

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Приборостроение и биомедицинская инженерия»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ НИОКР»

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2021

Методические указания для проведения практических занятий по дисциплине «Планирование и организация НИОКР» / сост. Н.С. Коваль,— Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. – 62 с.

Приведены задания и методические указания для проведения практических занятий по дисциплине «Планирование и организация НИОКР».

Предназначены для магистров всех форм обучения направления подготовки 12.04.04 Биотехнические системы и технологии, 12.04.01 Приборостроение.

УДК 681

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Научный редактор канд. техн. наук, доцент И.К. Цыбрий

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Приборостроение  
и биомедицинская инженерия» канд. техн. наук, доцент К.А.Мороз

---

В печать \_\_\_\_ . \_\_\_\_ .20 \_\_\_\_ г.

Формат 60×84/16. Объем \_\_\_\_ усл. п. л.

Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_.

---

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2021

## **Практическое занятие №1**

### **«Содержание и порядок проведения патентных исследований. Классификационные индексы УДК и МПК»**

**1.1 Цель работы:** ознакомление с содержанием и порядком проведения патентных исследований, иерархической структурой и принципами построения классификационных индексов МПК и УДК. Приобретение практических навыков работы с классификационными индексами МПК и УДК при проведении патентных исследований:

-выявление технических, конструкторских, программных и других решений, созданных в процессе выполнения НИР и ОКР при подготовке диссертационной работы.

-исследование патентной чистоты объекта патентирования, полученного в процессе выполнения НИР и ОКР при подготовке диссертационной работы.

#### **1.2. Основные теоретические сведения.**

**Патентные исследования** – исследования технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности на основе патентной и другой информации.

**Патентная чистота** - юридическое свойство технического объекта, заключающееся в том, что он может быть свободно использован в определенной стране без опасности нарушения действующих на территории этой страны патентов, принадлежащих третьим лицам.

По своему характеру и содержанию патентные исследования относятся к прикладным научно-исследовательским работам и являются неотъемлемой составной частью обоснования принимаемых решений, связанных с созданием, производством, реализацией, совершенствованием, использованием, ремонтом и снятием с производства технических объектов.

В зависимости от практической потребности патентные исследования проводят:

– **заказчик (основной потребитель)** – при прогнозировании, перспективном и текущем планировании, определении направлений, темпов развития средств технического обеспечения своей деятельности;

– **исполнитель научно-исследовательских работ** – при прогнозировании, перспективном и текущем планировании научных исследований, выборе направлений исследований для создания новых и модернизации существующих объектов техники;

– **исполнитель (разработчик, проектант, проектировщик)** – при обосновании необходимости выполнения конкретных работ; в процессе выполнения опытно-конструкторских, проектно-конструкторских, проектных, технологических, изыскательских и других работ и их этапов;

– **изготовитель (поставщик)** – при перспективном и текущем планировании развития производства или его модернизации, постановке продукции на производство, при решении вопросов повышения качества

продукции, совершенствования технологии, материального, технологического обеспечения производства, приобретения зарубежного оборудования и лицензий;

**В общем случае целью проведения патентных исследований может являться:**

- исследование технического уровня объектов хозяйственной деятельности, выявление тенденций, обоснование прогноза их развития;
- исследование состояния рынков данной продукции;
- исследование требований потребителей к продукции;
- исследование направлений научно-исследовательской и производственной деятельности организаций и фирм;
- выявление торговых марок, используемых фирмой- конкурентом;
- выбор оптимальных направлений развития научно-технической, производственной и коммерческой деятельности предприятия,
- обоснование конкретных требований по совершенствованию существующей и созданию новой продукции и технологии, а также организации выполнения услуг;
- технико-экономический анализ и обоснование выбора технических, художественно-конструкторских решений.
- обоснование предложений о целесообразности разработки новых объектов промышленной собственности для использования в объектах техники.
- выявление технических, художественно-конструкторских, программных и других решений, созданных в процессе выполнения НИР и ОКР с целью отнесения их к охраноспособным объектам интеллектуальной собственности;
- исследование патентной чистоты объектов техники;
- анализ конкурентоспособности объектов хозяйственной деятельности;
- выявление и отбор объектов лицензий и услуг типа инжиниринг;
- исследование условий реализации объектов хозяйственной деятельности, обоснование мер по их оптимизации;

**Порядок выполнения патентных исследований установлен ГОСТ Р 15.011-96 и включает:**

- определение задач патентных исследований, видов исследований и методов их проведения и разработку задания на проведение патентных исследований;
- определение требований к поиску патентной и другой документации, разработку регламента поиска;
- поиск и отбор патентной и другой документации в соответствии с утвержденным регламентом и оформление отчета о поиске;
- систематизацию и анализ отобранной документации;
- обоснование решений задач патентными исследованиями; обоснование предложений по дальнейшей деятельности хозяйствующего субъекта, подготовка выводов и рекомендаций;
- оформление результатов исследований в виде отчета о патентных исследованиях.

**Задание на проведение патентных исследований** разрабатывают исполнители работы и патентное подразделение, и утверждает ответственный руководитель работы (например, руководитель научно-исследовательской работы, главный или генеральный конструктор опытно-конструкторской работы, главный инженер проекта) применительно к работе в целом и (или) отдельному ее этапу.

**Регламент поиска** разрабатывают исполнители работы и патентное подразделение в соответствии с заданием на проведение патентных исследований применительно к работе в целом и (или) к каждому ее этапу, при выполнении которых необходимы патентные исследования. В регламенте поиска определяют следующие данные:

- предмет поиска (технический объект в целом, его составные части, узлы или элементы, т.е. устройство, технический процесс, вещество);
- страны поиска;
- ретроспективность (глубина поиска);
- классификационные индексы объекта техники, технического процесса или вещества по МПК, НПК и УДК, а также по международной классификации промышленных образцов (МКПО).

**Глубина поиска** или **ретроспективность информации** – это число лет, по которым будет вестись поиск, отсчитываемое от года, в котором осуществляется поиск. Глубина поиска зависит от цели патентных исследований. При экспертизе на патентную чистоту глубину поиска принимают равной сроку действия патентов в стране поиска. Этот срок в большинстве стран составляет 20 лет.

**Широта поиска** – это перечень стран, по которым предполагается вести поиск. Она также зависит от цели патентных исследований. Например, при определении технического уровня или новизны объекта выбирают страны с наиболее развитой областью техники, к которой относится объект. В этих странах может быть наиболее полная информация об исследуемой области техники.

В ходе проведения патентных исследований требуется для каждого предмета поиска определить классификационные рубрики. С этой целью используют универсальную десятичную классификацию (УДК ГОСТ 7.90-2007), а для поиска патентной документации – международную патентную классификацию (МПК).

**УДК** – международная классификационная система знаний, объединяющая все отрасли знаний в единой универсальной структуре с общей десятичной нотацией. Предназначена УДК главным образом для индексирования и поиска сведений в документальных массивах по содержательным признакам. УДК состоит из основной таблицы и таблиц общих определителей. В состав таблиц УДК может входить алфавитно-предметный указатель.

**Алфавитно-предметный указатель** (alphabetical subject index): Алфавитный перечень основных понятий, входящих в классы

классификационной системы с указанием соответствующего кода класса и аспекта (при необходимости).

Основная классификационная таблица построена по тематическому принципу и включает следующие основные деления УДК (см. таблицу 1).

Таблица 1 - Основные деления УДК

Код раздела	Наименование (содержание) раздела
0	Общий отдел. Наука и знание. Информация. Документация. Библиотечное дело. Организация. Публикации в целом
1	Философия. Психология
2	Религия. Богословие
3	Общественные науки
4	(Резерв для будущего применения)
5	Математика. Естественные науки
6	Прикладные науки. Медицина. Технология
7	Искусство. Фотография. Музыка. Игры. Спорт
8	Языкознание. Лингвистика. Художественная литература. Литературоведение
9	География. Биографии. История

Таблица общих определителей построена на основе выделения классов документов по признакам, не зависящим от их тематики. Она включает в себя коды и наименования определителей, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Коды и наименования определителей

Начало кода определителей	Наименование определителей
= ...	Общие определители языка
(0...)	Общие определители формы документа
(1), ..., (9)	Общие определители места
(=...)	Общие определители народов (рас, этнических групп и национальностей)
"..."	Общие определители времени
-02	Свойства
-03	Материалы
-04	Отношения, процессы, операции
-05	Лица, занятые или связанные с чем-либо, имеющие отношение к чему-либо. Личные характеристики

Указанные в таблицах 1 и 2 коды разделов основных таблиц являются классификационными кодами тематики этих разделов. В перечне общих определителей перед наименованием таблицы указан символ, которым обозначаются классы данного фасета. Обозначение каждого класса начинается с указанных символов и продолжается десятичными цифрами, обозначающими подразделения класса. Если индекс определителя открывается скобкой или кавычкой, то в конце цифрового кода определителя ставится соответствующая закрывающая скобка или кавычка.

В основной классификационной таблице классы обозначаются

десятичными цифрами без дополнительных символов.

Каждая таблица УДК состоит из последовательности записей классов. Каждая запись определяет некоторую область знания. Основными элементами записи являются код (индекс) класса и описание класса. Кроме того, в записи могут содержаться дополнительные элементы: методические указания, ссылки, примеры. Одним из главных принципов построения УДК является иерархическое соподчинение друг другу большинства разделов основных и вспомогательных таблиц в процессе деления понятий от общего к частному и использование цифрового десятичного кода, отражающего структуру соподчинения классов. Каждый уровень деления обозначается одной десятичной цифрой. Класс первой ступени деления содержит группу более или менее близких наук, например 6 - прикладные науки: технику, сельское хозяйство, медицину. Последующая детализация идет за счет удлинения индексов. При этом каждая последующая добавляемая цифра не меняет значения предыдущих, а лишь уточняет, обозначая более частное понятие. Для удобства чтения длинных последовательностей цифр после каждой третьей цифры ставится точка, не имеющая содержательного значения. Например, индекс тематики "Коррозия под воздействием щелочей" 620.193.423 складывается следующим образом:

6 ПРИКЛАДНЫЕ НАУКИ. МЕДИЦИНА. ТЕХНОЛОГИЯ

62 ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО. ТЕХНИКА В ЦЕЛОМ

620 ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ. ТОВАРОВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА

620.1 Испытания материалов. Дефекты материалов. Защита материалов

620.19 Дефекты материалов и их выявление (контроль)

620.193 Физические и химические воздействия. Коррозия. Коррозионная  
стойкость

620.193.4 Химическая коррозия. Воздействие различных агрессивных  
сред

620.193.42 Воздействие неорганических щелочных жидкостей

620.193.423 Воздействие щелочей на материалы. Хрупкость,  
вызываемая выщелачиванием

При индексировании документов по УДК следует соблюдать правила методики индексирования, описанные в ГОСТ 7.90-2007.

**МПК** охватывает все области знаний, объекты которых могут подлежать защите охраняемыми документами. Определение МПК рекомендуется осуществлять в патентной базе Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федерации ([www1.fips.ru](http://www1.fips.ru)). МПК разделена на восемь разделов. Разделы представляют собой высший уровень иерархии МПК.

Каждый раздел обозначен заглавной буквой латинского алфавита от А до Н и называется **индексом раздела**. Далее указывается **заголовок раздела**,

приблизительно отражающий его содержание. Разделы имеют следующие названия:

**А** удовлетворение жизненных потребностей человека

**В** различные технологические процессы; транспортирование

**С** химия; металлургия

**Д** текстиль; бумага

**Е** строительство и горное дело

**Ф** машиностроение; освещение; отопление; оружие и боеприпасы; взрывные работы

**Г** физика

**Н** электричество

Внутри разделов родственные классы условно объединяются в *подразделы*, которые не обозначаются индексами. Например:

Раздел А (УДОВЛЕТВОРЕНИЕ ЖИЗНЕННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА) содержит следующие подразделы:

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ; ТАБАК

ПРЕДМЕТЫ ЛИЧНОГО И ДОМАШНЕГО ОБИХОДА

ЗДОРОВЬЕ; СПАСАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА; РАЗВЛЕЧЕНИЕ

Каждый раздел делится на *классы*. Классы являются вторым уровнем иерархии МПК. **Индекс класса** состоит из индекса раздела и двузначного числа.

Например: Н01. **Заголовок класса** отражает содержание класса.

Например: Н01 ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Каждый класс содержит один или более *подклассов*. Подклассы представляют собой третий уровень иерархии МПК. **Индекс подкласса** состоит из индекса класса и заглавной буквы латинского алфавита. Например: Н01S. **Заголовок подкласса** с максимальной точностью определяет содержание подкласса.

Например: Н01S УСТРОЙСТВА СО СТИМУЛИРОВАННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

**Указатель содержания подкласса.** Большинство подклассов снабжено кратким перечнем относящихся к ним тематик. Электронная версия МПК позволяет пользователю просматривать содержание подкласса в порядке усложнения тематики.



**Подзаголовок.** Если большая часть подкласса относится к общей тематике, перед началом этой части может вводиться подзаголовок, определяющий эту общую тематику.

Каждый подкласс разбит на подразделения, которые в дальнейшем именуются *группами*. В свою очередь группы делятся на основные группы (т.е. четвертый иерархический уровень Классификации) и подгруппы (т.е. более низкие уровни иерархии по сравнению с уровнем основных групп Классификации).

**Индекс группы** МПК состоит из индекса подкласса, за которым следуют два числа, разделенные наклонной чертой.

**Индекс основной группы** состоит из индекса подкласса, за которым следует одно-, двух- или трехзначное число, наклонная черта и два нуля. Например: **H01S 3/00**

**Заголовок основной группы** точно определяет тематическую область, внутри содержания своего подкласса, которая считается целесообразной для проведения поиска. В МПК текст и индексы основных групп выделены жирным шрифтом.

Например: **H01S 3/00 Лазеры**

**Индекс подгруппы** — Подгруппы расположены в классификационной схеме так, как будто их номера являются десятичными дробями числа, стоящего до наклонной черты. Например, подгруппа с индексом 3/036 должна стоять после подгруппы 3/03, но перед подгруппой 3/04; подгруппа с индексом 3/0971 должна находиться после подгруппы 3/097, но перед подгруппой 3/098. Например: **H01S 3/02 Лазеры**

Подгруппы в схеме МПК размещены в порядке их номеров в виде дроби с изменяемым знаменателем (числитель обозначает индекс главной группы и не изменяется). Например, 3/036 располагается за 3/03 и перед 3/04, а 3/0971 — после 3/097 и перед 3/098.

**Заголовок подгруппы** точно определяет тематическую область в пределах объема ее основной группы, в которой считается наиболее целесообразным проведение поиска. Перед заголовком подгруппы ставится одна или более точек, которые определяют иерархическое положение подгруппы (или степень ее подчиненности основной группе), т.е. указывают на то, что каждая подгруппа является подразделением, подчиненным ближайшей вышестоящей рубрике, имеющей на одну точку меньше.

Полный классификационный индекс состоит из комбинации символов, используемых для обозначения раздела, класса, подкласса и основной группы или подгруппы (табл.3).

Патентные исследования проводятся по следующим базам данных патентных документов:

1. Бесплатная база данных патентных документов Российской Федерации на сайте [www1.fips.ru](http://www1.fips.ru). В базу данных входят:

- полные тексты патентных документов России (приведены в разделе «Открытые реестры», в которых по номеру документа можно получить полное описание российского патента, как по изобретениям, так и по полезным моделям, промышленным образцам и др.).

Таблица 3 – Структура классификационных индексов

А	01	В	33/00	Основная группа – 4-ый уровень
Раздел – 1ый уровень			или	
	Класс – 2ой уровень		33/08	Подгруппа – более низкий уровень
		Подкласс – 3ий уровень		
			Группа	

- рефераты патентных документов России (с 1994 г.) где по индексу классификации, по ключевым словам можно провести поиск.

- рефераты полезных моделей России (с 1994 г.), где по индексу классификации, по ключевым словам можно провести поиск.

- рефераты патентных документов России на английском языке (с 1994 г.)

2. Международные классификации, в которых можно найти классификационные индексы.

