям (воспроизведениям) товарных знаков в БД по товарным знакам.

Для поиска следует:

- ввести искомые термины в одно или несколько полей в зависимости от того, какая информация должна содержаться в искомом документе, например: термин(ы) в «Основной области запроса»; термин(ы) в «Названии» и индекс МПК (МКТУ) в соответствующем поле; индекс МПК (МКТУ), термин в «Основной области запроса», автор и т.п.;

Патенты ищем по коду МПК. Нужный нам код ищем следующим образом. Заходим на сайт <http://www.fips.ru>. Классификаторы доступны в разделе «Официальные публикации – Международные классификации» (рис. 3.4).

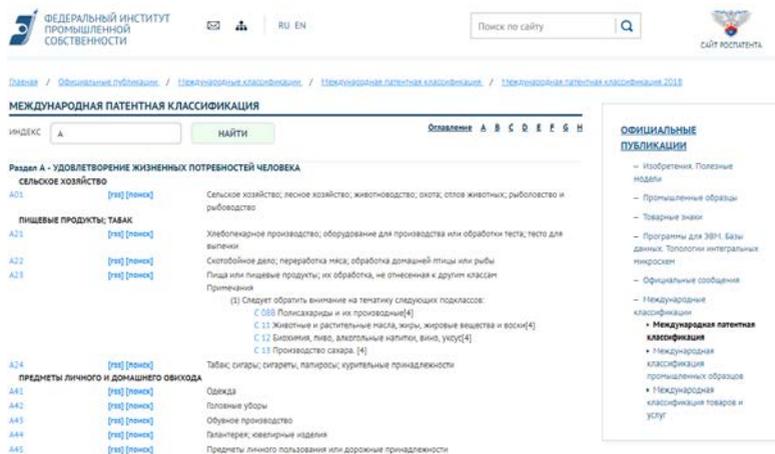


Рис. 3.4. Международная патентная классификация изобретений (МПК)

В МПК можно определить индекс МПК для технического решения путем последовательного просмотра рубрик МПК: класса, подкласса, группы, подгруппы, соответствующих техническому решению.

Открываются 8 разделов, выбираем нужный. Например, Физика G. Затем класс, потом подкласс. Например, *G07B 1/00*

Затем этот адрес вписываем в поле поиска, обязательно убираем пробел. Нажать кнопку «Поиск». Откроется страница «Найденные документы» (рис. 3.5).

Всего найдено: **23482**, доступны первые **4000**
 Время запроса: **0.911 сек.**

Выбранные поисковые базы (количество найденных документов):
 — Рефераты российских изобретений (9718)
 — Полные тексты российских патентов (за исключением текущего квартала) (13764)

Поисковый запрос:
 — Основная область запроса: образцы

№ документа	Дата публикации	Изобретение	Название	Вид документа
1. 151216	(2703.2015)		УСТРОЙСТВО КРЕПЛЕНИЯ ЦИФРОВОГО ПРИЦЕЛА К ИНОСТРАННЫМ ОБРАЗЦАМ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ НА БАЗЕ ТИПА "ПЛАМКА ПИКАТИНИВ"	ПМ
2. 157223	(2711.2015)		ТЕСТ-КАССЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАРКОТИЧЕСКИХ, ПСИХОТРОПНЫХ И САМООДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ РАСТИТЕЛЬНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, А ТАКЖЕ ВОЗЛЕЖЕЙ И ПАТОЛОГИЙ ПО ОБРАЗЦАМ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИВООТНОСЯЩИХ	ПМ
3. 92565	(00.03.2010)		УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗЪЕМЛЕНИЯ ИЗ КОРПУСА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА КОНТЕЙНЕРНОЙ СБОРКИ С ОБЛУЧЕННЫМИ ОБРАЗЦАМИ-СВИДЕТЕЛЬНИ КОРПУСНОЙ СТАЛИ	ПМ

Рис. 3.5. Найденные документы

Открываем найденные патенты, сохраняем, заполняем табл. 3.1, 3.2.

