

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧ-
РЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.03.02 Основы научных исследований

Направление подготовки 35.03.06. Агроинженерия

Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	3
1.1 Лекция № 1 Наука и ее формы в учебном процессе и производстве.....	3
1.2 Лекция № 2 Поиск, обработка и использование научной Информации.....	5
1.3 Лекция № 3 Структурные элементы научного исследования.....	7
1.4 Лекция № 4 Теоретические исследования.....	10
1.5 Лекция № 5 Экспериментальные исследования.....	13
1.6 Лекция № 6 Методика статистической обработки экспериментальных данных.....	18
1.7 Лекция № 7 Теоретические и методические основы проведения многофакторных экспериментов.....	20
1.7 Лекция № 8 Аналитическая и геометрическая интерпретация результатов многофакторных экспериментов.....	24
2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ	27
2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Агротехническая оценка условий и результатов работы сельскохозяйственных агрегатов.....	27
2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 Методика изготовления Тензодатчиков.....	35
2.3 Лабораторная работа № ЛР-3 Приборы энергетической оценки работы сельскохозяйственных агрегатов.....	39
2.4 Лабораторная работа № ЛР-4 Методика проведения лабораторных и полевых экспериментов.....	42
2.5 Лабораторная работа № ЛР-5 Методика дисперсионного анализа	46
2.6 Лабораторная работа № ЛР-6 Дисперсионный анализ средствами Microsoft Excel.....	50
2.7 Лабораторная работа № ЛР-7 Экспертные оценки. Общие сведения об оценке зависимости между исследуемыми показателями.....	53
2.8 Лабораторная работа № ЛР-8 Построение криволинейной модели. Регрессионная статистика. Дисперсионный анализ.....	58
2.9 Лабораторная работа № ЛР-9 Поиск оптимального решения однофакторной задачи.....	63
2.10 Лабораторная работа № ЛР-10 Поиск оптимального решения многофакторной задачи.....	65
2.11 Лабораторная работа № ЛР-11 Интерпретация результатов многофакторных экспериментов	68
2.12 Лабораторная работа № ЛР-12 Построение криволинейной Модели	71
2.13 Лабораторная работа № ЛР-13 Регрессионная статистика.....	77
2.14 Лабораторная работа № ЛР-14 Дисперсионный анализ.....	79
2.15 Лабораторная работа № ЛР-15 Поиск оптимального решения однофакторной задачи.....	82

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Наука и ее формы в учебном процессе и производстве»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Введение.
2. Задачи курса и требования к его освоению.
3. Понятия о науке и научных исследованиях.
4. Наука и формы ее реализации в учебном процессе.

1.1.2 Краткое содержание вопросов

1. Введение. В современных условиях бурного развития научно-технической революции, интенсивного увеличения объема научной и научно-технической информации, быстрой сменяемости и обновления знаний особое значение приобретает подготовка в высшей школе высококвалифицированных специалистов, имеющих высокую общенаучную и профессиональную подготовку, способных к самостоятельной творческой работе, к внедрению в производственный процесс новейших и прогрессивных результатов.

С этой целью, в учебные планы многих специальностей вузов включена дисциплина «Основы научных исследований», широко внедряются элементы научных исследований в учебный процесс. Во внеучебное время бакалавры принимают участие в научно-исследовательской работе, ведущейся на кафедрах, в научных учреждениях вузов, в студенческих объединениях (студенческие НИИ, лаборатории, конструкторские, проектные, экономические и другие бюро, научные отряды, проблемные группы и кружки).

В результате обобщения положительного опыта, накопленного в высших учебных заведениях, в 2000 г. была разработана и утверждена новейшая типовая учебная программа по дисциплине «Основы научных исследований».

2. Задачи курса и требования к его освоению.

Кафедра, включающая в свой учебный план УИР, предварительно разрабатывает тематику исследований, обеспечивает ее научными руководителями, учебным персоналом, готовит методическую документацию, рекомендации по изучению специальной литературы.

Основной состав руководителей УИР составляют преподаватели, активно ведущие научную работу, а также научные сотрудники, инженеры и аспиранты.

Завершается УИР оформлением отчета, в котором студенты излагают результаты своей научной деятельности и представляют его для защиты перед специальной комиссией.

Перспективным направлением является создание в высших учебных заведениях учебно-научных лабораторий, в которых ведутся научные исследования и одновременно организуется учебно-исследовательская работа студентов.

В некоторых вузах учебно-исследовательской работе предшествует специальный курс по основам организации и методике проведения научных исследований, по организации библиографической и патентно-лицензионной работы.

Важной формой научно-исследовательской работы студентов, включенной в учебный процесс, является внедрение элементов творчества в учебные лабораторные работы. При выполнении таких работ студент самостоятельно составляет план исследований, подбирает необходимую аппаратуру, производит математическую обработку и анализ результатов эксперимента, оформляет научный отчет.