3. Электронные бюллетени. Российский сегмент Интернет-сервиса [esp@cenet](mailto:esp@cenet), по которому можно провести поиск по зарубежным странам - [ru.espacenet.com](http://ru.espacenet.com). Имеются также бесплатные базы данных по зарубежным странам. Сайты зарубежных патентных ведомств:

- Патентное ведомство США - [www.uspto.gov](http://www.uspto.gov).
- Патентное ведомство Германии - [www.depatistnet.de](http://www.depatistnet.de)
- Патентное ведомство Великобритании - [www.patent.gov.uk](http://www.patent.gov.uk).
- Патентное ведомство Канады - [www.cipo.gc.ca](http://www.cipo.gc.ca).
- Патентное ведомство Китая - [www.cpo.cn.net](http://www.cpo.cn.net).
- Патентное ведомство Франции - [www.inpi.fr](http://www.inpi.fr).
- Патентное ведомство Японии (рефераты акцептованных заявок на изобретения на англ. языке) - [www.jpo.go.jp](http://www.jpo.go.jp).

- Всемирная организация интеллектуальной собственности - <http://www.wipo.int>, «Патентные ведомства международных организаций».

- [http://www.fips.ru/russite/search/pvd\\_link.htm](http://www.fips.ru/russite/search/pvd_link.htm) - ссылки на сайты большинства патентных ведомств мира и на сайты международных организаций по интеллектуальной собственности.

4. Поиск по научно-технической информации в основном проводят по отраслевым журналам и используют реферативную информацию о последних достижениях науки и техники, которую издает Всероссийский институт научной и технической информации (ВНИИТИ).

Поиск и отбор информационных материалов является наиболее трудоемким этапом патентных исследований. Он имеет свои особенности в зависимости от задач патентных исследований. Поиск информации проводится по всем видам источников, указанным в регламенте. Различают несколько видов патентного поиска: тематический (предметный), именной и нумерационный, поиск патентов аналогов, установление правового статуса патента.

**Тематический поиск** производят, если нужно определить технический уровень или новизну объекта. Поиск в этом случае ведут по заданной тематике, в известной области техники с использованием не только патентной, но и научно-технической информации.

**Именной поиск** производят, когда известно имя автора или патентовладельца и нужно найти относящиеся к ним охраняемые документы. Этот поиск может быть использован как дополнительный к тематическому поиску. Для проведения именного поиска пользуются алфавитно-именными указателями, фирменными указателями и другими торгово-экономическими справочниками.

**Нумерационный поиск**, то есть поиск по номеру документа, осуществляется для установления тематической принадлежности документа и его правового статуса на момент проверки. Поиск осуществляется по нумерационным указателям.

**Поиск патентов-аналогов** проводится для выяснения того, как конкретный патент данного правообладателя защищен в других странах. Осуществляется поиск по электронным базам данных, по наименованию патентообладателя и другим необходимым данным.

**Отчет о патентных исследованиях** оформляется в соответствии с ГОСТ 15.011-96 и ГОСТ 7.32-2001 и содержит:

- титульный лист;
- список исполнителей;
- реферат
- содержание;
- перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц, терминов;
- общие данные об объекте исследований;
- основную (аналитическую) часть;
- заключение;
- приложения.

**Титульный лист** является первой страницей отчета о НИР и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа. Если отчет о НИР состоит из двух и более частей, то каждая часть должна

иметь свой титульный лист, соответствующий титульному листу первой части и содержащий сведения, относящиеся к данной части.

**Список исполнителей.** В список исполнителей должны быть включены фамилии и инициалы, должности, ученые степени, ученые звания руководителей НИР, ответственных исполнителей.

**Реферат** должен содержать:

- сведения об объеме отчета, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве частей отчета, количестве использованных источников;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста отчета, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание и обеспечивают возможность информационного поиска. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и печатаются прописными буквами в строку через запятые.

Текст реферата должен отражать:

- объект исследования или разработки;
- цель работы;
- метод или методологию проведения работы;
- результаты работы и их новизну;
- основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики;
- степень внедрения;
- рекомендации по внедрению или итоги внедрения результатов НИР;
- область применения;
- экономическую эффективность или значимость работы;
- прогнозные предположения о развитии объекта исследования.

**Содержание** включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование), заключение, список использованных источников и наименование приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы отчета о НИР. В отчете о НИР объемом не более 10 страниц содержание допускается не составлять.

**Структурный элемент "перечень сокращений,..."** содержит перечень обозначений и сокращений, применяемых в данном отчете о НИР. Допускается определения, обозначения и сокращения приводить в одном структурном элементе "Определения, обозначения и сокращения".

**Общие данные об объекте исследований** должны содержать:

- даты начала и окончания работы (год, месяц);
- краткое описание объекта, его назначение, область применения. Общие данные могут быть дополнены другой информацией (наименование, отраслевая принадлежность организации-заказчика, предприятия-изготовителя и т.д.).

**Основная (аналитическая) часть отчета** о патентных исследованиях в общем случае включает разделы:

- технический уровень и тенденции развития объекта хозяйственной деятельности;
- использование объектов промышленной (интеллектуальной) собственности и их правовая охрана;
- исследование патентной чистоты объекта техники;
- анализ деятельности хозяйствующего субъекта и перспектив ее развития.

В основной части отчета приводят данные, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненной НИР. Основная часть должна содержать:

- анализ и обобщение информации в соответствии с поставленными перед патентными исследованиями задачами;
- обоснование оптимальных путей достижения конечного результата данной работы (ее этапа), например, выполнение НИР и ОКР или конкретных действий предприятия (организации);
- оценку соответствия завершенных патентных исследований заданию на их проведение, достоверности их результатов, степени решения поставленных перед патентными исследованиями задач, обоснование необходимости проведения дополнительных патентных исследований.

При необходимости разделы основной (аналитической) части отчета о патентных исследованиях иллюстрируют таблицами, расчетами.

**В заключении** в общем случае приводят:

- обобщенные выводы по результатам проведенных патентных исследований;
- оценку состояния выполнения работы, составной частью которой являются патентные исследования (например, НИР и ОКР), в свете соответствия его требованиям к конечным результатам работы, целям, планам, программам, перспективам деятельности предприятия (организации);
- предложения по использованию результатов патентных исследований.

**Список использованных источников** должен содержать сведения об источниках, использованных при составлении отчета. Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1.

**В приложении** к отчету о патентных исследованиях включают:

- задание на проведение патентных исследований;
- регламент поиска;
- отчет о поиске;
- описания изобретений, аннотации документов и другие справочные материалы, отобранные при проведении поиска.

Отчет о патентных исследованиях утверждает ответственный руководитель работы, выдавший задание на проведение патентных исследований. Остальные требования к оформлению отчета (таблицы, формулы и т.д.) представлены в ГОСТ 7.32-2001.

### **1.3. Порядок выполнения работы.**

1. Сформулировать задачу, которая должна быть решена путем проведения патентных исследований. Примеры решаемых задач:

- определение сфер использования результатов исследований;

- поиск патентов на изобретение, полезную модель по тематике исследований;
- определение состояния исследований в интересующей области;
- поиск дополнительных информационных материалов по тематике исследований;

Патентные исследования проводятся в рамках результатов НИР проводимой при подготовке магистерской диссертации.

2. Ознакомиться примером отчета о патентных исследованиях, представленным преподавателем.

Составить задание на проведение патентных исследований.

3. Разработать регламент в соответствии с имеющимся заданием на проведение патентных исследований.

4. Произвести поиск научной и патентной информации, используя классификационные индексы УДК и МПК. Составить отчет о патентном поиске (приложение В).

5. Оформить отчет о результатах патентных исследований

### **Контрольные вопросы**

1. С какой целью проводят патентные исследования?
2. Содержание основных этапов патентных исследований.
3. Классификация МПК. Структура, методика использования.
4. Классификация УДК. Структура, методика использования.
5. Охарактеризуйте результаты, проведенных патентных исследований.

## Практическое занятие №2 «Планирование и организация НИР»

**2.1. Цель работы:** ознакомление с последовательностью проведения и принципами планирования НИР, приобретение практических навыков оформления планирующей документации.

**2.2. Основные теоретические сведения.** В соответствии с ГОСТ15.101–98 процесс выполнения НИР в общем случае состоит из следующих этапов:

1. Выбор направления исследований.
2. Планирование и проведение теоретических и экспериментальных исследований;
3. Обобщение и оценка результатов исследований;
4. Формирование отчетной документации и сдача проведенных работ.

Подготовительным этапом научно-исследовательской работы является выбор темы (направления) научного исследования. Постановка (выбор) тем является трудной, ответственной задачей, включает в себя ряд этапов.

Первый этап - формулирование проблем. На основе анализа противоречий исследуемого направления формулируют основной вопрос – проблему - и определяют в общих чертах ожидаемые варианты ее решения. Формулируется рабочая гипотеза.

Второй этап включает в себя разработку структуры проблемы. Выделяют темы, подтемы, вопросы. По каждой теме выявляют ориентировочную область исследования.

На третьем этапе устанавливают актуальность проблемы, т. е. ценность ее на данном этапе для науки и техники. Для этого по каждой теме выставляют несколько возражений и на основе анализа, исключают возражения в пользу реальности данной темы.

После обоснования проблемы и установления ее структуры приступают к выбору темы научного исследования. К теме предъявляют ряд требований.

Тема должна быть **актуальной**, т. е. важной, требующей разрешения в настоящее время. Это требование одно из основных. На данном этапе производится анализ литературных источников с целью установления истории тематики, объема накопленного опыта. Возможно проведение патентных исследований с целью установления технического уровня тематики, степени актуальности выбранной темы.

Тема должна отвечать требованию **научной новизны**, т.е. решать новую научную задачу. Это значит, что тема в такой постановке никогда не разрабатывалась и в настоящее время не разрабатывается, т. е. дублирование исключается.

Тема должна быть **экономически эффективной** и должна иметь значимость. Любая тема прикладных исследований должна давать экономический эффект в народном хозяйстве. Это одно из важнейших требований.

**Практическая ценность** подтверждается, как правило, наличием: новых конструкторских решений, на которые имеются патенты; оригинального программного обеспечения для решения задач научного исследования и принятого к промышленному использованию; технико-экономического эффекта от внедрения предлагаемых решений в производство.

Следующим этапом следует выполнение теоретических или (и) экспериментальных исследований в рамках выбранной тематики. Для обеспечения своевременного выполнения НИР и ее этапов, осуществления оперативного контроля за выполнением работ и составлением отчетно-нормативной технической документации, исполнитель НИР разрабатывает план совместных работ на выполнение НИР (план–график, рабочие программы). Планирующая документация содержит последовательность и сроки выполнения этапов НИР, состав исполнителей, номенклатуру и сроки составления ОНТД по этапам НИР и НИР в целом, сроки приемки этапов и НИР в целом.

Рабочая программа – это изложение общей концепции исследования в соответствии с его целями и гипотезами. Она состоит, как правило, из двух разделов: методологического и процедурного.

Методологический раздел включает:

- 1) формулировку проблемы или темы;
- 2) определение объекта и предмета исследования;
- 3) определение цели и постановку задач исследования;
- 4) интерпретацию основных понятий;
- 5) формулировку рабочих гипотез.

Процедурный раздел рабочей программы включает:

- 1) принципиальный план исследования;
- 2) изложение основных процедур сбора и анализа материала.

Конкретное научное исследование осуществляется по принципиальному плану, который строится в зависимости от количества информации об объекте исследования. Планы бывают **разведывательные, аналитические (описательные) и экспериментальные**.

Разведывательный план применяется, если об объекте и предмете исследования нет ясных представлений и трудно выдвинуть рабочую гипотезу. Цель составления такого плана – уточнение темы (проблемы) и формулировка гипотезы. Обычно он применяется, когда по теме отсутствует достаточное количество информации.

Описательный план используется тогда, когда можно выделить объект и предмет исследования и сформулировать описательную гипотезу. Цель плана – проверить эту гипотезу, описать факты, характеризующие объект исследования.

Экспериментальный план применяется только когда сформулированы научная проблема и гипотеза.



При выполнении НИР наиболее часто составляют план-график (табл.4), и матрицу ответственности выполнения НИР (табл.5).

Таблица 4 – План-график выполнения НИР

№ п/п	Содержание НИР	Содержание работ	Методы и средства реализации	Сроки выполнения работ	Результат
1					
1.1					
1.2					
....					

Таблица 5 – Матрица ответственности выполнения НИР

Содержание НИР	Иванов	Петров	Сидоров
1	к	о	и
1.1	к	и	о
1.2	к	о	и
....	....	....	....

К – координация работ; О – ответственный за выполнение работ; И – исполнитель работ;

Матрица должна включать всех исполнителей НИР и в зависимости от степени сложности проводимых исследований определять дополнительные функции исполнителей. Например: консультант, ответственный за проведение экспериментальных исследований, ответственный за планирование экспериментальных исследований, и т.д.

Для реализации экспериментальных исследований НИР разрабатывают **план** или **программу** проведения эксперимента, которые как правило, включают:

- постановку цели и задач эксперимента;
- обоснование объема эксперимента, числа опытов;
- выбор варьируемых факторов;
- определение последовательности изменения факторов;
- порядок реализации опытов;
- выбор шага изменения факторов, задание интервалов между будущими экспериментальными точками;
- описание проведения эксперимента;
- обоснование используемых средств измерений;
- обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

Кроме перечисленных выше пунктов план эксперимента включает: наименование темы исследования; рабочую гипотезу, методику эксперимента, перечень необходимых материалов, приборов, установок; список исполнителей, календарный план и смету.

Планирование эксперимента необходимо производить в наиболее короткий срок и с наименьшими затратами, получая при этом достоверную и точную информацию. Этого можно достигнуть при планировании определенных правил, которые учитывают вероятностный характер

результатов измерений и наличие внешних помех, которые могут воздействовать на изучаемый объект. Теория планирования эксперимента формулирует приемы и способы оптимальной организации эксперимента при исследованиях объектов самой разной природы. Применение методов и приемов этой теории позволяет эффективно, с наименьшими затратами решать многие практически важные исследовательские задачи: построение по опытным данным математических моделей объектов и явлений, оптимизацию процессов, проверку различных предположений об их свойствах и др. Эффективность указанных методов доказана на многочисленных примерах использования их в различных областях науки и техники: физике и химии, биологии и медицине, радиотехнике и электронике, автоматике и вычислительной технике, в задачах организации производства и технико-экономических исследованиях.

В общем виде план-график проведения экспериментальных исследований можно представить в виде таблицы 6.

Таблица 6 – План-график проведения экспериментальных исследований

№ п/п	Содержание НИР	Цель эксперимента	Методы и средства реализации	Варьируемые факторы	Сроки проведения	Результат
1						
1.1						
1.2						
....						

Согласно рабочим программам выполняют весь комплекс исследований, который должен в полном объеме и однозначно давать ответы на поставленные тематикой задачи. Теоретические и экспериментальные данные сравнивают методом сопоставления соответствующих графиков. Критериями сопоставления могут быть минимальные, средние и максимальные отклонения экспериментальных результатов от данных, установленных расчетом на основе теоретических зависимостей. Наиболее достоверными следует считать критерии адекватности (соответствия) теоретических зависимостей экспериментальным. В результате теоретико-экспериментального анализа могут возникнуть три случая:

1) установлено полное или достаточно хорошее совпадение рабочей гипотезы, теоретических предпосылок с результатами опыта. При этом дополнительно группируют полученный материал исследований таким образом, чтобы из него вытекали основные положения разработанной ранее рабочей гипотезы, в результате чего последняя превращается в доказанное теоретическое положение, в теорию;

2) экспериментальные данные лишь частично подтверждают положение рабочей гипотезы и в той или иной ее части противоречат ей. В этом случае рабочую гипотезу изменяют и перерабатывают так, чтобы она наиболее полно соответствовала результатам эксперимента. Чаще всего производят дополнительные корректировочные эксперименты с целью

подтвердить изменения рабочей гипотезы, после чего она также превращается в теорию;

3) рабочая гипотеза не подтверждается экспериментом. Тогда ее критически анализируют и полностью пересматривают. Затем проводят новые экспериментальные исследования с учетом новой рабочей гипотезы. Отрицательные результаты научной работы, как правило, не являются бросовыми, они во многих случаях помогают выработать правильные представления об объектах, явлениях и процессах.

После выполненного анализа принимают окончательное решение, которое формулируют как заключение, выводы или предложения. Эта часть работы требует высокой квалификации, поскольку необходимо кратко, четко, научно выделить то новое и существенное, что является результатом исследования, дать ему исчерпывающую оценку и определить пути дальнейших исследований.

Окончательным этапом проведенного НИР является оформление отчета, содержание и оформление которого должно соответствовать ГОСТ 7.32-2017. Полученный в ходе проведения НИР материал может быть использован в качестве основы для публикации научных статей, монографий, тезисов докладов и т.д.

### **2.3. Порядок выполнения работы.**

1. Оценить научную новизну, актуальность, и практическую ценность тематики научного исследования диссертационной работы.