Контрольные вопросы

1. Укажите, что относится к объектам изобретения.
2. Что такое патентные исследования? Какова цель патентных исследований?
3. Кто признается автором изобретения, патентообладателем?
4. Укажите общую характеристику патентной информации.
5. Дайте характеристику международной патентной классификации (МПК).
6. Укажите расшифровку индексов МПК.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель работы: изучить методику планирования и проведения эксперимента.

Используемые материалы: экспериментальные данные для обработки.

Теоретические сведения

На технологические процессы производства изделий электронной техники, с которыми приходится иметь дело исследователю, влияет множество факторов. Для установления влияния каждого из выбранных факторов на интересующий показатель процесса требуется достаточно много материальных ресурсов, времени и труда исследователя. Исследовать влияние на процесс сразу нескольких факторов и получить математическую модель процесса с учётом взаимовлияния на него всех принятых к исследованию факторов возможно при использовании *математических методов планирования эксперимента*.

По теории математического планирования количество опытов в исследовании (N), которое необходимо провести при изменении ряда факторов и их уровней, определяется уравнением:

$$N = l^n, \quad (4.1)$$

где l - уровни изменения факторов; n - количество факторов, принятых к исследованию.

Например, если $l = 5$ и $n = 4$, то $N = 1024$, т. е. требуется поставить уже 1024 опыта. Для проведения такого огромного числа опытов потребуется значительное количество времени и средств. Вот здесь и возникает необходимость использования математических методов планирования эксперимента. Обычно к исследованию в одном эксперименте принимают не более че-

тырех - пяти факторов. Если необходимо исследовать большее число разнородных факторов, то проводят два и более эксперимента, группируя для каждого из них по возможности однородные факторы.

Например. Влияние состава среды и условий плазменной обработки (давление, температура, мощность, обрабатываемая площадь и т. п.) на скорость травления изучить одновременно в одном эксперименте невозможно, поэтому ставят два эксперимента. В рамках первого эксперимента определяется оптимальный состав среды, а затем в рамках второго эксперимента определяются оптимальные условия обработки.

В постановке эксперимента с помощью математических методов применяются понятия **входные** и **выходные параметры**. При этом объект исследования представляется в виде **«черного ящика»**, имеющего некоторое количество входов и выходов (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Представление объекта исследования в виде «черного ящика»: X - входные (управляющие) параметры (факторы); Y - выходные параметры (параметры оптимизации)

Выходной параметр (Y) - это показатель, характеризующий результат исследуемого процесса, иногда его называют выходом процесса.

Выходной параметр, наиболее полно характеризующий результат исследуемого процесса, принято называть **критерием оптимальности** или **параметром оптимизации**. Он может выражаться **целевой функцией**, **критерием оптимальности**, **функцией отклика**, **поверхностью отклика**.

Входные параметры (X) - это те параметры, которые по воле исследователя принимают различные значения (уровни) с целью изменения состояния исследуемого объекта.

Исследователю после выбора объекта изучения и параметра оптимизации необходимо рассмотреть все возможные факторы, которые могут влиять на изучаемый процесс. Первоначально он определяется с факторами качественными - технологические приемы, способы производства, оборудование. Затем исследователь определяется с количественными факторами - температура, давление, расход исходных веществ и др.

При математизации исследований изучение любой системы можно представить, как отыскание функции многих переменных, т. е. исследование **уравнения регрессии** вида:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (4.2)$$

где n - число исследуемых факторов.

Это уравнение описывает некоторую поверхность отклика, т. е. гиперповерхность в $(n + 1)$ -мерном пространстве. Изучение многофакторного процесса (или системы) можно представить, как исследование формы этой поверхности - **поверхности отклика**. Пространство, в котором строится поверхность отклика, называют **факторным пространством**.

Поскольку первоначально истинный вид функции $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ неизвестен, то для описания поверхности отклика используют уравнения, представляющие собой разложение этой функции в степенной ряд, например, квадратичное уравнение:

$$y = b_0 + \sum b_{1i}x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij}x_ix_j + \sum b_{2i}x_i^2 + \dots, \quad (4.3)$$

где x_i, x_j - переменные факторы при $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, i \neq j$; $b_0, b_{1i}, b_{2i}, b_{ij}$ - коэффициенты регрессии при соответствующих переменных, значения которых определяют форму поверхности отклика, т. е. уравнения регрессии.