3. Понятия о науке и научных исследованиях.

Наука - сфера исследовательской деятельности, направленная на получение новых знаний о природе, обществе и мышлении. В настоящее время развитие науки связано с разделением и кооперацией научного труда, созданием научных учреждений, эксперимен-

тального и лабораторного оборудования. Являясь следствием общественного разделения труда, наука возникает вслед за отделением умственного труда от физического и превращением познавательной деятельности в специфический род занятий особой группы людей. Появление крупного машинного производства создает условия превращения науки в активный фактор самого производства. В условиях научно-технической революции происходит коренная перестройка науки, уже не просто следующей за развитием техники, а обгоняющей ее, становящейся ведущей силой прогресса материального производства. Оказывая стимулирующее воздействие на общественное производство, наука пронизывает все факторы общественной жизни. Необходимость научного подхода в материальном производстве, в экономике и в политике, в сфере управления и в системе образования заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую отрасль деятельности.

Современное общество во всех его элементах и во всех видах его деятельности пронизано влиянием науки и техники. В наши дни наука становится во все большей мере производительной силой общества. Все формы физического и умственного труда: медицина, транспорт, связь, быт современного человека - испытывают на себе глубокое преобразующее действие научно-технического прогресса.

Классификация наук - это раскрытие их взаимной связи на основании определенных принципов и выражение этих связей в виде логически обоснованного расположения или ряда. Марксистская классификация наук раскрывает взаимосвязь естественных, технических, общественных наук и философии. В основе этой классификации лежат специфические особенности изучаемых различными науками объектов материального мира. «Классификация наук, из которых каждая анализирует отдельную форму движения, является вместе с тем классификацией, расположением согласно внутренне присущей им последовательности, самих этих форм движения, и в этом именно и заключается ее значение»¹.

Проблема, классификации наук - это проблема структуры всего научного знаний. Чтобы правильно показать ее современное состояние, а тем более тенденции ее перспективного развития, необходимо взглянуть на нее с исторической точки зрения.

4. Наука и формы ее реализации в учебном процессе.

Научно-исследовательская работа студентов. Основной задачей высшей школы в современных условиях является подготовка специалистов всесторонне развитых, способных непрерывно пополнять и углублять свои знания, повышать идейный, теоретический и профессиональный уровень, активно участвовать в ускорении научно-технического прогресса. В этих целях в высшей школе постоянно осуществляются меры, направленные на повышение эффективности учебно-воспитательного процесса и научно-исследовательской работы путем интеграции науки, образования и производства, оперативного и гибкого обновления содержания учебного материала. Особое внимание уделяется развитию творческих способностей будущих специалистов путем внедрения активных форм обучения, призванных формировать у студентов самостоятельность и творческую активность, ответственный подход к овладению знаниями. Во многих вузах уже имеется значительный опыт в этом направлении, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, позволяющих вести диалог с ЭВМ. Все возрастающее значение в деле повышения качества подготовки специалиста, отвечающего требованиям науки, техники и культуры, приобретает научно-исследовательская работа, выполняемая профессорско-преподавательским составом. Она имеет триединую цель: решение актуальных научных и народнохозяйственных задач, улучшение качества подготовки будущих специалистов для народного хозяйства и повышение квалификации преподавателей. Чем выше научный потенциал вуза, тем содержательнее и современнее его учебно-методическая база.

Развитие научно-исследовательской работы в высших учебных заведениях создало условия для широкого привлечения студентов к научным исследованиям - важного фактора повышения качества подготовки специалистов в соответствии с современными требованиями научно-технической революции. Еще в 20-х годах при некоторых кафедрах стали создаваться студенческие научные кружки, наиболее талантливые студенты стали принимать участие в исследованиях, проводимых научно-педагогическими коллективами.

В последние годы такое участие студентов в научно-исследовательской работе перестало удовлетворять требованиям, предъявляемым к высшей школе страны со стороны бурно развивающихся науки, техники, производства. Возникла объективная потребность в том, чтобы все будущие специалисты в процессе обучения проходили школу научно-технического творчества, так как сам характер труда специалиста независимо от того, на каком участке трудится специалист, во все большей мере становится творческим и требует соответствующей подготовки. «Одним из основных способов развития аналитического и творческого мышления должно стать непременно участие студентов в научных исследованиях, реальных проектных и конструкторско-технологических разработках», - говорится в Основных направлениях перестройки высшего и среднего специального образования.

1. 2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Поиск, обработка и использование научной информации»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. *Источники информации.*
2. *Классификация научных документов.*
3. *Библиотечно-библиографическая классификация научно-технических документов.*

1.2.2 Краткое содержание вопросов

1. Источники информации.