2. Разработать рабочую программу и план-график выполнения научных исследований в рамках диссертационной работы.

3. Разработать программу экспериментальных исследований, выполняемых в рамках диссертационной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Содержание основных этапов НИР.

2. Какие требования предъявляют к теме НИР?

3. Что такое рабочая программа НИР и ее содержание.

4. План-график выполнения НИР. Назначение и содержание.

5. План и рабочая программа экспериментальных исследований. Назначение и содержание

### Практическое занятие №3

#### «Планирование эксперимента. Планы первого порядка»

**3.1. Цель работы:** ознакомление с теорией планирования эксперимента и приобретение практических навыков получения регрессионных моделей с помощью планов первого порядка.

**3.2. Основные теоретические сведения.** Методологической основой экспериментальных исследований служит теория планирования эксперимента, базирующаяся на идеях теории вероятности и математической статистики. Теория планирования эксперимента формулирует приемы и способы оптимальной организации эксперимента при исследованиях объектов самой разной природы. Применение методов и приемов этой теории позволяет эффективно, с наименьшими затратами решать многие практически важные исследовательские задачи: построение по опытным данным математических моделей объектов и явлений, оптимизацию процессов, проверку различных предположений об их свойствах и др. Для планирования эксперимента широко используют планы первого и второго порядка.

Планы первого порядка предназначены для экспериментального получения линейных регрессионных моделей. Для нахождения оценок неизвестных коэффициентов регрессии подобных моделей каждый из факторов должен варьироваться, по крайней мере, на двух уровнях. Известно несколько разновидностей планов первого порядка: *однофакторный (классический) эксперимент, полный факторный эксперимент, дробный факторный эксперимент, насыщенный план (симплекс-план).*

**План эксперимента** — совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов.

Под планированием эксперимента понимают всю совокупность действий, направленных на разработку стратегии экспериментирования от начальных до заключительных этапов изучения объекта исследования.

Пространство контролируемых переменных образует **факторное пространство**.

**Точка плана** — упорядоченная совокупность численных значений факторов, соответствующая условиям проведения опыта, точка факторного пространства, в которой проводится эксперимент.

Любой исследуемый объект может быть представлен моделью "черный ящик". Схема взаимодействия исследуемого объекта с внешней средой может быть представлена схемой, представленной на рисунке 1.

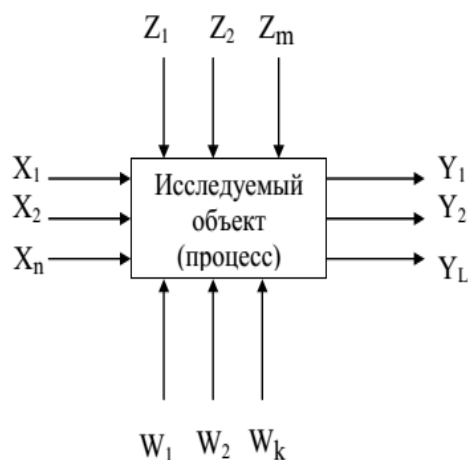


Рисунок 1 - Модель "Черный ящик"

Различают:

$X_i$ – входные контролируемые и управляемые параметры;

$W_i$ – входные не контролируемые, и не управляемые воздействия;

$Z_i$ – входные контролируемые, но не управляемые параметры;

$Y_i$ –выходные параметры, подлежащие измерению и регистрации.

Входные параметры  $X$  и  $Z$  принято называть **факторами**, выходные параметры  $Y$  – **откликами**.

Факторы могут быть количественными и качественными. Количественными факторами являются переменные величины, которые можно оценить количественно. Качественные факторы, если это нужно экспериментатору, всегда можно сделать количественными, построив условную порядковую шкалу для кодирования уровня качества числами натурального ряда. Наиболее простой пример такого кодирования - оценка качества по пятибалльной системе. К факторам предъявляются следующие требования:

- Область определения факторов должна быть дискретна и ограничена. Интервал варьирования  $h \neq \infty$ , обычно в исследованиях интервал варьирования берется как 10...50 % от основного уровня фактора  $X_i^0$ .

- Факторы должны быть управляемыми и однозначно определяемыми. Таким образом, для каждого фактора должна быть возможность установки и поддержания требуемого его уровня в течение всего эксперимента, а также возможность изменения уровня данного фактора в соответствии с планом эксперимента.

- Факторы должны иметь непосредственное воздействие на исследуемый объект (процесс). Требование непосредственного воздействия на объект имеет большое значение в связи с тем, что трудно управлять фактором, если он является функцией других переменных. Факторы нужно определять операционно, т.е. должен быть известен способ придания фактору любого возможного значения.

- Факторы не должны быть коррелированы между собой. Некоррелируемость факторов означает, что каждый фактор можно устанавливать на любой уровень независимо друг от друга. Последнее обстоятельство не означает, что между факторами не существует никакой связи. Достаточно, чтобы связь между ними не была линейной.

- Факторы должны быть совместимы, то есть при любом их сочетании, предусмотренном планом эксперимента, исследуемый объект должен сохранять работоспособность, комбинации значений факторов должны быть осуществимы.

Фиксированное значение фактора называют **уровнем фактора**. Факторы могут различаться по числу уровней, на которых возможна их фиксация в рассматриваемой задаче. Понятие уровня фактора часто используется при описании характерных точек из области планирования фактора  $X_i$ :

$X_{i \min}$  - минимальное значение фактора, относящиеся к нижнему уровню фактора;

$X_{i \max}$  - максимальное значение фактора, относящиеся к верхнему уровню фактора;

$X_i^0$  - основной уровень фактора, указывающий на условия эксперимента, которые представляют наибольший интерес для исследователя в данный момент. Для определения основного уровня фактора можно воспользоваться соотношением:

$$X_i^0 = \frac{X_{i \max} + X_{i \min}}{2} \quad (1)$$

$h$  - интервал варьирования фактора, определяемая как абсолютная величина половины диапазона изменения фактора:

$$h = \frac{|X_{i \max} - X_{i \min}|}{2} \quad (2)$$

Рассмотренные характеристики факторов иллюстрируются рис.2.

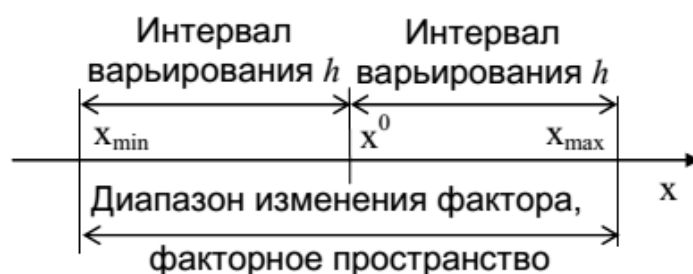


Рисунок 2 - Уровни факторов

Зависимость отклика от рассматриваемых факторов называют **функцией отклика**, а геометрическое представление функции отклика — **поверхностью отклика**.

**Матрица плана** - стандартная форма записи условий проведения экспериментов в виде прямоугольной таблицы, строки которой отвечают опытам, а столбцы – факторам.

**Спектр плана** - стандартная форма записи условий проведения экспериментов, не содержащая одинаковых строк, т.е. опыты, проводимые по спектру плана отличаются уровнем хотя бы одного фактора.

**Матрица спектра плана** – матрица, составленная из спектра плана. Матрица спектра плана (матрицы планирования) содержит все возможные сочетания значений факторов, реализуемые в процессе исследований.

Каждый столбец матрицы спектра плана называется **вектор – столбцом**, каждая строка – **вектор – строкой**

В теории планирования эксперимента наиболее широкое применение нашли регрессионные модели, получаемые методом наименьших квадратов (МНК). Планы первого порядка предназначены для экспериментального получения линейных регрессионных моделей вида:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n \quad (3)$$

где

$B_0$  - свободный коэффициент;

$B_1, B_2, \dots, B_n$  - коэффициенты, учитывающие влияние на отклик линейных членов;

$X$  - значение фактора;

$Y$  - значение отклика.

**Однофакторный (классический) эксперимент.** Однофакторный эксперимент предусматривает поочередное варьирование каждого из  $n$  факторов, в то время как все остальные факторы стабилизированы на некотором уровне. Допустим, что в ходе варьирования фактор  $X_i$  принимает значения  $X_{i \min} = X_i^0 - h$  и  $X_{i \max} = X_i^0 + h$  а все другие факторы стабилизированы на своем базовом уровне  $X_i^0$ . Первый столбец  $X_0$ , необходимый для определения коэффициента модели  $B_0$  всегда положителен и его допускается не учитывать. Тогда матрица спектра плана в матричной и табличной форме примет вид:

$$X = \begin{vmatrix} +1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ +1 & +1 & 0 & \dots & 0 \\ +1 & 0 & -1 & \dots & 0 \\ +1 & 0 & +1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ +1 & 0 & 0 & \dots & -1 \\ +1 & 0 & 0 & \dots & +1 \end{vmatrix}$$

а)

k	$X_0$	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$
1	+1	-1	0	...	0
2	+1	+1	0	...	0
3	+1	0	-1	...	0
4	+1	0	+1	...	0
...	...	...	...	...	...
N-1	+1	0	0	...	-1
N=2n	+1	0	0	...	+1

б)

Рисунок 3 – матрица спектра плана для однофакторного эксперимента:  
а) в матричной форме; б) в табличной форме

План эксперимента примет вид:

Таблица 7 - План однофакторного эксперимента

k	$X_0$	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$	$Y_i$
1	+1	-1	0	...	0	$Y_1$
2	+1	+1	0	...	0	$Y_2$
3	+1	0	-1	...	0	$Y_3$
4	+1	0	+1	...	0	$Y_4$
...	...	...	...	...	...	...
N-1	+1	0	0	...	-1	$Y_n$
N=2n	+1	0	0	...	+1	$Y_m$

Геометрически точки спектра данного плана располагаются в центрах граней гиперкуба (рис.4), для двумерного случая — в середине сторон ограничивающего квадрата (рис. 4, а), для  $n = 3$  — в центрах граней куба (рис. 4, б).

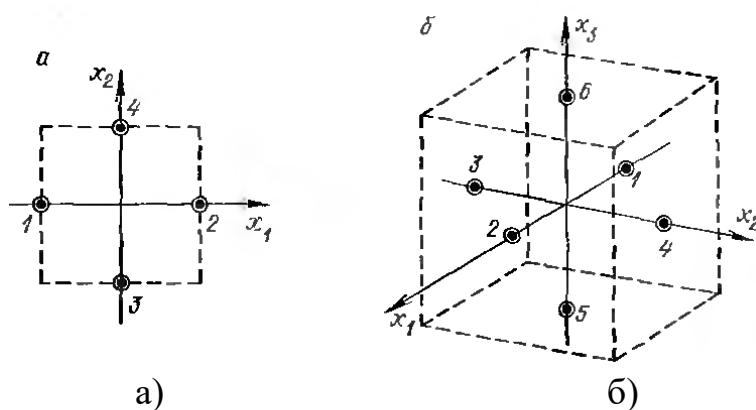


Рисунок 4 - Расположение точек спектра плана однофакторного эксперимента

Однофакторный эксперимент описанного типа применяется в настоящее время весьма редко. Тем не менее полезно рассмотреть его свойства для того, чтобы продемонстрировать применение введенных ранее основных понятий теории планирования эксперимента.

Составленные описанным способом матрицы планирования и их геометрические образы (рис.3, 4) обладают тремя важными свойствами: симметрии, нормировки и ортогональности.

**Свойство симметрии** состоит в том, что все наборы факторов (точки плана) симметричны относительно центра плана, или сумма элементов любого столбца матрицы планирования равна нулю:

$$\sum_{k=1}^{2n} X_i = 0, i = 0, 1, 2, \dots, n \quad \sum_{k=1}^{2n} X_0 = N = 2n, \quad (4)$$

где  $N$ - общее количество строк матрицы.

**Свойства нормировки** состоит в том, что сумма квадратов любого столбца равна количеству строк:

$$\sum_{k=1}^{2n} X_i^2 = 2, i = 1, 2, \dots, n \quad \sum_{k=1}^{2n} X_0^2 = 2n = N \quad (5)$$

**Свойство ортогональности** состоит в том, что сумма произведений любых двух столбцов равна нулю:

$$\sum_{k=1}^{2n} (X_i)(X_j) = 0, i \neq j, j = 0, 1, \dots, n \quad (6)$$

Рассмотренный выше план эксперимента является оптимальным в смысле ортогональности и ротатабельности. Благодаря ортогональности все коэффициенты уравнения регрессии определяются независимо друг от друга. Ротатабельность позволяет получить одинаковую дисперсию предсказанных значений функции отклика во всех равноудаленных от центра плана точках. Что касается свойств плана с точки зрения прочих критериев оптимальности, связанных с точностными характеристиками регрессионной



модели, то, однофакторный эксперимент явно неудовлетворителен. Именно поэтому он и не находит в настоящее время широкого применения.

**Полный факторный эксперимент (ПФЭ).** При планировании такого эксперимента число уровней для каждого из факторов не может быть меньше двух. Если в процессе исследования каждый фактор имеет два уровня (нижний и верхний), то такой эксперимент называется двухуровневым. Так же возможна реализация трехуровневых экспериментов, когда каждый фактор изменяется на трех уровнях (нижнем, верхнем, основном).

Спектр плана любого полного факторного эксперимента содержит все возможные комбинации  $n$  факторов на всех уровнях их изменения. Если рассматривать двухуровневый эксперимент, то общее число таких комбинаций (число строк спектра плана) равно  $N = 2^n$ . Принято обозначать подобный план как ПФЭ  $2^n$ .

В общем случае для записи спектра плана произвольного ПФЭ  $2^n$  можно воспользоваться простым правилом: знаки в столбце при первом факторе изменяются поочередно, а в каждом последующем столбце частота изменения знака в 2 раза меньше. Причем первая строка матрицы должна содержать все минусы, а последняя все плюсы. Таким образом, матрица спектра плана ПФЭ  $2^2$  в матричном и табличном виде для нормированных факторов  $X_1$  и  $X_2$  будет иметь следующий вид:

$$X = \begin{vmatrix} +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \end{vmatrix}$$

а)

k	$X_0$	$X_1$	$X_2$
1	+1	-1	-1
2	+1	+1	-1
3	+1	-1	+1
4	+1	+1	+1

б)

Рисунок 5 – матрица спектра плана для полнофакторного эксперимента:  
а) в матричной форме; б) в табличной форме

План эксперимента примет вид:

Таблица 8 - План ПФЭ  $2^2$

k	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$Y_i$
1	+1	-1	-1	$Y_1$
2	+1	+1	-1	$Y_2$
3	+1	-1	+1	$Y_3$
4	+1	+1	+1	$Y_4$

Геометрически точки плана ПФЭ  $2^n$  размещаются в вершинах  $n$ -мерного гиперкуба (для  $n = 2$  — в вершинах квадрата, рис. 6, а; для  $n = 3$  — в вершинах куба, рис. 6,б).

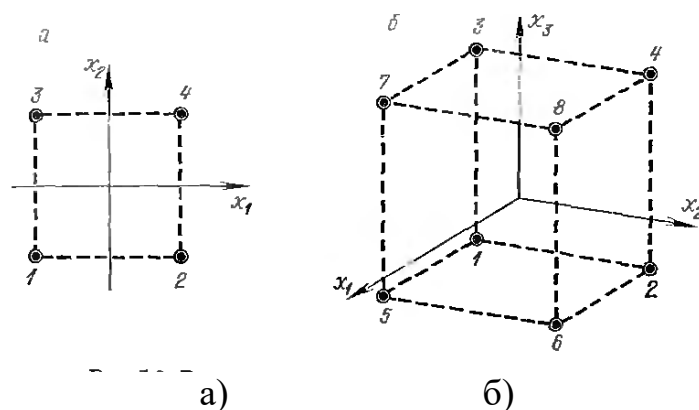


Рисунок 6 - Расположение точек спектра плана ПФЭ  $2^n$

Для матриц планов типа ПФЭ  $2^n$  и их графического изображения справедливы рассмотренные ранее свойства (4)-(6).