Наличие в уравнении переменных высших степеней x_i^2, y_j^2 характеризует кривизну поверхности отклика.

Эффективность эксперимента во многом определяется выбором координат центра эксперимента и интервала варьирования факторов. Координаты центра должны соответствовать наилучшим из всех рекомендованных ранее условий протекания процесса.

Самым простым в планировании и проведении эксперимента является **план полного факторного эксперимента** - ПФЭ 2^n , в котором исследуемые факторы (n) изменяются лишь на двух уровнях: верхнем и нижнем. Доступным в УИРС, НИРС и ВКР является план ПФЭ 2^2 или ПФЭ 2^3 , где степень 2 или 3 - количество факторов принятых, к исследованию. Рассмотрим реализацию плана ПФЭ 2^2 в исследовании по условию следующего задания.

Пример задания. Применяя для эксперимента план ПФЭ 2^2 математически описать технологическую операцию в производстве изделий электронной техники и установить адекватность уравнения регрессии, если в эксперименте выбраны значения входных факторов: x_1 - может варьироваться в диапазоне 18 - 26 условных единиц (у. е.); x_2 - 10 - 30 у. е. Исследуемый процесс оценивали по времени достижения результата - выполнения технологической операции (выходной параметр y). Все опыты проведены в двух повторностях (m). Результаты опытов имели следующие значения:

1. $y_1 = 8,2$ мин; 7,8 мин;
2. $y_2 = 7,4$ мин; 7,6 мин;
3. $y_3 = 6,5$ мин; 6,7 мин.;
4. $y_4 = 5,4$ мин; 5,6 мин.

Реализация

1. Строится план эксперимента в натуральных и кодированных значениях факторов. По теории плана ПФЭ 2^2 исследуемые факторы изменяются лишь на двух уровнях: верхнем x_i^+ и нижнем x_i^- .

План эксперимента строится и проводится по правилу:

1-й опыт - нижнее значение по 1-му фактору и нижнее значение по 2-му фактору;

2-й опыт - нижнее значение по 1-му фактору и верхнее значение по 2-му фактору;

3-й опыт - верхнее значение по 1-му фактору и нижнее значение по 2-му фактору;

4-й опыт - верхнее значение по 1-му фактору и верхнее значение по 2-му фактору.

Среднее значение параметра (\bar{y}_k) вычисляется как среднее значение величины времени достижения результата в каждом опыте. Так, для 1-го опыта $\bar{y}_1 = (8,2 + 7,8)/2 = 8,0$ (мин).

2. Для каждого фактора определяется центр эксперимента (x_{i0}) по формуле:

$$x_{i0} = (x_i^+ + x_i^-)/2.$$

Для 1-го фактора $x_{10} = (18 + 26)/2 = 22,0$ у.е.

Для 2-го фактора $x_{20} = (10 + 30)/2 = 20,0$ у.е.

3. Для каждого фактора определяется интервал варьирования (Δx_{i0}) по формуле:

$$\Delta x_{i0} = (x_i^+ - x_i^-)/2 = x_i^+ - x_{i0} = x_{i0} - x_i^-.$$

Для 1-го фактора $\Delta x_{10} = (26 - 18)/2 = 4$ у. е. или $\Delta x_{10} = 22 - 18 = 4$ у. е.

Для 2-го фактора $\Delta x_{20} = (30 - 10)/2 = 10$ у. е. или $\Delta x_{20} = 20 - 10 = 10$ у. е.