Часто в процессе эксперимента варьирование одного фактора зависит от уровня другого фактора, т.е. существует эффект взаимодействия факторов. ПФЭ позволяет оценить это взаимодействие, тогда пользуются правилом перемножения столбцов. Эти столбцы не могут участвовать в эксперименте, а только позволяют осуществить статистическую обработку результатов эксперимента и уточнить регрессионную модель, т.к. в нее вводятся новые слагаемые, например для плана ПФЭ $2^2$  вводится слагаемое  $B_{12}X_1X_2$ . Произведение факторов  $B_{12}X_1X_2$  называется эффектом взаимодействия факторов, а уточненная регрессионная модель имеет вид

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 \quad (7)$$

Уравнение регрессии, составленное по результатам эксперимента, проведенного по плану ПФЭ $2^3$  с учетом взаимодействий факторов будет иметь вид:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 + B_3X_3 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{123}X_1X_2X_3 \quad (8)$$

Матрицы спектра планов ПФЭ $2^2$  и ПФЭ $2^3$  с учетом парного взаимодействия факторов представлены на рис. 7.

k	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$
1	+1	-1	-1	+1
2	+1	+1	-1	-1
3	+1	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1	+1

a)

k	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

б)

Рисунок 7 – матрица спектра плана для полнофакторного эксперимента с учетом парного взаимодействия факторов: а) ПФЭ $2^2$ ; б) ПФЭ $2^3$

Наряду с имеющимися преимуществами ПФЭ<sup>2<sup>n</sup></sup> обладает одним существенным недостатком - быстрый рост количества опытов при увеличении числа факторов  $n$ . Ясно, что математическая модель при  $n > 5$  вряд ли может найти практическое применение. Возникает необходимость в построении более экономной с точки зрения числа опытов разновидности планов. Именно в связи с данным обстоятельством и были разработаны планы дробного факторного эксперимента.

**Дробный факторный эксперимент (ДФЭ).** позволяет получать линейные регрессионные модели, в том числе модели, содержащие дополнительно некоторые взаимодействия факторов при меньшем числе наблюдений по сравнению с ПФЭ<sup>2<sup>n</sup></sup>. Сокращение числа опытов достигается за счет использования дополнительной априорной информации о свойствах изучаемого объекта. Составляется список переменных — факторов и их взаимодействий, представляющих собой интерес для дальнейшего исследования и подлежащих включению в модель. Приведем несколько вариантов возможного вида списка существенных переменных:

$$\begin{array}{ll} X_0, X_1, X_2, X_3; & X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4 \\ X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_1X_2; & X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7; \end{array}$$

Необходимо четко представлять, что если какая-либо переменная, влияющая на отклик, не включена в этот список, обычно не удастся построить работоспособную регрессионную модель. Это обстоятельство, конечно, должно быть выявлено при анализе качества найденной модели, в ходе которого может быть принято решение о построении более сложной и точной модели при соответствующем увеличении числа опытов.

Дробный факторный эксперимент принято обозначать -  $2^{n-p}$ , где  $n$  — характеризует число факторов, а  $p$  так называемую степень дробности ДФЭ.

Таким образом, основная идея ДФЭ состоит в том, чтобы использовать такой достаточно экономный план, который обеспечивал бы оценку влияния только переменных, находящихся в списке существенных, и не учитывал возможное воздействие прочих переменных.

Соответствующие планы ДФЭ принято называть репликами с указанием их степени дробности. Так, план ДФЭ  $2^{n-1}$  — это 1/2-реплика ПФЭ  $2^n$ ; ДФЭ  $2^{n-2}$  - 1/4-реплика ПФЭ  $2^n$ ; ДФЭ  $2^{n-3}$  — 1/8-реплика ПФЭ  $2^n$  и т. д.

В случае, если список существенных переменных содержит  $(d+1)$  элемент, то для того чтобы оценить отдельно коэффициенты регрессии при каждой из них, необходимо выполнение условия:

$$N = 2^{n-p} \geq d+1 \quad (9)$$

Данное условие позволяет при заданном числе факторов  $n$  и известном списке существенных переменных  $(d+1)$  найти минимально допустимую степень дробности  $p$ , чем определяется общее число строк матрицы ДФЭ.

Для практического применения следует придерживаться следующей методике построения ДФЭ, состоящей из 3 этапов:

Этап 1. Из общего числа факторов  $X_1, X_2, \dots, X_n$  выбирается  $k$  ведущих, где  $k = n - p$ . Для выбранных факторов записывается спектр плана ПФЭ  $2^k$ .

Этап 2. Для остальных  $n - k = p$  факторов формируются столбцы, соответствующие произведению столбцов ведущих факторов -  $X_i$  и  $X_j$ , которое называется *генерирующим соотношением*. Вектор-столбцы взаимодействий  $f_i$  называются *базисными функциями*. В качестве генерирующих могут применяться произведения факторов, взятые как со знаком плюс, так и со знаком минус. В качестве генерирующих соотношений недопустимо использовать те произведения ведущих факторов, которые имеются в списке существенных.

Этап 3. Проверка пригодности найденного спектра плана на отсутствие полностью совпадающих или полностью противоположных столбцов. В противном случае найденный спектр плана не пригоден для последующего применения. Если же такие столбцы обнаружены, следует выбрать иные генерирующие соотношения, либо, изменить набор ведущих факторов.

Пусть список существенных переменных имеет вид  $X_0, X_1, X_2, X_3$ . Общее число элементов в этом списке  $d+1=4$ . Следовательно, для получения регрессионной модели можно попытаться использовать ДФЭ  $2^{3-1}$ , содержащий четыре опыта. Выберем ведущими факторы  $X_1$  и  $X_2$ . Для фактора  $X_3$  требуется указать генерирующее соотношение -  $X_3=X_1X_2$ . Матрица численных значений базисных функций данного плана представлена в табл. 9 (в рамке — спектр плана). Поскольку для всех переменных из списка существенных столбцы различны, план пригоден для получения регрессионной модели.

Если в качестве генерирующего соотношения использовать то же произведение  $X_1X_2$ , но взятое со знаком минус, получится второй вариант спектра плана ДФЭ  $2^{3-1}$  (см. табл.9).

Таблица 9 - Базисные функции плана ДФЭ  $2^{3-1}$

Первый вариант					Второй вариант				
k	Список существенных переменных				k	Список существенных переменных			
	$f_0$	$f_1$	$f_2$	$f_3$		$f_0$	$f_1$	$f_2$	$f_3$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$		$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	+1	-1	-1	+1	1	+1	-1	-1	-1
2	+1	+1	-1	-1	2	+1	+1	-1	+1
3	+1	-1	+1	-1	3	+1	-1	+1	+1
4	+1	+1	+1	+1	4	+1	+1	+1	-1

Можно убедиться, что он включает в себя четыре другие строки матрицы. Поскольку все столбцы матрицы различны, рассматриваемый план также может быть использован. С геометрических позиций точки спектра ДФЭ  $2^{n-p}$  образуют некоторое подмножество вершин гиперкуба, составляющих ПФЭ  $2^n$ . Для рассматриваемого случая в трехмерном пространстве они находятся в вершинах правильного тетраэдра (рис. 8, где кружочками обозначены четыре

точки первого варианта плана ДФЭ  $2^{3-1}$ , а крестиками - четыре точки второго варианта. В совокупности все эти точки образуют план ПФЭ  $2^3$ .

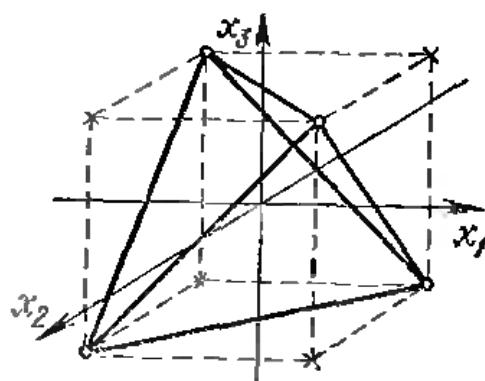


Рисунок 8 - Расположение точек спектра плана ДФЭ

Пусть задан список существенных переменных:  $X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4$ . Поскольку в этом списке восемь переменных, можно попытаться использовать ДФЭ  $2^{4-1}$ , содержащий в спектре плана восемь опытов. Для составления матрицы спектра выберем в качестве ведущих факторы  $X_1, X_2, X_3$ . Для фактора  $X_4$  необходимо указать генерирующее соотношение:

$X_4 = X_1X_2X_3$ . Произведем проверку - среди столбцов нет совпадающих или полностью противоположных, поэтому полученный спектр плана может быть использован для эксперимента (табл.10).

Таблица 10 - Матрица спектра плана ДФЭ  $2^{4-1}$

k	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4 = X_1X_2X_3$
1	1	-1	-1	-1	-1
2	1	1	-1	-1	1
3	1	-1	1	-1	1
4	1	1	1	-1	-1
5	1	-1	-1	1	1
6	1	1	-1	1	-1
7	1	-1	1	1	-1
8	1	1	1	1	1

Для упрощения способа проверки пригодности различных планов ДФЭ используют **определяющие контрасты (ОК)** и **обобщенный определяющий контраст (ООК)**.

Определяющие контрасты получаются из генерирующего соотношения и определяется произведением левой и правой частей генерирующего соотношения. Для каждого плана ДФЭ количество ОК равно числу генерирующих соотношений. Для рассматриваемого плана ДФЭ  $2^{4-1}$  ОК имеет вид:

$$I = X_1X_2X_3X_4$$

Обобщенный определяющий контраст (ООК) образуется как результат почленного перемножения всех исходных ОК с учетом правила

$$X_f^{2k} = 1; X_f^{2k+1} = X_f \quad (10)$$

Общее число членов ООК равно  $2^p$ . Если  $p = 1$ , т. е. имеет место всего одно генерирующее соотношение, один ОК, тогда ООК совпадает с этим единственным ОК. Для рассматриваемого плана ДФЭ  $2^{4-1}$  ООК имеет вид:

$$1 = X_1 X_2 X_3 X_4$$

Для ДФЭ<sup>5-2</sup> и ОК  $1 = X_1 X_2 X_3 X_4$  и  $1 = X_1 X_3 X_5$  ООК имеет вид:

$$1 = X_2 X_4 X_5.$$

Вхождение ООК необходимо для выяснения системы смешивания факторов. ООК поочередно умножается на каждую переменную из списка существенных с учетом соотношений (5). Всего получается  $(d+1)$  равенство, каждое из которых содержит  $2^p$  переменных (факторов и различных взаимодействий). Действия всех переменных, входящих в определенное равенство, смешаны между собой. Им соответствуют одинаковые столбцы матрицы спектра. Таким образом, для выяснения пригодности найденного плана ДФЭ требуется установить, не содержит ли какое-либо из указанных равенств хотя бы двух переменных из списка существенных. Если нет, то план пригоден для эксперимента; если да, то он не позволяет оценить коэффициенты требуемой регрессионной модели и должен быть изменен. Рассматриваемый алгоритм позволяет не только проверить пригодность того или иного спектра плана ДФЭ  $2^{n-p}$ , но и заранее уяснить, какие из переменных, не включенные в список существенных, могут потенциально влиять на значение тех или иных коэффициентов регрессии. Если в ходе исследования выясняется, что список существенных переменных нуждается в коррекции за счет включения новых элементов, то эти сведения дают возможность сразу определить, какие же коэффициенты регрессии, по всей видимости, оценены неточно и представляют собой оценки действия сразу нескольких влиятельных переменных. Для рассматриваемого плана ДФЭ  $2^{4-1}$  система смешивания имеет вид:

$$\begin{array}{lll} X_0 = X_1 X_2 X_3 X_4 & X_1 = X_2 X_3 X_4 & X_2 = X_1 X_3 X_4 \\ & X_3 = X_1 X_2 X_4 & X_4 = X_1 X_2 X_3 \end{array}$$

**Насыщенным планом первого порядка**, или **насыщенным линейным планом** называют план, который позволяет оценить коэффициенты линейной регрессионной модели относительно  $n$  факторов и спектр которого содержит  $(n+1)$  точку. Совокупность  $(n+1)$  точек насыщенного линейного плана задает в  $n$ -мерном факторном пространстве вершины геометрической фигуры, называемой  $n$ -мерным симплексом, поэтому планы подобного рода называют **симплекс-планами**.

Симплекс представляет собой простейшую фигуру в евклидовом пространстве. В частности, одномерный симплекс - это отрезок прямой (рис. 9,

а), двумерный — треугольник (рис. 9, б), трехмерный — пирамида (тетраэдр) (рис. 9, в), n-мерный — выпуклый многогранник (n+1) вершиной.

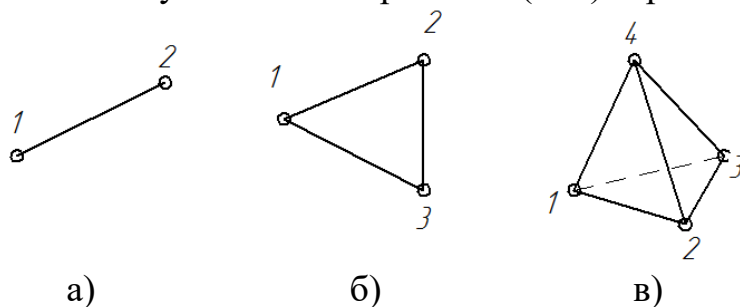


Рисунок 9 - Симплексы различных размерностей

Из всей совокупности различных симплексов принято выделять некоторые важные классы, обладающие определенными свойствами, полезными в практических приложениях. Рассмотрим некоторые из них.

**Симплекс правильный**, если для него расстояние между двумя любыми вершинами есть величина постоянная.

**Симплекс центрированный**, если для него справедливо соотношение:

$$\sum_{k=1}^{n+1} x_{ik} = 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

То есть сумма элементов любого столбца равна 0.

Известны различные способы задания координат вершин «n-мерных» симплексов и, следовательно, для одной и той же размерности факторного пространства возможны различные симплекс-планы. Спектр плана для правильного не центрированного симплекс плана имеет вид:

$$Xa = \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ +1 & 1 - \sqrt{2/p_n} & 1 - \sqrt{2/p_n} & \dots & 1 - \sqrt{2/p_n} \\ 1 - \sqrt{2/p_n} & +1 & 1 - \sqrt{2/p_n} & \dots & 1 - \sqrt{2/p_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 - \sqrt{2/p_n} & 1 - \sqrt{2/p_n} & 1 - \sqrt{2/p_n} & \dots & +1 \end{vmatrix} \quad (12)$$

где  $p_n = (\sqrt{n+1} + n - 1) / n\sqrt{2}$ , а для n = 2-8 значения могут быть найдены с помощью табл.11.

Таблица 11 – Численные значения коэффициентов  $p_n$

n	2	3	4	5	6	7	8
$p_n$	0,966	0,943	0,926	0,912	0,901	0,892	0,886

Рассмотренный симплекс можно привести к центрированному, не изменяя его ориентации. Для этого необходимо из каждого элемента матрицы  $Xa$  вычесть величину  $K = ((n-1)/(n+1))(1 - \sqrt{2/p_n})$ , а затем полученные значения

разделить на величину  $L = 1 - K$ . Полученный таким образом план  $X_{a'}$  будет вписанным.

Спектр плана для правильного центрированного симплекс плана имеет вид:

$$X_{\bar{b}} = \begin{vmatrix} -\mu_1 & -\mu_2 & -\mu_3 & \dots & -\mu_n \\ +\mu_1 & -\mu_2 & -\mu_3 & \dots & -\mu_n \\ 0 & 2\mu_2 & -\mu_3 & \dots & -\mu_n \\ 0 & 0 & +3\mu_3 & \dots & -\mu_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & +k\mu_n \end{vmatrix} \quad (13)$$

где  $\mu_i = \sqrt{(n+1)/in(i+1)}$ ,  $i \leq n$ . Численные значения величины  $i$ ,  $\mu_i$  в зависимости от  $i$  и  $n$  приведены в таблице 12.

Таблица 12 -Величины  $i$ ,  $\mu \cdot i$  в зависимости от  $i$  и  $n$

$i \backslash n$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2	0.866	1						
3	0.816	0.943	1					
4	0.791	0.913	0.968	1				
5	0.775	0.894	0.949	0.98	1			
6	0.764	0.882	0.935	0.966	0.986	1		
7	0.756	0.873	0.926	0.966	0.976	0.99	1	
8	0.75	0.866	0.919	0.949	0.968	0.982	0.992	1

Симплекс, соответствующий плану  $X_{\bar{b}}$  не является симплексом максимального размера. Для получения максимального не центрированного симплекса  $X_{\bar{b}'}$  необходимо каждый элемент матрицы  $X_{\bar{b}}$  разделить на  $\mu_1$  и прибавить к полученному  $1 - \sqrt{2i/(i+1)}$ . Где  $i$  номер вектор столбца или номер факторов.

Матрицы спектров симплекс планов при  $n = 2$ , рассмотренных ранее представлены ниже:

$$X_a = \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ +1 & -0,464 \\ -0,464 & +1 \end{vmatrix} \quad X_{a'} = \begin{vmatrix} -0,732 & -0,732 \\ +1 & -0,268 \\ -0,268 & +1 \end{vmatrix} \quad (14)$$

$$X_{\bar{b}} = \begin{vmatrix} -0,866 & -0,5 \\ 0,866 & -0,5 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} \quad X_{\bar{b}'} = \begin{vmatrix} -1 & -0,732 \\ +1 & -0,732 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} \quad (15)$$

Графически рассматриваемые симплексы представлены на рис.10.

Необходимо помнить, что матрица спектра плана представлена в кодированных единицах, а эксперимент проводится в натуральных, поэтому необходимо перейти от кодированных относительных величин к натуральным. Последовательность перехода заключается в следующем:



- определяются основной уровень фактора, интервал варьирования;

- интервал варьирования умножается на значение кодированной единицы, и полученное значение складывается (вычитается) с основным уровнем.

Симплекс - планы используются, как правило, на стадии предварительного исследования объекта, когда желательно применять наиболее экономные насыщенные планы, а также при построении процедур поиска экстремальных значений целевой функции.

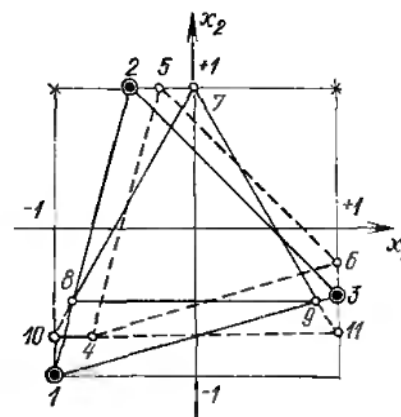


Рисунок 10 Примеры симплексов различных типов: 1-3-симплекс  $X_A$ ; 4-6-симплекс  $X_{A'}$ ; 7-9-симплекс  $X_B$ ; 7,10,11-симплекс  $X_{B'}$

**Реализация экспериментальных планов первого порядка.** При практической реализации планов первого порядка необходимо:

1. Выбрать центр плана, т. е. значения базовых уровней;
2. Определить шаги варьирования  $h$  по каждому фактору;
3. Установить общее число опытов, т. е. план эксперимента в целом; так как спектр плана можно считать построенным в соответствии с правилами предыдущих разделов, то в данном случае задача сводится к выбору элементов матрицы дублирования;
4. Указать порядок реализации плана, т. е. последовательность проведения опытов.

Выбор центра плана обычно особых трудностей не представляет. Если регрессионная модель строится для предсказания значений целевой функции, центр плана целесообразно совместить с центром области действия. Если же определение регрессионной модели является составной частью процедуры поиска экстремума, то центр плана лучше совместить с точкой, где по результатам предыдущих измерений отклик максимален.

Определение шага варьирования, пожалуй, один из наиболее ответственных этапов на стадии подготовки эксперимента, так как конечные результаты прямо зависят от того, насколько удачно выбран этот интервал, на выбор которого влияет:

1. Информация об интенсивности помехи: при прочих равных условиях, чем сильнее влияние шума, тем шире нужно выбирать шаг, для того, чтобы обеспечить достаточное отношение сигнал/шум;
2. Информация о степени нелинейности функции отклика: чем в большей степени можно ожидать, что функция отклика отличается от линейной (или от «слабонелинейной»), тем меньше должна быть величина шага.
3. Тип решаемой задачи. Величина шага варьирования зависит от того, производится ли построение регрессионной модели для целей предсказания или же она будет использоваться в поисковых процедурах, где шаг варьирования, как правило, в 5-10 раз меньше, чем в задачах предсказания. Это, в общем,

очевидно, так как в поисковых процедурах эксперимент применяется для получения информации о локальных свойствах поверхности отклика вблизи центра эксперимента, а при построении формульных зависимостей для целей предсказания основное — адекватность модели и возможность ее использования, по крайней мере, в большей части области, представляющей интерес для исследователя.

Поскольку исходная информация, с помощью которой осуществляется выбор шагов варьирования, как правило, имеет ограниченный характер и часто является качественной, следует быть готовым к тому, что по мере проведения исследований и обработки результатов опытов может выявиться необходимость в коррекции значений шага. Обычно в качестве первоначального варианта рекомендуется шаг варьирования выбирать в пределах 0,3-0,5 допустимого диапазона изменения фактора  $X_i$ .

Если есть веские основания считать, что линейная модель вряд ли окажется работоспособной и придется перейти к планированию второго порядка,  $h$  - целесообразнее выбрать несколько меньшим:  $h=0,2-0,4$  этого диапазона. Приведенные цифры относятся к задаче построения регрессионной модели, используемой для целей предсказания; в поисковых процедурах значение  $h$ , как отмечалось, существенно меньше. В планировании первого порядка применяется, как правило, равномерное дублирование опытов, обычно  $m = 2-4$ . Общее число опытов при этом равно  $Nm$ .

Эксперимент реализуется отдельными сериями. Каждая серия включает в себя проведение  $N$  опытов, соответствующих всем строкам матрицы спектра плана. Количество серий, очевидно, равно  $m$ . Внутри каждой серии порядок реализации опытов должен быть случайным, для чего применяется процедура рандомизации. Непосредственным конечным результатом проведения эксперимента является таблица значений выходного показателя  $Y$  - исходный материал для последующей обработки.

**Обработка экспериментальных данных.** Данные, полученные с помощью планов первого порядка, обрабатываются в соответствии с общей схемой регрессионного анализа. Однако специфический вид используемых матриц планов позволяет найти частные варианты общих соотношений регрессионного анализа, варианты, существенно более простые и удобные при расчетах:

1. Вычисляют построчные дисперсии  $S_k^2$  каждого из  $N$  опытов и дисперсию шума  $S_e^2$ :

$$S_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{ki} - \bar{y}_k)^2}{m-1}; \quad (16)$$

$$S_e^2 = \frac{\sum_{k=1}^N S_k^2}{N}, \quad (17)$$

где  $Y_{ki}$  - значения функций отклика в параллельных опытах;  $m$  - число параллельных опытов;  $\bar{Y}_k$  - среднее значение функции отклика:

$$\bar{Y}_k = \frac{\sum_{l=1}^m Y_{kl}}{m}. \quad (18)$$

2. Проверяют воспроизводимость эксперимента.

Подобная проверка может быть проведена при числе параллельных опытов  $m \geq 2$ , т.е. комбинация значений факторов из каждой строки спектра плана повторяется в ходе эксперимента  $m \geq 2$  раза.

Для проведения регрессионного анализа необходимо, чтобы дисперсии воспроизводимости в каждой из серий параллельных опытов были однородны. Однородность дисперсий воспроизводимости может быть проверена с помощью критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{k \max}^2}{S_{k \min}^2}, \quad (19)$$

где  $S_{k \max}^2, S_{k \min}^2$  - наибольшее и наименьшее значения построчных дисперсий.

Полученное значение критерия Фишера сравнивается с табличным для 5% уровня значимости и числа степеней свободы  $\nu_1 = N - d$  и  $\nu_2 = N(m - 1)$ . Если рассчитанное значение критерия Фишера меньше табличного значения, то гипотеза о равенстве дисперсий воспроизводимости принимается.

Так же воспроизводимость эксперимента возможно проверить с помощью критерия Кохрена. Статистика  $G$  этого критерия в данном случае имеет вид:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{k=1}^N S_k^2} \quad (20)$$

где  $S_{\max}^2$  - наибольшее значение построчных дисперсий.

Полученное значение критерия Кохрена сравнивается с табличным для 5% уровня значимости и числа степеней свободы  $V_1 = m - 1$ ,  $V_2 = N$ . Если рассчитанное значение критерия Кохрена меньше табличного значения, то гипотеза о равенстве дисперсий воспроизводимости принимается.

3. Используя метод наименьших квадратов, вычисляют коэффициенты уравнения регрессии при кодированных значениях факторов:

- для однофакторного плана:

$$b_0 = \frac{\sum_{k=1}^{2n} \bar{Y}_{ki}}{2n} \quad b_i = \frac{\sum_{k=1}^{2n} x_{ki} \bar{Y}_k}{2} \quad (21)$$

- для планов ПФЭ  $2^n$ , ДФЭ  $2^{n-p}$ :

$$b_0 = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{Y}_k}{N}, \quad b_i = \frac{\sum_{k=1}^N x_{ik} \bar{Y}_k}{N}, \quad b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N x_{ik} x_{jk} \bar{Y}_k}{N}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = i + 1 \quad (22)$$

где  $n$  - число факторов;  $N$  - число опытов;  $x_{ik}, x_{jk}$  - значения факторов из строк матрицы спектра.

- для симплекс-планов:

$$b_0 = b'_0 + \sum_{i=1}^n b_i \bar{x}_i; \quad b'_0 = \frac{\sum_{k=1}^{n+1} \bar{Y}_k}{(n+1)}; \quad b_i = \frac{\Gamma_n^2 \sum_{k=1}^{n+1} (x_{ik} - \bar{x}_i) \cdot \bar{Y}_k}{(n+1)}, \quad (23)$$

где  $\bar{x}_i$  - центрированная переменная (для центрированных планов  $\bar{x}_i = 0$ ):

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{k=1}^N x_{ik}}{N}. \quad (24)$$

$\Gamma_n$  - коэффициент, значение которого приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Значение коэффициента  $\Gamma_n$ .

Тип плана Число факторов	План $x_a$	План $x_b$	План $x'_a$	План $x'_b$
n=2	1,414	1,183	1,225	1,366
n=3	1,732	1,333	1,414	1,667

4. Вычисляют коэффициенты уравнения регрессии при натуральных значениях факторов:

$$B_i = \frac{b_i}{h_i}; \quad B_{ij} = \frac{b_{ij}}{h_i h_j}; \quad B_0 = b_0 - \sum_1^2 B_i X_i^0 \quad (25)$$

5. Вычисляют дисперсии оценок коэффициентов регрессии:

- для однофакторного плана

$$S_{B0}^2 = \frac{S_e^2}{2nm} \quad S_{Bi}^2 = \frac{S_e^2}{2m} \quad (26)$$

- для планов ПФЭ  $2^n$

$$S_{B0}^2 = \frac{S_e^2}{2^n m}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (27)$$

для планов ДФЭ  $2^{n-p}$

$$S_{B0}^2 = \frac{S_e^2}{2^{n-p} m}, \quad i = 0, 1, \dots, 2^{n-p} - 1. \quad (28)$$

- для симплекс-планов

$$S_{B0}^2 = S_{B0'}^2 + \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i)^2 S_{bi}^2 = \frac{S_e^2}{m(n+1)} \left[ 1 + \Gamma_n^2 \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i)^2 \right] \quad (29)$$

$$S_{B0'}^2 = \frac{S_e^2}{m(n+1)} \quad S_{Bi}^2 = \frac{\Gamma_n^2 S_e^2}{m(n+1)}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (30)$$

6. Проверяют значимость коэффициентов регрессии.

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводится по  $t$ -распределению Стьюдента:

$$t_j = \frac{B_j}{S_{Bj}}, \quad (31)$$

а затем необходимо сравнить вычисленное значение с табличным критическим значением, найденным по таблицам  $t$ -распределения Стьюдента при уровне значимости критерия (как правило 5%) и числе степеней свободы  $N(m-1)$ . Если вычисленное значение критерия больше табличного значения, то гипотеза значимости коэффициентов регрессии принимается.

7. Составляют уравнения регрессии со значениями факторов и коэффициентов регрессии в кодированных и натуральных единицах, подставив в уравнения математической модели значимые коэффициенты регрессии.

8. Рассчитывают предсказанные по уравнению регрессии значения отклика в точках спектра плана  $\hat{Y}_g$ . Данный расчет удобнее провести по уравнению регрессии в кодированных единицах. Для проверки: значения отклика, рассчитанные по уравнению регрессии в кодированных единицах должны совпадать со значениями отклика, рассчитанные по уравнению регрессии в натуральных единицах.

9. Определяют доверительные интервалы коэффициентов уравнения регрессии:

$$B_i - S_{B_i} \cdot t_{(\alpha/2)} < B_i < B_i + S_{B_i} \cdot t_{(\alpha/2)}, \quad (32)$$

где  $\alpha$  - уровень значимости, наиболее часто в расчетах используется  $\alpha = 0,05$ .

10. Производят анализ точности предсказания регрессионной модели.

Для этого необходимо вычислить выборочную дисперсию, оценивающую степень рассеяния предсказанных значений отклика относительно среднего значения функции отклика в параллельных опытах:

$$S^2 = \frac{\sum_{k=1}^N \left( \hat{Y}_g - \bar{Y}_g \right)^2}{N-d} = \frac{\left( \sum_{k=1}^N \bar{Y}_k^2 - N \sum_j^d b_j^2 \right)}{N-d} \quad (33)$$

где  $\hat{Y}_g$  - предсказанные по уравнению регрессии значения отклика;

10. Проверить адекватность модели.

Для проверки адекватности используется  $F$  - критерий Фишера:

$$F = \frac{mS^2}{S_e^2}. \quad (34)$$

Полученное численное значение сравнивается с табличным критическим при уровне значимости 5% и числах степеней свободы  $\nu_1 = N - d$  и  $\nu_2 = N(m - 1)$ .

Если вычисленное значение  $F$ -критерия меньше табличного, то принимается гипотеза адекватности математической модели.

Для адекватной математической модели рассматривается вопрос о ее работоспособности.

11. Проверить работоспособность регрессионной модели.

Математическая модель считается работоспособной, т.е. пригодной к практическому использованию, если у этой модели коэффициент детерминации более 0,75, что обеспечивает уменьшение ошибки предсказания примерно в 2 раза.

$$R^2 = 1 - \frac{m(N-d)S^2 + N(m-1)S_e^2}{m \sum_{k=1}^N (\bar{Y}_k - \bar{Y})^2 + N(m-1)S_e^2} = \frac{m \left[ \sum_{g=1}^N ((\bar{y}_k - \bar{y})^2 - (N-d)) \right] S_e^2}{m \sum_{k=1}^N (\bar{y}_k - \bar{y})^2 + N(m-1)S_e^2}, \quad (35)$$

где  $\bar{Y}$  - среднее значение отклика без учета влияния факторов на отклик:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{Y}_k}{N}. \quad (36)$$

### 3.3. Порядок выполнения работы.

1. Согласно программе экспериментальных исследований, выполняемых в рамках диссертационной работы определить возможность использования планов первого порядка.

2. Выполнить планирование эксперимента. В случае отсутствия экспериментальных данных, получить задание у преподавателя.

3. Оформить отчет, отражающий основные расчеты и полученные регрессионные модели.

### 3.4. Контрольные вопросы.

3.1. В чем заключается цель работы?

3.2 Что называется фактором, какие уровни факторов использовались в работе?

3.3 Дайте определение отклику модели?

3.4 Дайте определение матрице плана, спектру плана, какое правило записи спектра плана использованы в работе?

3.5 Раскройте принцип кодирования факторов.

3.6 В чем заключается методика определения коэффициентов регрессионной модели методом наименьших квадратов?

3.7 В чем заключается методика проверки воспроизводимости эксперимента?

3.8 С какой целью определяется степень адекватности и работоспособности математических моделей?

- 3.9. Дайте определение понятиям реплика, полуреплика, генерирующее соотношение, определяющий контраст, обобщенный определяющий контраст.
- 3.10. Поясните преимущество применения планов ДФЭ по сравнению с ПФЭ.
- 3.11. Поясните последовательность построения ДФЭ.
- 3.12. Дайте определение понятиям центрированный, не центрированный симплекс план .
- 3.13. Дайте определение понятиям правильный, не правильный симплекс план .
- 3.14. Раскройте принцип перехода от не центрированного симплекс плана к центрированному.
- 3.15. Какие из рассмотренных планов первого порядка могут быть использованы для планирования эксперимента в диссертационной работе?

## Практическое занятие №4

### «Планирование эксперимента. Планы второго порядка»

**4.1. Цель работы:** ознакомление с теорией планирования эксперимента и приобретение практических навыков получения регрессионных моделей с помощью планов второго порядка.

**4.2. Основные теоретические сведения.** Планы второго порядка предназначены для получения регрессионных моделей в виде полинома второй степени:

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i X_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n B_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n B_{ii} X_i^2, \quad (37)$$

Подобные планы применяют, в случае, когда использование планирования первого порядка не позволило получить адекватную регрессионную модель и выявилась необходимость ее усложнения, либо если заранее известно, что объект исследования обладает существенно нелинейными свойствами.