4. Значения факторов в натуральных величинах выразить в их кодированных (безразмерных) величинах по формулам:

верхний уровень фактора (обозначается как X_i^+)

$$X_i^+ = (x_i^+ - x_{i0})/\Delta x_{i0};$$

нижний уровень фактора (обозначается как X_i^-)

$$X_i^- = (x_i^- - x_{i0})/\Delta x_{i0}.$$

Для 1-го фактора

$$X_1^+ = (26 - 22)/4 = +1, X_1^- = (18 - 22)/4 = -1.$$

Для 2-го фактора

$$X_2^+ = (30 - 20)/10 = +1, X_2^- = (10 - 20)/10 = -1.$$

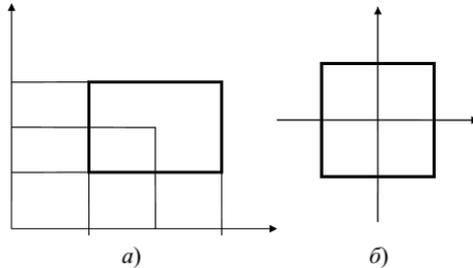
Результаты расчета центра эксперимента и интервала варьирования по каждому фактору заносятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

План постановки и результаты эксперимента

№ опыта (k)	Значения факторов в натуральных величинах		Среднее значение параметра (\bar{y}_k), мин	Значения факторов в кодированных величинах			Среднее значение параметра (\bar{y}_k), мин
	x_1	x_2		X_1	X_2	X_1X_2	
1	18	10	8	-1	-1	+1	8
2	18	30	7,5	-1	+1	-1	7,5
3	26	10	6,6	+1	-1	-1	6,6
4	26	30	5,5	+1	+1	+1	5,5
x_{i0}	22	20					
Δx_{i0}	4	10					

Область исследования факторов (рис. 4.2) графически представляется в виде прямоугольника в системе x_1Ox_2 (натуральная размерность) и в виде квадрата в системе X_1OX_2 (кодированное, безразмерное выражение величин факторов).

Рис. 4.2. Изображение плана ПФЭ 2^2 на плоскости:

a - натуральная размерность факторов;

b - безразмерное выражение величин факторов

5. Для описания исследуемого процесса выбирается математическая модель (уравнение регрессии) и рассчитываются значения коэффициентов в уравнении. По результатам двухфакторного эксперимента можно первоначально выбрать линейное уравнение регрессии, в котором помимо линейных коэффициентов будет коэффициент, учитывающий эффект парного взаимодействия:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2. \quad (4.4)$$

По плану ПФЭ 2^2 количество коэффициентов в линейном уравнении регрессии должно быть равно количеству опытов ($N = 4$), следовательно, должно быть представлено и рассчитано четыре коэффициента. По плану ПФЭ 2^3 в линейном уравнении регрессии должно быть представлено и рассчитано восемь коэффициентов.

Коэффициент b_0 , характеризующий средний выход процесса, рассчитывается по формуле:

$$b_0 = \frac{\sum_{k=1}^N y_k}{N}. \quad (4.5)$$

Коэффициенты b_i или b_1 , b_2 в линейном уравнении регрессии (4.4) рассчитываются по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{k=1}^N y_k X_{ik}}{N}; \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.6)$$

и коэффициенты b_{ij} или b_{12} в линейном уравнении регрессии (4.4) - по формуле:

$$b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N y_k X_{ik} X_{jk}}{N}; \quad (i \neq j; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n). \quad (4.7)$$

По данным эксперимента (табл. 4.1) для расчета значения коэффициента b_0 (4.5) суммируется значение Y по каждому опыту:

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{8,0 + 7,5 + 6,6 + 5,5}{4} = 6,9.$$

Для расчета коэффициента b_1 (4.6) значение y по каждому опыту умножается на кодированную величину фактора X_1 со знаком (+ или -).

$$b_1 = \frac{y_1(-1) + y_2(-1) + y_3(+1) + y_4(+1)}{4} = \frac{-8,0 - 7,5 + 6,6 + 5,5}{4} = -0,85.$$

Для расчета коэффициента b_2 (4.6) значение y по каждому опыту умножается соответственно на кодированную величину X_2 также со знаками (+ или -).

$$b_2 = \frac{y_1(-1) + y_2(+1) + y_3(-1) + y_4(+1)}{4} = \frac{-8,0 + 7,5 - 6,6 + 5,5}{4} = -0,40.$$

Для расчета коэффициента b_{12} (4.7) значение y по каждому опыту умножается соответственно на кодированную величину межфакторного влияния X_1X_2 также со знаками (+ или -):

$$b_{12} = \frac{y_1(+1) + y_2(-1) + y_3(-1) + y_4(+1)}{4} = \frac{8,0 - 7,5 - 6,6 + 5,5}{4} = -0,15.$$