По сравнению с планами первого порядка планы второго порядка являются более сложными по структуре, имеют большее число точек в спектре плана и уровней варьирования для каждого фактора, требуют при своей реализации увеличенного количества опытов. Для получения квадратичной зависимости каждый из факторов должен изменяться, по крайней мере, на трех уровнях. В настоящее время известно много разновидностей планов второго порядка (рис. 11), отличающихся свойствами как в смысле различных критериев оптимальности регрессионных экспериментов, так и в смысле простоты и наглядности их получения. Все планы второго порядка разделены на две большие группы: симметричные и несимметричные.

Симметричным называют план, для которого справедливо:

$$\sum_{k=1}^N x_{ik}^2 = \Lambda_2; \quad \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 x_{jk}^2 = \Lambda_{22}; \quad i \neq j \quad (38)$$

$$\sum_{k=1}^N x_{ik}^4 = \Lambda_4; \quad \sum_{k=1}^N x_{ik} = \sum_{k=1}^N x_{ik}^3 = \sum_{k=1}^N x_{ik} x_{jk} = \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 x_{jk} = \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq j \neq f}}^N x_{ik} x_{jk} x_{fk} = 0; \quad (39)$$

для любых  $i, j, f = 1, 2, \dots, n; i \neq j$ ;  $N$  - число точек плана.

Иными словами, для всех факторов  $X_i$  или указанных комбинаций нескольких факторов записанные суммы равны определенным константам, причем эти константы одни и те же независимо от конкретных значений номеров факторов. Для простоты предполагается, что число параллельных опытов в каждой точке  $m=1$ . Несимметричные планы подобной особенностью не обладают.

Среди симметричных планов целесообразно выделить планы ротатабельные и неротатабельные. Всякий план будет ротатабельным только тогда, когда экспериментальные точки будут лежать не менее чем на двух



сферах (в общем случае, для  $k$ -мерного пространства - на двух гиперсферах). Несимметричные планы во многом менее удобны, чем симметричные, более экономны по необходимому количеству опытов, причем возможно и построение планов, содержащих минимальное число опытов, равное числу оцениваемых коэффициентов полной квадратичной модели. Именно поэтому несимметричные планы обычно подразделяют на насыщенные и ненасыщенные.

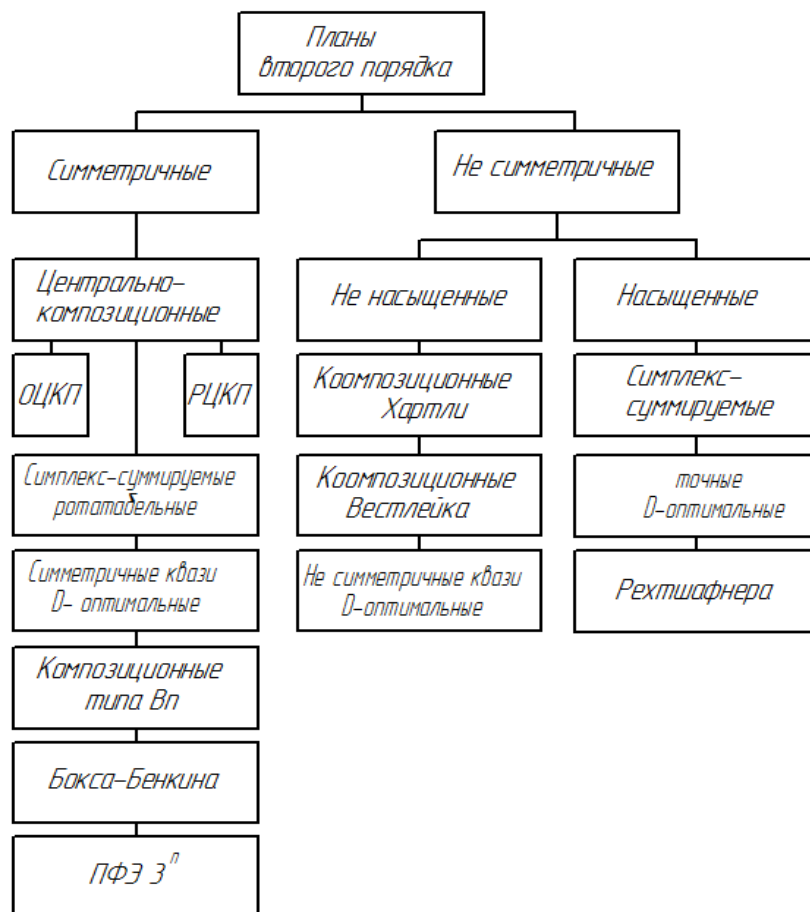


Рисунок 11 - Классификация планов второго порядка.

При использовании планов второго порядка весьма важным оказывается вопрос об области планирования эксперимента, т. е. той части факторного пространства, где должны располагаться точки плана. Можно указать три варианта ее задания.

В первом варианте область планирования можно назвать естественной. Она характерна для композиционных планов, получаемых путем достройки планов первого порядка. При этом новые, дополнительные точки, координаты которых определяются с учетом тех или иных критериев оптимальности, могут естественным образом выходить за пределы области планирования примененного на предыдущем этапе исследования плана первого порядка, т. е. за пределы гиперкуба. Размеры области планирования, получающейся путем дополнения, зависят от вида критерия оптимальности, с использованием которого строится план второго порядка, и количества факторов  $n$ .

Во втором варианте область планирования — гиперкуб, т. е. для всех координат точек  $X_{ik}$  плана выполняется соотношение:

$$|x_{ik}| \leq 1, \text{ где } i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, N \quad (40)$$

В третьем варианте область планирования — единичный гипершар, определяемый соотношением:

$$X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2 \leq 1 \quad (41)$$

**Центрально-композиционные планы (ЦКП)** любой модификации состоят из трех частей. Первая часть - основа или ядро плана - это ПФЭ  $2^n$  или ДФЭ  $2^{n-p}$ . При этом требуется, чтобы ядро плана обеспечивало отдельную оценку коэффициентов регрессии всех линейных членов и всех парных взаимодействий. Данное условие накладывает весьма жесткое ограничение на возможную степень дробности используемого ДФЭ. В частности, при  $n \leq 4$ , может применяться лишь ПФЭ  $2^n$ ; если  $5 \leq n \leq 7$ , то кроме ПФЭ  $2^n$  можно использовать и ДФЭ  $2^{n-p}$ , а для  $n > 7$  допустим также и ДФЭ  $2^{n-2}$ . Вторая часть ЦКП - так называемые «звездные» точки, расположенные на координатных осях на расстоянии  $\pm\alpha$  от центра эксперимента. Общее число таких точек равно  $2n$ . Третья часть ЦКП - опыты в центре плана; число таких опытов  $N \geq 1$ . Произвольный симметричный ЦКП приведен в табл. 14.

Таблица 14 - Произвольный симметричный ЦКП

Состав ЦКП	k	Факторы				Число точек
		$X_1$	$X_2$	.....	$X_n$	
Ядро плана (ПФЭ или ДФЭ)	1	-1	-1	.....	-1	$2^{n-p}$ $p=0;1;2$
	2	+1	-1	.....	-1	
	3	-1	+1	.....	-1	
	4	+1	+1	.....	-1	
	.....	.....	.....	.....	.....	
	$2^{n-p}$	+1	+1	.....	+1	
"Звездные" точки	$2^{n-p} + 1$	$-\alpha$	0	.....	0	2n
	$2^{n-p} + 2$	$+\alpha$	0	.....	0	
	$2^{n-p} + 3$	0	$-\alpha$	.....	0	
	$2^{n-p} + 4$	0	$+\alpha$	.....	0	
	.....	.....	.....	.....	.....	
	$2^{n-p} + 2n - 1$	0	0	.....	$-\alpha$	
	$2^{n-p} + 2n$	0	0	.....	$+\alpha$	
Центральные точки	$2^{n-p} + 2n + 1$	0	0	.....	0	$N_0$
	.....	.....	.....	.....	.....	
	$2^{n-p} + 2n + N_0$	0	0	.....	0	

Конкретные значения  $\alpha$  и  $N_0$  выбираются здесь исходя из тех или иных критериев оптимальности регрессионных экспериментов. В связи с этим принято выделять **ортгональные (ОЦКП)** и **ротатабельные (РЦКП)** **центрально-композиционные планы**.

Общее количество опытов  $N$  для ОЦКП и РЦКП равно  $N = 2^{n-p} + 2n + N_0$ .

ОЦКП строится с учетом критерия ортогональности, то есть, обеспечивая попарную ортогональность столбцов матрицы, отвечающих свободному члену  $B_0$  и квадратичным коэффициентам  $B_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , а также столбцов, отвечающих квадратичным членам между собой. С этой целью ищут регрессионную модель измененного вида:

$$Y = B'_0 + \sum_{i=1}^N B_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n B_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n B_{ij} (x_i^2 - \overline{x_i^2}) \quad (42)$$

где

$$B'_0 = B_0 + \sum_{i=1}^n B_{ij} \overline{x_i^2} \quad \overline{x_i^2} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 = (2^{n-p} + 2\alpha^2) / N \quad (43)$$

$N$  - общее число точек плана;

$$N = 2^{n-p} + 2n + 1 \quad (44)$$

Как видно, в модели используются центрированные переменные. Переход к таким переменным обеспечивает ортогональность столбца матрицы численных значений базисных функций, соответствующего свободному члену уравнения регрессии, и любого из столбцов центрированных квадратов. Действительно, для указанных столбцов имеет место следующее равенство:

$$\sum_{k=1}^N (x_{ik}^2 - \overline{x_i^2}) = \sum_{k=1}^N (x_{ik}^2 - N \overline{x_i^2}) = \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 - N \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 = 0 \quad (45)$$

Равенство справедливо независимо от конкретного значения  $\alpha$ . Однако при произвольном  $\alpha$  остаются неортогональными столбцы матрицы, отвечающие различным центрированным квадратичным переменным. Поэтому в ОЦКП числовое значение  $\alpha$  выбирается из условия ортогональности именно этих столбцов, т. е. исходя из условия

$$\sum_{\substack{k=1 \\ i \neq j}}^N (x_{ik}^2 - \overline{x_i^2})(x_{jk}^2 - \overline{x_j^2}) = 0 \quad (46)$$

или в развернутом виде:

$$2^{n-p} \left(1 - \frac{2^{n-p} + 2\alpha^2}{N}\right) + 4\left(\alpha^2 - \frac{2^{n-p} + 2\alpha^2}{N}\right) \left(-\frac{2^{n-p} + 2\alpha^2}{N}\right) + \left(-\frac{2^{n-p} + 2\alpha^2}{N}\right)(2n-3) = 0$$

После преобразований имеем:

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{2^{n-p-2}(2^{n-p} + 2n + 1)} - 2^{n-p-1}} \quad (47)$$

РЦКП строится исходя из требования критерия ротатабельности, для соблюдения которого находится значение  $\alpha$ :

$$\alpha = 2^{(n-p)/4} \quad (48)$$

С помощью (6.7), (6.8) найдены конкретные числовые значения  $\alpha$  для ОЦКП и РЦКП при  $n = 2-8$  (табл. 15).

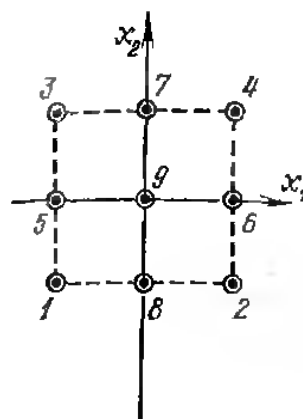
Таблица 15 - Значения коэффициента  $\alpha$  и число опытов N для ортогональных и ротатабельных планов

Тип плана	Ядро плана	$\alpha$	N
Ортогональный	ПФЭ $2^2$	1,000	9
	ПФЭ $2^3$	1,215	15
	ПФЭ $2^4$	1,414	25
	ДФЭ $2^{5-1}$	1,547	27
	ДФЭ $2^6$	1,761	77
	ДФЭ $2^{6-1}$	1,724	45
Ротатабельный	ПФЭ $2^2$	1,414	13
	ПФЭ $2^3$	1,682	20
	ПФЭ $2^4$	2,000	31
	ДФЭ $2^{5-1}$	2,000	32
	ДФЭ $2^6$	2,828	91
	ДФЭ $2^{6-1}$	2,378	53

Таким образом, можно построить матрицы планирования для планов ОЦКП и РЦКП при  $n=2$  и их графическое представление (рис.12.).

ОЦКП			
№опыта	$X_1$	$X_2$	Структура
1	-1	-1	Ядро плана ПФЭ $2^2$
2	1	-1	
3	-1	1	
4	1	1	
5	1	0	Количество "Звездных точек" $2n=2*2=4$
6	1	0	
7	0	1	
8	0	1	
9	0	0	Центральные точки

а)



РЦКП			
№опыта	$X_1$	$X_2$	Структура
1	-1	-1	Ядро плана ПФЭ $2^2$
2	1	-1	
3	-1	1	
4	1	1	
5	1,414	0	Количество "Звездных точек" $2n=2*2=4$
6	1,414	0	
7	0	1,414	
8	0	1,414	
9	0	0	Центральные точки
10	0	0	
11	0	0	
12	0	0	
13	0	0	

б)

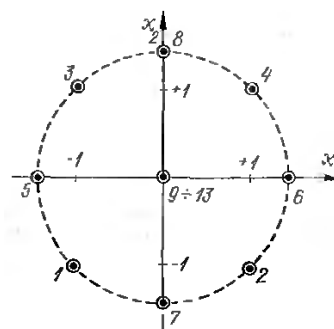


Рисунок 12 - Матрицы планирования и графическое представление расположения точек плана: а) ОЦКП ( $n=2$ ); б) РЦКП ( $n=2$ ).

Сформулированные выше алгоритмы получения ЦКП позволяют строить подобные планы в естественной области планирования. Однако они используются и в двух других вариантах задания этой области.

**Симплекс-суммируемые ротатабельные планы** строятся на базе насыщенных планов первого порядка (симплекс-планов). Основная идея их получения состоит в следующем. Зададим базовый правильный симплексный план для  $n$  факторов с матрицей спектра  $X(1)$ :

$$X(1) = \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 \end{vmatrix}$$

Для получения 2 конфигурации исходной матрицы необходимо выполнить попарное сложение элементов исходной матрицы  $X(1)$ :

$$X(2) = \begin{vmatrix} -1+(+1) & -1+(-1) & -1+(+1) \\ -1+(-1) & -1+(+1) & -1+(+1) \\ -1+(+1) & -1+(+1) & -1+(+1) \\ +1+(-1) & -1+(+1) & -1+(-1) \\ +1+(+1) & -1+(+1) & +1+(+1) \\ -1+(+1) & +1+(+1) & +1+(-1) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -2 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \\ +2 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 \end{vmatrix}$$

Полученная матрица  $X(2)$  получена всевозможными сочетаниями сумм элементов матрицы  $X(1)$ .

Аналогичным образом 3 конфигурацию можно найти сложением элементов исходной матрицы  $X(1)$  по три:

$$X(3) = \begin{vmatrix} -1+(+1)+(-1) & -1+(-1)+(+1) & -1+(+1)+(+1) \\ -1+(+1)+(+1) & -1+(-1)+(+1) & -1+(+1)+(-1) \\ +1+(-1)+(+1) & -1+(+1)+(+1) & +1+(+1)+(-1) \\ -1+(+1)+(-1) & +1+(+1)+(-1) & +1+(-1)+(-1) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 \end{vmatrix}$$

Все элементы 4 конфигурации матрицы являются "центральными точками" и равны 0, т.к. исходный симплекс план является правильным:

$$X(4) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Не трудно убедиться в том, что произвольный  $n$ -мерный симплекс порождает  $(n+1)$  конфигураций, включая исходный симплекс. Если предположить, что каждая из этих конфигураций встречается в плане только раз, то в целом матрица симплекс-суммируемого плана примет вид:

$$X = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 \\ 0 & -2 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \\ +2 & 0 & +2 \\ 0 & +2 & 0 \\ -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

В общем виде можно отобразить матрицу симплекс-суммируемого ротатабельного плана следующим образом:

$$X = \begin{pmatrix} a_{11}X(1) \\ \dots \\ a_{1k}X(1) \\ \dots \\ a_{21}X(2) \\ \dots \\ a_{2k_s}X(2) \\ \dots \\ a_{n1}X(n) \\ \dots \\ a_{nkn}X(n+1) \\ \dots \\ a_{n+1,1}X(n+1) \\ \dots \\ a_{n+1,kn+1}X(n+1) \end{pmatrix} \quad (49)$$

При этом для удобства расчетов вводятся масштабные множители  $a_n$ , и число повторений конфигураций  $k_s$  в плане. Варьируя значениями рассматриваемых коэффициентов, можно получить бесконечное множество планов. Принято различать следующие типы планов:

-симметризованные симплекс-суммируемые планы содержат не более одной S-конфигурации. Рассматриваемые планы подразделяются на

стандартные имеющие в своем составе все конфигурации с ненулевыми коэффициентами и сокращенные, в которых коэффициенты могут быть равными нулю и соответственно какая-либо конфигурация отсутствовать.