Таким образом, на основании результатов эксперимента исследуемая технологическая операция процесса изготовления изделия электронной техники описывается уравнением:

$$y = 6,9 - 0,85X_1 - 0,40X_2 - 0,15X_1X_2.$$

6. Прежде чем перейти к проверке значимости коэффициентов в полученном уравнении и его достоверности, исследователю следует предварительно проанализировать полученную закономерность по знаку при факторах (X_1 , X_2 и X_1X_2) и значения коэффициентов при них с тем, чтобы убедиться о ранее известной закономерности влияния таких факторов на изучаемый параметр исследуемого процесса.

Так, анализ полученного уравнения позволяет исследователю предварительно сделать следующие выводы:

1) повышение факторов X_1 и X_2 приводит к сокращению времени выполнения технологической операции, о чем свидетельствует знак минус (-) при этих факторах.

2) фактор X_1 более существенно влияет на время выполнения технологической операции, чем фактор X_2 , о чем свидетельствует значение коэффициента при факторе X_1 , равное 0,85, и факторе X_2 - 0,40.

Эти выводы хорошо согласуются с ранее известными закономерностями процесса выполнения технологической операции.

В то же время коэффициент при совместном влиянии факторов (X_1X_2), равный 0,15, может насторожить исследователя, так как значение его меньше, чем при факторах X_1 (0,85) и X_2 (0,40).

Это возможно по двум причинам: во-первых, могла вкратиться арифметическая ошибка в расчетах коэффициента, во-вторых, сказаться неточность в результатах эксперимента. Для устранения первой причины следует внимательно повторно провести расчет этого коэффициента, обратив внимание на знаки при межфакторном взаимодействии факторов X_1X_2 , и y_k всех четырех опытов. Для обнаружения второй причины обязательно требуется проверка значимости коэффициентов в уравнении и его достоверность.

7. Выполняется проверка значимости коэффициента (b_i) в полученной зависимости по следующему условию. Если $|b_i| > \Delta b_i$, то оценка коэффициента (b_i) значимо отличается от нуля, т. е. коэффициент значимый и он остается в уравнении.

Доверительная ошибка Δb_i рассчитывается по уравнению

$$\Delta b_i = t(P;f)s(b_i). \quad (4.8)$$

где t - критерий Стьюдента как функция от P и f ; P - заданный уровень вероятности, обычно 0,95 или 0,90; f - число степеней свободы, равное числу измерений n минус 1 ($n - 1$); $s(b_i)$ - стандартное отклонение.

Для определения величины стандартного отклонения, рассчитываемой как корень квадратный из дисперсии $s^2(b_i)$, требуется провести ряд расчетов.

7.1. Определить построчную оценку дисперсии воспроизводимости единичного результата измерения в каждом опыте:

$$s^2(y_{kl}) = \frac{1}{(m_k-1)} \sum_{l=1}^{m_k} (y_{kl} - \bar{y}_k)^2, \quad (4.9)$$

где y_{kl} - единичный результат измерения величины в каждом опыте (k) и его повторности (m); \bar{y}_k - средний результат измерения величины в каждом опыте (k) и его повторности (m).

7.2. Определить среднюю для всего эксперимента дисперсию воспроизводимости единичного результата при $m_k = \text{const}$:

$$s^2(y_l) = \frac{1}{N(m-1)} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^{m_k} (y_{kl} - \bar{y}_k)^2, \quad (4.10)$$

где N - количество опытов в эксперименте; m - число повторностей измерения величины в каждом опыте.

7.3. Рассчитать среднюю для всего эксперимента дисперсию воспроизводимости среднего значения выхода, которая в каждой строке будет в m раз меньше дисперсии $s^2(y_l)$.

$$s^2(\bar{y}) = \frac{s^2(y_l)}{m}. \quad (4.11)$$

7.4. Рассчитать дисперсию среднего по каждому определяемому коэффициенту уравнения:

$$s^2(b_i) = \frac{s^2(\bar{y})}{N}. \quad (4.12)$$

7.5. Определить стандартное отклонение:

$$s(b_i) = \sqrt{s^2(b_i)}. \quad (4.13)$$

Для облегчения расчетов по формуле (4.9) целесообразно промежуточные значения представить в виде табл. 4.2.

Далее расчет требуемых величин ведется по сумме значений величин графы 7 (0,14).

Средняя для всего эксперимента оценка дисперсии воспроизводимости единичного результата по формуле (4.10)

$$s^2(y_l) = \frac{0,14}{4(2-1)} = 0,035.$$

Таблица 4.2

Промежуточные значения обработки данных эксперимента

Номер опыта (k)	$ y_{k1} - \bar{y}_k $	$ y_{k2} - \bar{y}_k $	$(y_{k1} - \bar{y}_k)^2$	$(y_{k2} - \bar{y}_k)^2$	$\sum_{i=1}^n (y_{ki} - \bar{y}_k)^2$	$s^2(y_{ki})$
1	2	3	4	5	6	7
1	7,8-8=0,2	8,2-8=0,2	0,04	0,04	0,08	0,08
2	7,4-7,5=0,1	7,6-7,5=0,1	0,01	0,01	0,02	0,02
3	6,5-6,6=0,1	6,7-6,6=0,1	0,01	0,01	0,02	0,02
4	5,4-5,5=0,1	5,6-5,5=0,1	0,01	0,01	0,02	0,02
Итого						0,14

Примечание. Так как в рассматриваемом задании количество повторностей каждого опыта равно 2, то в формуле для $s^2(y_{ki})$ знаменатель равен 1 и числа в графе 7 равны числам в графе 6.

Средняя для всего эксперимента дисперсия воспроизводимости среднего значения выхода по формуле (4.11)

$$s^2(\bar{y}) = \frac{0,035}{2} = 0,0175.$$

Дисперсия среднего по каждому определяемому коэффициенту уравнения по формуле (4.12)

$$s^2(b_i) = \frac{0,0175}{4} = 0,0044.$$

Стандартное отклонение по формуле (4.13)

$$s(b_i) = \sqrt{0,0044} = 0,066.$$

Для рассматриваемого примера $P = 0,95$, $f = (8 - 1) = 7$, поэтому критерий Стьюдента $t(0,95; 7) = 2,37$ и доверительная ошибка (4.5) $\Delta b_i = 2,37 \cdot 0,066 = 0,156$.

Значения величин всех коэффициентов в полученном уравнении сравниваются с рассчитанной величиной доверительной ошибки (0,156).

$$y = 6,9 - 0,85X_1 - 0,40X_2 - 0,15X_1X_2$$

$|b_0| = 6,9$ больше 0,156 - коэффициент значимый,

$|b_1| = 0,85$ больше 0,156 - коэффициент значимый,

$|b_2| = 0,40$ больше 0,156 - коэффициент значимый,

$|b_{12}| = 0,15$ меньше 0,156 - коэффициент не значимый и он исключается из уравнения.

Таким образом, полученное уравнение после проверки значимости коэффициентов будет иметь вид:

$$y = 6,9 - 0,85X_1 - 0,40X_2$$

8. По теории математического планирования эксперимента, если число значимых коэффициентов хотя бы на единицу меньше числа опытов, то появляется необходимость (и возможность) статистической проверки адекватности уравнения экспериментальным данным. Эта проверка осуществляется по критерию Фишера, но предварительно выполняются следующие действия:

1) рассчитывают выход y для каждого варианта опыта по полученному уравнению, в котором исключены незначимые члены;

2) находят разности $y_k - \bar{y}_k$;

3) рассчитывают дисперсию неадекватности по формуле

$$s_{ад}^2 = \frac{1}{N-N'} \sum_{k=1}^N |y_k - \bar{y}_k|; \quad (4.14)$$

где N' - число значимых коэффициентов в уравнении регрессии;

4) рассчитывают F -отношение по формуле

$$F = \frac{s_{ад}^2}{s^2(\bar{y})}; \quad (4.15)$$

5) сравнивают полученное значение F -отношения со значением Фишера (табл. 4.3).