-нессимметризованные симплекс-суммируемые планы, в которых рассмотренные ранее требования не соблюдаются.

В табл. 16 приведены данные, необходимые для построения различных симплекс-суммируемых планов.

Таблица 16 – Данные для построения симплекс-суммируемых планов

n	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Тип	$a_n$	N N <sub>0</sub> N <sub>p</sub>
2	-0,866 +0,866 0	-0,5 -0,5 +1	-	-	-	-	-	Симм.	$a_{n1}=1$ $a_{n2}=1$	9 3 6
4	-0,791 +0,791 0 0 0	-0,456 -0,456 +0,913 0 0	-0,323 -0,323 -0,323 -0,25 +0,968 0	-0,25 -0,25 -0,25 -0,25 +1	-	-	-	Симм.	$a_{n1}=1$ $a_{n2}=0,76$ $a_{n3}=0,76$ $a_{n4}=1$	39 9 30
								Несим.	$a_{n11}=0,997$ $a_{n12}=-0,765$ $a_{n21}=-0,816$	25 5 20
5	-0,775 +0,775 0 0 0 0	-0,447 -0,447 +0,894 0 0 0	-0,316 -0,316 -0,316 -0,949 0 0	-0,245 -0,245 -0,245 -0,245 +0,98 0	-0,2 -0,2 -0,2 -0,2 +1	-	-	Сокр	$a_{n1}=0,981$ $a_{n3}=-0,745$ $a_{n5}=0,981$	40 8 32
								Несим	$a_{n11}=0,791$ $a_{n12}=0,791$ $a_{n21}=-0,791$	32 5 27
								Несим	$a_{n11}=0,514$ $a_{n12}=0,514$ $a_{n13}=0,895$ $a_{n21}=-0,79$	33 0 33
6	-0,764 +0,764 0 0 0 0 0	-0,441 -0,441 +0,882 0 0 0 0	-0,311 -0,311 -0,311 +0,935 0 0 0	-0,241 -0,241 -0,241 -0,241 +0,966 0 0	-0,197 -0,197 -0,197 -0,197 +0,986 0	-0,167 -0,167 -0,167 -0,167 -0,167 +1	-	Сокр	$a_{n1}=0,775$ $a_{n2}=0,775$ $a_{n3}=0,775$ $a_{n5}=0,775$	65 9 66
								Несим	$a_{n11}=0,851$ $a_{n31}=-0,775$ $a_{n22}=0,6$	57 8 49
								Несим	$a_{n11}=1$ $a_{n12}=-0,7$ $a_{n21}=0,643$	58 9 49
7	-1 +1 -1 +1 -1 +1 -1 +1 -0,756 +0,756 0 0 0 0 0 0	-1 1 +1 -1 -1 +1 +1 -0,436 -0,436 +0,873 0 0 0 0 0	-1 -1 -1 +1 +1 +1 +1 -0,309 -0,309 -0,309 +0,926 0 0 0 0 0	+1 -1 -1 +1 -1 -1 +1 -0,239 -0,239 -0,239 -0,239 +0,956 0 0 0 0	+1 -1 -1 -1 +1 -1 +1 -0,195 -0,195 -0,195 -0,195 -0,195 +0,976 0 0 0	+1 +1 -1 -1 -1 +1 +1 -0,165 -0,165 -0,165 -0,165 -0,165 -0,165 +0,99 0 +1	-1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 -0,143 -0,143 -0,143 -0,143 -0,143 -0,143 -0,143 -0,143 +1	Сокр	$a_{n2}=0,289$ $a_{n2}=0,289$	66 10 56
								Несим	$a_{n11}=1$ $a_{n12}=-0,313$ $a_{n31}=-0,579$	77 5 72

Например для  $n = 2$  и данных таблицы (  $N=9$ ,  $N_0=3$ ,  $N_p=6$ ,  $a_1=1$ ,  $a_2=1$  ) матрица плана имеет вид:

$$X(1) = \begin{vmatrix} -0,866 & -0,5 \\ +0,866 & -0,5 \\ 0 & +1 \end{vmatrix} \quad X(2) = \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -0,866 & +0,5 \\ +0,866 & +0,5 \end{vmatrix} \quad X = \begin{vmatrix} -0,866 & -0,5 \\ +0,866 & -0,5 \\ 0 & +1 \\ 0 & -1 \\ -0,866 & +0,5 \\ +0,866 & +0,5 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Графическое представление расположения точек плана представлено на рис.13

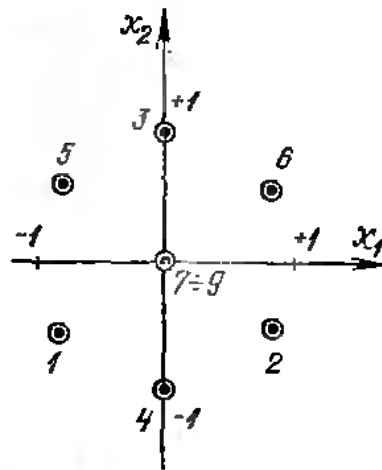


Рисунок 13 – Расположение точек симплекс-суммируемого плана

**Симметричные квази-D-оптимальные планы.** Рассматриваемые планы строятся с учетом критерия D-оптимальности. Для построения планов используют данные, приведенные в табл.5 и следующие обозначения:

$$a_o = \begin{vmatrix} +1 \\ -1 \end{vmatrix}; \quad a_1 = \begin{vmatrix} -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \end{vmatrix}; \quad a_2 = \begin{vmatrix} -1 \\ -1 \\ +1 \\ +1 \end{vmatrix}; \quad 0_1 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad 0_2 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad 0_4 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$b_1 = \begin{vmatrix} -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \end{vmatrix}; \quad b_2 = \begin{vmatrix} -1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ +1 \end{vmatrix}; \quad b_3 = \begin{vmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \\ +1 \end{vmatrix}; \quad 0_8 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (50)$$



Таблица 17 - Данные для построения симметричных квази-D-оптимальных планов

n	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>
2	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	-	-
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>		
	0 <sub>2</sub>	a <sub>0</sub>		
	a <sub>0</sub>	0 <sub>2</sub>		
	0 <sub>1</sub>	0 <sub>1</sub>		
3	0 <sub>4</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	-
	a <sub>1</sub>	0 <sub>4</sub>	a <sub>2</sub>	
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	0 <sub>4</sub>	
	0 <sub>1</sub>	0 <sub>1</sub>	0 <sub>1</sub>	
4	b <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
	0 <sub>8</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
	b <sub>1</sub>	0 <sub>8</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	0 <sub>8</sub>	b <sub>3</sub>
	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	-b <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	0 <sub>8</sub>
	0 <sub>2</sub>	0 <sub>2</sub>	0 <sub>2</sub>	0 <sub>2</sub>

Знак минус перед символом говорит об изменении всех знаков вектор-столбца на обратные, а произведение  $b_j b_i$  обозначает операцию поэлементного перемножения соответствующих столбцов. Указанные планы приведены для  $n = 2-4$  и области планирования в виде гиперкуба. Пример построения плана для  $n=3$  приведен на рис.14.

k	X1	X2	X3
1	0	-1	-1
2	0	+1	-1
3	0	-1	+1
4	0	+1	+1
5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	-1	0	+1
8	+1	0	+1
9	-1	-1	0
10	+1	-1	0
11	-1	+1	0
12	+1	+1	0
13	0	0	0

Рисунок 14 - Матрица симметричного квази-D-оптимального плана для  $n=3$

**Реализация экспериментальных планов второго порядка.** В целом последовательность этапов реализации планов второго порядка аналогичны тем, что рассматривались при изучении планов первого порядка, и решаются они во многом сходным образом. В качестве центра плана  $X^0$  можно использовать:

а) центр плана предыдущего этапа исследования, в частности центр плана первого порядка, если подобный план реализовывался на предшествующей стадии экспериментирования;

б) точку, где завершилась поисковая процедура, если на предыдущем этапе исследования производился поиск экстремального значения целевой функции;

Задание области планирования, как обычно, задача наиболее сложная и ответственная, поскольку от ее правильного решения во многом зависит качество получаемых результатов. Здесь возможны следующие варианты:

а) если намечается переход от планов первого порядка к планам второго порядка и требуется применить композиционный план, использующий в качестве ядра уже реализованный план первого порядка, то область планирования получается автоматически. Это относится, конечно, к ситуации, когда экспериментатор считает, что шаги варьирования  $\Delta X_i$  выбраны ранее правильно и нет необходимости в их коррекции;

б) выбор  $\Delta X_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , должен производиться с учетом в основном тех же обстоятельств, что и в планировании первого порядка.

Для планирования второго порядка шаг выравнивания  $\Delta X_i$  определяет фактически общие размеры области планирования, которая, как отмечалось, для нормированных переменных  $X_i = (X_i - X_i^0)/\Delta X_i$  чаще всего принимает форму гиперкуба или гипершара. Выбор между этими разновидностями областей планирования осуществляется с учетом конкретных особенностей объекта исследования или же из соображений, связанных с последующим применением искомой модели. Как упоминалось, область планирования в виде гиперкуба представляется более подходящей.

Число параллельных опытов в каждой точке плана выбирается, как и ранее, с учетом в основном уровня шума и правила: выше интенсивность помех - больше число параллельных опытов. Подобно планированию первого порядка здесь также применяют обычно равномерное дублирование, когда каждая строка матрицы плана повторяется одно и то же число  $t$  раз, причем чаще всего  $t = 2-4$ . Что касается порядка проведения отдельных опытов, здесь остаются в силе основные моменты, изложенные для планов первого порядка: проведение эксперимента по сериям ( $m$  серий по  $N$  опытов в каждой) и рандомизация внутри каждой серии. Конечным результатом реализации эксперимента является, как и раньше, таблица, содержащая все значения  $Y$  во всех опытах, т. е. всего  $mN$  значений  $Y_{ki}$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ ;  $i = 1, 2, \dots, m$ . Эти экспериментальные данные - материал для последующей обработки.

**Обработка экспериментальных данных.** Обработка экспериментальных данных, полученных с помощью планирования второго порядка, в принципе производится по той же схеме, что и для планов первого порядка. Перечислим кратко основные пункты этой схемы.

1. Вычисляют построчные дисперсии  $s_k^2$  каждого из  $N$  опытов и дисперсию шума  $s_e^2$ .

2. Проверка воспроизводимости эксперимента осуществляется, когда число параллельных опытов  $m > 1$ , с помощью критерия Кохрена.

3. Вычисление оценок коэффициентов регрессии, как обычно, производится методом наименьших квадратов, причем в отличие от обработки планов первого порядка здесь уже не существует простых общих расчетных соотношений. Для симметричных планов тем не менее удастся получить достаточно удобные расчетные формулы, существенно облегчающие вычисление в большинстве практических ситуаций:

$$b_o = K_1(n) \cdot \sum_{k=1}^N \bar{y}_k - K_2(n) \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 \bar{y}_k \quad (51)$$

$$b_i = K_3(n) \cdot \sum_{k=1}^N x_{ik} \bar{y}_k, i = 1, 2, \dots, n \quad b_{ij} = K_4(n) \cdot \sum_{k=1}^N x_{ik} x_{jk} \bar{y}_k, i, j = 1, 2, \dots, n; \quad i < j \quad (52)$$

$$b_{ii} = K_5(n) \cdot \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 \bar{y}_k + K_6(n) \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 \bar{y}_k - K_7(n) \cdot \sum_{k=1}^N \bar{y}_k, i = 1, 2, \dots, n; \quad (53)$$

Коэффициенты  $K_1(n)$ - $K_7(n)$  для определенного симметричного плана представлены в таблице 18.

Для несимметричных планов вычисление коэффициентов регрессии должно производиться в соответствии с основной расчетной схемой регрессионного анализа, т. е. путем решения системы нормальных уравнений. В этом случае все расчеты становятся весьма громоздкими.

4. Здесь во многом остаются справедливыми те соображения, которые были высказаны ранее, относительно различной трудоемкости вычислений для симметричных и несимметричных планов. В случае симметричных планов по-прежнему имеют место сравнительно несложные выражения для оценки дисперсий:

$$S_{bo}^2 = K_1(n) \cdot \frac{S_e^2}{m} \quad S_{bi}^2 = K_3(n) \cdot \frac{S_e^2}{m}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (54)$$

$$S_{bij}^2 = K_4(n) \cdot \frac{S_e^2}{m}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad i < j \quad S_{bii}^2 = K_7(n) \cdot \frac{S_e^2}{m}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (55)$$

Для несимметричных планов вновь оказывается необходимым использование общей расчетной схемы регрессионного анализа, что довольно трудоемко.

5. Проверка значимости коэффициентов регрессии осуществляется аналогично соответствующей проверке при использовании планов первого порядка. Заметим, что поскольку оценки  $b_o, b_n, \dots, b_{nn}$  коррелированы, если какой-то из коэффициентов регрессии отбрасывается из регрессионной модели после проверки значимости, остальные коэффициенты должны быть пересчитаны по формулам:

а) если отбрасывается коэффициент  $b_o$ :

$$b_{ii}^* = b_{ii} + \frac{K_2(n)}{K_1(n)} \cdot b_o, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad b_o^* = 0 \quad (56)$$

б) если отбрасывается коэффициент  $b_{qq}, q=1, 2, \dots, n$ :

Таблица 18 - Значения коэффициентов  $[K_1(n)-K_7(n)] \cdot 10^5$ 

n	Симметричный план	Область планирования	$K_1(n)$	$K_2(n)$	$K_3(n)$	$K_4(n)$	$K_5(n)$	$K_6(n)$	$K_7(n)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	ОЦКП; $3^2$	I	55556	33333	16667	25000	50000	0	50000
	РЦКП	II	20000	10000	12500	25000	12500	1875	14375
	Симплекс-суммируемый сим (12)	III	33333	33333	33333	133333	66666	16667	83333
	Квази-D-оптимальный	I	52941	29412	10000	12500	50000	-5882	44118
3	ОЦКП	II	43327	16745	9135	12517	22944	0	22944
	РЦКП	II	16634	5678	7321	12500	6250	689	6939
	Квази-D-оптимальный	I	10000	5000	12500	25000	25000	18750	43750
4	ОЦКП	II	35000	10000	5000	6250	12500	0	12500
	РЦКП	II	14285	3572	4167	6250	3125	372	3497
	Симплекс-суммируемый сим (1234)	III	10937	11951	14640	95988	47991	5062	53053
	Симплекс-суммируемый несим (112)	III	17343	18630	22340	143991	71995	8013	80008
	Квази-D-оптимальный	I	38235	11765	3125	4167	12500	735	13235
	ОЦКП; $N_c=2^5$	II	30999	6648	2696	4050	7706	0	7706
5	ОЦКП; $N_c=2^{5-1}$	II	29590	6723	4809	6245	8730	0	8730
	РЦКП; $N_c=2^5$	II	9878	1911	2310	12500	6250	585	6835
	РЦКП; $N_c=2^{5-1}$	II	15909	3409	4167	6250	3125	284	3409
	Симплекс-суммируемый сокр (135)	III	12483	12628	15863	112416	56471	4551	61122
	Симплекс-суммируемый несим (112)	III	15909	18182	22222	177778	88889	8081	96970
	Симплекс-суммируемый несим (1112)	III	16146	18840	21765	177775	88888	9286	98174
	Квази-D-оптимальный	I	42000	10000	2500	3125	12500	0	12500
	ОЦКП; $N_c=2^6$	II	27248	4727	1420	1552	5168	0	5168
6	ОЦКП; $N_c=2^{6-1}$	II	26348	4753	2627	3106	5619	0	5619
	РЦКП; $N_c=2^6$	II	62500	973	1246	1552	776	55	831
	РЦКП; $N_c=2^{6-1}$	II	11075	1870	2304	3112	1556	121	1677
	Симплекс-суммируемый сокр (1256)	III	6667	7135	11917	102377	51207	1194	52401
	Симплекс-суммируемый несим (122)	III	10337	12196	14915	141953	69911	5798	75709
	Квази-D-оптимальный	I	41111	7778	1786	2083	12500	556	11944
	$3^6$	I	1783	412	206	309	617	0	617
	ОЦКП; $N_c=2^{7-1}$	II	23730	3558	1403	1556	3945	0	3945
7	РЦКП; $N_c=2^{7-1}$	II	7031	974	1246	1553	776	49	825
	Симплекс-суммируемый сокр (26)	III	1000	1000	12499	122487	56173	3750	59923
	Симплекс-суммируемый несим (113)	I	8311	11024	14292	170619	85310	5144	90454
	Квази-D-оптимальный	I	25000	4167	1042	1250	6250	-174	6076
	$3^7$	I	686	137	69	103	205	0	206