В таблице критерий Фишера дан в виде табличного критерия зависимости $F_T(P; f_1; f_2)$ от числа степеней свободы $f_1 = N - N'$ при определении дисперсии неадекватности и $f_2 = N(m - 1)$ при определении средней дисперсии воспроизводимости *единичного измерения* $s^2(y)$, равного числу степеней свободы в определении средней дисперсии воспроизводимости *среднего* $s^2(y)$.

Если $F > F_T$, то уравнение неадекватно описывает экспериментальные данные. Такое уравнение не может служить хо-

рошей основой для поиска оптимальных условий. В подобной ситуации исследователь должен найти ответ на вопрос о причинах получения недостаточно точного уравнения процесса. Наиболее часто встречающаяся причина - арифметические ошибки.

Таблица 4.3

Значение критерия Фишера F_T для уровня значимости $\alpha = 0,05$

Число степеней свободы знаменателя f_2	Число степеней свободы числителя f_1			
	1	2	3	4
1	161,4	199,5	215,7	224,6
2	18,5	19,0	19,2	19,3
3	10,1	9,6	9,3	9,1
4	7,7	6,9	6,6	6,4
5	6,6	5,8	5,4	5,2
6	6,0	5,1	4,8	4,5

Для проверки адекватности уравнения $y = 6,9 - 0,85X_1 - 0,40X_2$ по критерию Фишера предварительно выполняются следующие действия.

Находят выход y_k для каждого опыта по данному уравнению с учетом значений кодированных величин факторов в каждом опыте (см. табл. 4.1):

для 1-го опыта $y_1 = 6,9 - 0,85(-1) - 0,40(-1) = 6,9 + 0,85 + 0,40 = 8,15$;

для 2-го опыта $y_2 = 6,9 - 0,85(-1) - 0,40(+1) = 6,9 + 0,85 - 0,40 = 7,35$;

для 3-го опыта $y_3 = 6,9 - 0,85(+1) - 0,40(-1) = 6,9 - 0,85 + 0,40 = 6,45$;

для 4-го опыта $y_4 = 6,9 - 0,85(+1) - 0,40(+1) = 6,9 - 0,85 - 0,40 = 5,65$.

Находят разности $|y_k - \bar{y}_k|$:

для 1-го опыта $|8,15 - 8,0| = 0,15$;

для 2-го опыта $|7,35 - 7,5| = 0,15$;

для 3-го опыта $|6,45 - 6,6| = 0,15$;

для 4-го опыта $|5,65 - 5,5| = 0,15$.

Рассчитывают дисперсию неадекватности по формуле (4.14):

$$s_{\text{ад}}^2 = \frac{0,15^2 + 0,15^2 + 0,15^2 + 0,15^2}{4 - 3} = \frac{0,09}{1} = 0,09.$$

Рассчитывают F -отношение по формуле (4.15):

$$F = \frac{0,09}{0,0175} = 5,14.$$

Сравнивают значение F со значением $F_T(P; f_1; f_2)$ критерия Фишера из табл. 4.3. Из табл. 4.3 при $f_1 = N - N' = 4 - 3 = 1$; $f_2 = N(m - 1) = 4(2 - 1) = 4$ и уровне вероятности 0,95 (или значимости $\alpha = 1 - P = 1 - 0,95 = 0,05$) критерий Фишера $F_T(0,95; 1; 4)$ имеет значение, равное 7,7.

Результат сравнения табличного значения критерия Фишера $F_T(7,7)$ с рассчитанным критерием $F(5,14)$ удовлетворяет неравенству $F < F_T$. На этом основании с вероятностью 0,95 делается вывод, что уравнение $y = 6,9 - 0,85X_1 - 0,40X_2$ адекватно описывает экспериментальные данные и может служить хорошей основой для поиска оптимальных значений факторов исследуемого процесса.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Описать технологическую операцию в производстве изделий электронной техники (табл. 4.4), указать факторы и их уровни, а также параметры оптимизации при исследовании процесса. Номер варианта соответствует номеру фамилии студента в журнале преподавателя.

Задание 2. Применяя для эксперимента план ПФЭ 2^2 математически описать процесс, представленный результатами в табл. 4.5, и установить адекватность уравнения регрессии при выбранных значениях входных факторов: x_1 (у. е.); x_2 (у. е). Исследуемый процесс оценивали по выходному параметру y . Все эксперименты опыты проведены в двух повторностях (m). Результаты опытов имели следующие значения: y_1 ; y_2 ; y_3 ; y_4 . Но-

мер варианта соответствует номеру фамилии студента в журнале преподавателя.

Таблица 4.4

Технологическая операция в производстве изделий
электронной техники

Вариант		Технологическая операция
1	12	Термическое окисление кремния
2	13	Жидкостное травление
3	14	Плазмохимическое травление
4	15	Ионно-лучевое травление
5	16	Вакуум-термическое осаждение
6	17	Магнетронное распыление
7	18	Химическое осаждение из газовой фазы
8	19	Диффузионное легирование
9	20	Ионная имплантация
10	21	Нанесение фоторезиста
11	22	Экспонирование фоторезиста

Таблица 4.5

Результаты эксперимента

Вариант		Значения входных факторов		Результаты эксперимента							
		x1	x2	y1		y2		y3		y4	
1	12	18 - 24	10 - 40	8,0	7,8	7,4	7,2	6,6	6,4	5,4	5,2
2	13	16 - 22	1 - 10	10,2	10,8	8,4	8,8	7,1	7,3	6,4	6,2
3	14	32 - 36	1,5 - 3,5	50	48	40	36	32	30	29	27
4	15	12 - 70	17 - 25	0,1	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08	0,06	0,04
5	16	70 - 98	5 - 20	98	97,6	98,8	98,6	99,2	99,4	99,8	99,9
6	17	28 - 36	1 - 10	58	56	65	67	70	72	79	77
7	18	26 - 38	3 - 10	78	76	74	73	68	70	66	68
8	19	40 - 70	10 - 18	2,0	2,2	2,4	2,6	3,4	3,2	2,6	2,8
9	20	28 - 36	1 - 3,0	42	45	36	38	32	29	26	28
10	21	65 - 80	36 - 50	78	76	70	72	64	66	80	78
11	22	19 - 25	0,2 - 1,0	7,2	7,4	6,4	6,6	5,8	5,6	5,4	5,6

Контрольные вопросы

1. Что предполагает математизация исследований в НИР, при решении каких задач она дает наибольший эффект?
2. Сущность интерполяционной задачи экспериментальных исследований.
3. Сущность оптимизационной задачи экспериментальных исследований.
4. Выходные параметры и параметры оптимизации для технологических исследований.
5. Основные требования, предъявляемые к параметру оптимизации.
6. Сущность плана ПФЭ 2^2 и принципы его построения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Губин В.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных: учебное пособие / В.И. Губин, В.Н. Осташков. - Тюмень: Изд-во «ТюмГНГУ», 2007. - 202 с.
2. Рыжков И.Б. Основы научных исследований и изобретательства: учебное пособие / И.Б. Рыжков. - СПб.: Издательство «Лань», 2013. - 224 с.
3. Сабитов Р.А. Основы научных исследований: учеб. пособие / Р.А. Сабитов. - Челябинск, 2002. - 138 с.
4. Сафин Р.Г. Основы научных исследований. Организация и планирование эксперимента: учебное пособие / Р.Г. Сафин, А.И. Иванов, Н.Ф. Тимербаев. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2013. – 156 с.
5. Шевелева Г.И. Патентование и основы научных исследований: учебное пособие / Г.И. Шевелева. – Кемерово, 2003. - 80 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. Конспектирование научно-технической литературы.....	3
Лабораторная работа № 2. Математическая обработка экспериментальных данных.....	8
Лабораторная работа № 3. Изучение и обработка патентной документации.....	19
Лабораторная работа № 4. Математические методы планирования эксперимента.....	28
Библиографический список	43

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
(профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»)
очной формы обучения

Составители:

Свистова Тамара Витальевна
Кошелева Наталья Николаевна

Редактор Е. А. Четвертухина

Подписано к изданию 29.09.2021.
Уч.-изд. л. 2,8.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14