I-гиперкуб; II-естественная область планирования; III-гипершар.

$$b_{ii}^* = b_{ii} - \frac{K_6(n)}{K_7(n)} \cdot b_{qq} \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad i \neq q; \quad b_{qq}^* = 0 \quad (57)$$

$$b_0^* = b_0 + \frac{K_2(n)}{K_7(n)} \cdot b_{qq} \quad (58)$$

Одновременно изменяются и коэффициенты  $K_i(n)$ , необходимые для последующих проверок значимости других коэффициентов регрессии данного вида и новой их коррекции в случае необходимости:

а) если отбрасывается коэффициент  $b_0$ :

$$K_1^*(n) = K_2^*(n) = 0; \quad K_6^*(n) = K_6(n) - \frac{K_2^2(n)}{K_1(n)} \quad (59)$$

$$K_7^*(n) = K_7(n) - \frac{K_2^2(n)}{K_1(n)} \quad K_5^*(n) = K_7^*(n) - K_6^*(n) \quad (60)$$

б) если отбрасывается коэффициент  $b_{qq}$ :

$$K_1^*(n) = K_1^*(n) - \frac{K_2^2(n)}{K_7(n)} \quad K_2^*(n) = K_2(n) \left[ 1 - \frac{K_6^2(n)}{K_7(n)} \right] \quad (61)$$

$$K_6^*(n) = K_6(n) \left[ 1 - \frac{K_6(n)}{K_7(n)} \right] \quad K_7^*(n) = K_7(n) - \frac{K_6^2(n)}{K_7(n)} \quad (62)$$

$$K_5^*(n) = K_7^*(n) - K_6^*(n) \quad (63)$$

Так, последовательно осуществляя проверку значимости коэффициентов регрессии, можно в конечном итоге получить модель, содержащую лишь значимые коэффициенты регрессии.

6. Составление уравнения регрессии со значениями факторов и коэффициентов регрессии, подставив в уравнения математической модели значимые коэффициенты регрессии. Рассчитывают предсказанные по уравнению регрессии значения отклика в точках спектра плана  $\hat{Y}_g$ .

7. Проверка адекватности уравнения регрессии.

8. Проверка работоспособности регрессионной модели.

Алгоритм реализации пунктов 6-8 аналогичен расчетам для планов первого порядка.

### 4.3. Порядок выполнения работы.

1. Согласно программе экспериментальных исследований, выполняемых в рамках диссертационной работы определить возможность использования планов второго порядка.

2. Выполнить планирование эксперимента. В случае отсутствия экспериментальных данных, получить задание у преподавателя.

3. Дать оценку регрессионным моделям, полученным с помощью планов первого и второго порядка.

4. Оформить отчет, отражающий основные расчеты и полученные регрессионные модели.

### 4.4. Контрольные вопросы.

- 3.1. В чем заключается цель работы?
- 3.2 Раскройте структуру планов второго порядка
- 3.3 Какие планы называют насыщенными?
- 3.4 Какие планы называют симметричными?
- 3.5 Раскройте методику построения центрально-композиционных планов.
- 3.6 В чем заключается различие между ортогональными и рототабельными центрально-композиционными планами?
- 3.7 Раскройте методику построения симплекс-суммируемых рототабельных планов.
- 3.8 Какие типы симплекс-суммируемых рототабельных планов Вам известны?
- 3.9. Раскройте методику построения симметричных квази D-оптимальных планов.
- 3.10. В чем заключается критерий D-оптимальности?
- 3.11. Охарактеризуйте регрессионные модели, получаемые с применением планов второго порядка.
- 3.12. Какое количество уровней может иметь фактор в планах второго порядка?
- 3.13. Дайте оценку адекватности регрессионных моделей, полученных с использованием планов второго порядка.
- 3.14. Обоснуйте выбор конкретного плана второго порядка.
- 3.15. Какие из рассмотренных планов второго порядка могут быть использованы для планирования эксперимента в диссертационной работе?

## Практическое занятие №5

### «Отчетность НИР»

**5.1. Цель работы:** ознакомление с требованиями к содержанию и оформлению отчета о проведении НИР и приобретение практических навыков его формирования.

**5.2. Основные теоретические сведения.** Окончательным этапом проведенного НИР является оформление отчета, содержание и оформление которого должно соответствовать ГОСТ 7.32-2017. Структура отчета должна включать:

- титульный лист;
- список исполнителей;
- реферат;
- содержание;
- термины и определения;
- перечень сокращений и обозначений;
- введение (общие данные об объекте исследования);
- основная часть отчета НИР;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Обязательные структурные элементы выделены полужирным шрифтом, остальные включают в отчет о НИР по усмотрению исполнителя НИР. Содержание многих структурных элементов была рассмотрена при оформлении отчета о патентных исследованиях, однако некоторые из них имеют иное содержание. Рассмотрим их подробнее.

**Введение** должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы, основание и исходные данные для разработки темы, обоснование необходимости проведения НИР, сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них, сведения о метрологическом обеспечении НИР. Во введении должны быть отражены актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.

**Основная часть отчета НИР** содержит данные, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненной НИР. Основная часть должна содержать:

- выбор направления исследований, включающий обоснование направления исследования, методы решения задач и их сравнительную оценку, описание выбранной общей методики проведения НИР;
- процесс теоретических и (или) экспериментальных исследований, включая определение характера и содержания теоретических исследований, методы исследований, методы расчета, обоснование необходимости

проведения экспериментальных работ, принципы действия разработанных объектов, их характеристики;

- обобщение и оценку результатов исследований, включающих оценку полноты решения поставленной задачи и предложения по дальнейшим направлениям работ, оценку достоверности полученных результатов и технико-экономической эффективности их внедрения и их сравнение с аналогичными результатами отечественных и зарубежных работ, обоснование необходимости проведения дополнительных исследований, отрицательные результаты, приводящие к необходимости прекращения дальнейших исследований.

**Заключение** должно содержать:

- краткие выводы по результатам выполненной НИР или отдельных ее этапов;
- оценку полноты решений поставленных задач;
- разработку рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов НИР;
- результаты оценки технико-экономической эффективности внедрения;
- результаты оценки научно-технического уровня выполненной НИР в сравнении с лучшими достижениями в этой области.

**Список использованных источников** должен содержать сведения об источниках, использованных при составлении отчета. Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1.

**В приложения** рекомендуется включать материалы, дополняющие текст отчета, связанные с выполненной НИР, если они не могут быть включены в основную часть. В приложения могут быть включены:

- дополнительные материалы к отчету;
- промежуточные математические доказательства и расчеты;
- таблицы вспомогательных цифровых данных;
- протоколы испытаний;
- заключение метрологической экспертизы;
- инструкции, методики, описания алгоритмов и программ, разработанных в процессе выполнения НИР;
- иллюстрации вспомогательного характера;
- копии технического задания на НИР, программы работ или другие исходные документы для выполнения НИР;
- протокол рассмотрения результатов выполненной НИР на научно-техническом совете;
- акты внедрения результатов НИР или их копии;
- копии охраняемых документов.

Приложения к отчету о НИР, в составе которых предусмотрено проведение патентных исследований, могут быть включены в отчет о патентных исследованиях.

### **5.3. Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с примером отчета НИР, представленным преподавателем.



2. Сформировать отчет НИР, включающий результаты исследований, проведенных в рамках диссертационной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается цель работы?
2. Раскройте структуру отчета НИР
3. Что должна содержать основная часть отчета НИР?
4. Что должно содержать заключение отчета НИР?
5. Что может быть включено в приложение отчета НИР?

## **Практическое занятие №6**

### **«Содержание этапов ОКР, разработка технического задания ОКР»**

**6.1. Цель работы:** ознакомление с последовательностью этапов ОКР и приобретение практических навыков оформления задания ОКР.

**6.2. Основные теоретические сведения.** Опытно-конструкторская работа - комплекс работ по разработке конструкторской и технологической документации на опытный образец, изготовлению и испытаниям опытного образца (опытной партии), выполняемых для создания (модернизации) продукции.

ОКР проводится на основе результатов, ранее выполненных НИР, с использованием опыта разработки и эксплуатации аналогичных по назначению или принципу действия изделий, а также на основе анализа передовых достижений и технического уровня отечественной и зарубежной техники. ОКР, производимое в рамках постановки продукции на производство (ГОСТ Р 15.301-2016) предусматриваются следующие основные этапы работ:

- разработка ТЗ на ОКР (ГОСТ 15.016-2016);
- проведение ОКР, включающую разработку технической документации (конструкторской, программной и технологической);
- изготовление образцов;
- испытания опытных образцов;
- приемка результатов ОКР заказчиком.

*При разработке ТЗ* учитывается информация об аналогичной продукции, содержащейся в различных базах данных. Рекомендуются предусматривать следующие положения:

- оценку технического уровня и качества продукции на основе одноименной карты по ГОСТ 2.116-84;
- прогноз развития требований на данную продукцию на предполагаемый период ее выпуска;
- рекомендуемые этапы модернизации (модифицирования) продукции с учетом прогноза развития требований:
- соответствие требованиям стран предполагаемого экспорта с учетом прогноза развития этих требований;
- безопасность и доступность эффективного использования продукции;
- требования к утилизации бракованной продукции, продукции с истекшими сроками хранения, выработавшей свой ресурс, морально устаревшей и отходов от нее, к удалению опасных отходов.

ТЗ на ОКР может состоять из разделов, располагаемых в следующем порядке:

1. Наименование, шифр ОКР, основание, исполнитель и сроки выполнения ОКР.

2. Цель выполнения ОКР, наименование и обозначение изделия.

3. Технические требования к изделию. Может состоять из следующих подразделов:

- состав изделия;
- требования назначения;
- требования электромагнитной совместимости (для радиоэлектронных средств),
- требования живучести и стойкости к внешним воздействиям;
- и т.д.

4. Техничко-экономические требования. Устанавливают требования, выполнение которых обеспечит разработку изделия, отвечающего условию экономической целесообразности его создания по критерию «эффективность — стоимость».

5. Требования к видам обеспечения. Устанавливают требования и нормы по видам обеспечения изделия для достижения заданной эффективности в процессе его применения и эксплуатации.

6. Требования к сырью, материалам.

7. Требования к консервации, упаковке и маркировке.

8. Требования к учебно-тренировочным средствам (при необходимости).

9. Специальные требования.

10. Требования к документации.

11. Этапы выполнения ОКР. Указывают наименования обязательных этапов. а при необходимости самостоятельных отчетных подэтапов и конкретный перечень работ, выполняемых на каждом этапе (подэтапе).

12. Порядок выполнения и приемки этапов ОКР.

В приложения к ТЗ на ОКР могут быть включены отчет о патентных исследованиях, перечень стандартов, используемых при создании изделия, справочные материалы, ограничения по использованию специальных материалов, покупных изделий, а также материалы, необходимые для разработки изделия (чертежи, схемы, расчеты).

Стадии разработки конструкторской документации на изделия и этапы выполнения работ устанавливает ГОСТ 2.103-2013. Стадии разработки КД могут выполняться в виде разработки проектной и рабочей КД и должны соответствовать требованиям Единой системы конструкторской документации. Разработка КД проектной стадии может включать следующие этапы:

**Техническое предложение** - совокупность проектных КД, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия на основании анализа ТЗ и различных вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентные исследования. Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного (технического) проекта. Перечень работ - по ГОСТ 2.118.

**Эскизный проект** - совокупность проектных КД, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление о назначении, об устройстве, принципе работы и габаритных

размерах разрабатываемого изделия, а также данные, определяющие его основные параметры. Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей КД. Перечень работ - по ГОСТ 2.119.

Технический проект - совокупность проектных КД, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей КД. Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки рабочей КД. Перечень работ - по ГОСТ 2.120. На стадии технического проекта не повторяют работы, проведенные на предыдущих стадиях, если они не могут дать дополнительных данных. В этом случае результаты ранее сделанных работ отражают в пояснительной записке.

В результате разработки КД производят выпуск образцов продукции, которые в дальнейшем подвергают испытаниям. На данном этапе выявляются скрытые проблемы изделия связанные с технологичностью. При необходимости КД корректируется и дополняется. С целью обеспечения возможности выпуска опытного образца производят подготовку производства, обеспечивающую технологическую готовность организации к изготовлению продукции в оговоренные сроки в заданных объемах в соответствии с требованиями КД ТД. Здесь производится разработка конструкции требуемого для производства опытного образца приспособлений, инструмента, выбор станочного пака оборудования.

Для оценки и контроля качества результатов полученных на определенных этапах ОКР опытные образцы продукции подвергают контрольным испытаниям по следующим категориям:

- предварительные испытания проводимые с целью предварительной проверки и оценки степени соответствия опытного образца продукции требованиям ТЗ определения окончательного объема изменений КД и доработки конструкции а так же объема повторных и (или) дополнительных видов испытаний для их включения в программу приемочных испытаний опытного образца.

- приемочные испытания проводимые с целью окончательной проверки и подтверждения соответствия ОКР к предъявлениям приемочной комиссии для их приемки.

Предварительные и приемочные испытания проводят по соответствующим программам и методикам испытаний, разрабатываемым и утверждаемым стороной несущей ответственность за проведение этих испытаний. По окончании предварительных испытаний разработчик присваивает разработанной КД и ТД литеру «О». Литеры КД присваивают по ГОСТ 2.103. По результатам приемочных испытаний КД корректируется, комиссией оформляется акт с присвоением КД литеры "О1".

По окончании приемочных испытаний опытные образцы или образцы опытной партии считаются выполнившими свои функции.

Дальнейшим этапом, следующим за ОКР при постановке изделия на производство следует этап освоения производства, который включает в себя следующие этапы:

- изготовление установочной серии (первой промышленной партии) продукции по КД литеры не ниже «О1».

- квалификационные испытания

- дальнейшую отработку конструкции на технологичность

- корректировку КД и ТД с присвоением документам литеры «А» (при освоении новой организацией ТД может быть присвоена литера «О1»).

### **6.3. Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с отчетом о проведенных НИР по тематике диссертационного исследования.

2. Ознакомиться примером технического задания на проведение ОКР, предоставленным преподавателем.

3. Сформулировать цель ОКР, согласно результатам проведенных НИР диссертационного исследования.

4. Разработать ТЗ на проведение ОКР.

### **Контрольные вопросы**

- 1.Содержание технического задания на проведение ОКР

2. Перечислите стадии разработки КД при ОКР

3. Содержание этапа испытаний опытных образцов изделия.

4. Содержание этапа приемки опытных образцов изделия

5. В чем отличие предварительных и приемочных испытаний?

## Литература

1. ГОСТ Р 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2006. – 16 с.
2. ГОСТ 15.101–98. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2003. – 6 с.
3. ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения порядок разработки и постановки продукции на производство. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2018. – 12 с.
4. ГОСТ 15.016-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание требования к содержанию и оформлению. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2020. – 28 с.
5. ГОСТ 7.1-2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание общие требования и правила составления. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2010. – 48 с.
6. ГОСТ 7.32-2017. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2018. – 6 с.
7. ГОСТ 7.90-2007. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Универсальная десятичная классификация. Структура, правила ведения и индексирования. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2010. – 23 с.
8. ГОСТ 2.103-2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2019. – 6 с.
9. ГОСТ 2.116-84. Карта технического уровня и качества продукции. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2007. – 14 с.
10. ГОСТ 2.118-2013. Единая система конструкторской документации. Техническое предложение. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2018. – 6 с.
11. ГОСТ 2.119-2013. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2018. – 9 с.
12. ГОСТ 2.120-2013. Единая система конструкторской документации. Технический проект. [Текст]. - М.: Изд-во «Стандартинформ», 2018. – 9 с.
13. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. Изд-во «Металлургия», 1968г., 155с.
14. Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с., ил.
15. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., 1965 г., 340 с., ил.