Важное значение имеет задача обеспечения научных исследований удобной для восприятия информацией о важнейших научных достижениях, полученных в прошлом. Таким образом, задача развития общегосударственной системы сбора, обработки, хранения, эффективного поиска и передачи информации, основанной на использовании самых современных методов и средств (в первую очередь вычислительной техники), является чрезвычайно актуальной. Методы информатики успешно применяются для создания эффективных информационных систем и составляют основу для автоматизации научных исследований, проектирования, различных производственных процессов.

В настоящее время сформировалось понятие информатики как важной отрасли научного знания, включающей в себя несколько научных дисциплин, связанных с проблемой общения человека с ЭВМ, с созданием компьютерных систем.

В информатике можно выделить ряд направлений: техническое (инженерное), связанное с созданием вычислительной техники и разнообразных автоматизированных информационно-поисковых систем; программное, связанное с обеспечением вычислительной машины программами, позволяющими реализовать на ней задачи, решаемые пользователями; алгоритмическое, связанное с разработкой алгоритмов решения различных теоретических и практических задач и содержанием так называемых баз и банков данных.

Информационные системы. Разработка, создание и использование информационных систем для обеспечения широкого круга потребителей информацией о достижениях науки и техники, решения экономических и управленческих задач - важный раздел современной информатики. При этом термин «информатика» может использоваться для определения, как соответствующей научной дисциплины, так и связанной с ней области деятельности. Именно такой подход имеется в виду при использовании ряда родственных

терминов: общегосударственная система обработки и передачи информации, государственная система научно-технической информации, система информационного обеспечения ученых и специалистов и др. Обычно эти термины обозначаются понятиями «информационная система» и «система информационного обеспечения».

2. Классификация научных документов.

Структурной единицей, характеризующей информационные ресурсы и информационные продукты с количественной стороны, является научный документ 1, под которым понимается материальный объект, содержащий научно-техническую информацию и предназначенный для ее хранения и использования.

В зависимости от способа представления информации различают документы: текстовые (книги, журналы, отчеты и др.), графические (чертежи, схемы, диаграммы), аудиовизуальные (звукозаписи, кино- и видеофильмы), машиночитаемые (например, образующие базу данных, на микрофотоносителях) и др. Кроме того, документы подразделяются на первичные (содержащие непосредственные результаты научных исследований и разработок, новые научные сведения или новое осмысление известных идей и фактов) и вторичные (содержащие результаты аналитико-синтетической и логической переработки одного или нескольких первичных документов или сведения о них).

Первичные документы и издания. Как первичные, так и вторичные документы подразделяются на опубликованные (издания) и непубликуемые. С развитием информационной технологии это разграничение становится все менее существенным. В связи с наличием в непубликуемых документах ценной информации, опережающей сведения в опубликованных изданиях, органы НТИ стремятся оперативно распространять эти документы с помощью новейших средств репродуцирования.

3. Библиотечно-библиографическая классификация научно-технических документов.

Документные классификации. Традиционным средством упорядочения документальных фондов являются библиотечно-библиографические (документные) классификации. Наибольшее распространение получила Универсальная десятичная классификация (УДК), которая используется более чем в 50 странах мира и юридически является собственностью Международной федерации по документации (МФД), отвечающей за дальнейшую разработку таблиц УДК, их состояние и издание. В СССР УДК введена с 1963 г. в качестве единой системы классификации всех публикаций по точным, естественным наукам и технике. УДК является международной универсальной системой, позволяющей детально представить содержание документальных фондов и обеспечить оперативный поиск информации, обладает возможностью дальнейшего развития и совершенствования. Отличительными чертами УДК являются охват всех отраслей знаний, возможность неограниченного деления на подклассы, индексация арабскими цифрами, наличие развитой системы определителей и индексов. В РФ издаются полные, средние, отраслевые издания и рабочие схемы, а также методические пособия по классификации.

УДК состоит из основной и вспомогательных таблиц. Основная таблица содержит понятия и соответствующие им индексы, с помощью которых систематизируют человеческие знания. Первый ряд делений основной таблицы УДК имеет следующие классы: 0 - Общий отдел. Наука. Организация. Умственная деятельность. Знаки и символы. Документы и публикации; 1 - Философия; 2 - Религия; 3 - Экономика. Труд. Право; 4 - свободен с 1961 г.; 5 - Математика. Естественные науки; 6 - Прикладные науки. Медицина. Техника; 7 - Искусство. Прикладное искусство. Фотография. Музыка; 8 - Языковедение. Филология. Художественная литература. Литературоведение; 9 - Краеведение. География. Биография. История.

Каждый из классов разделен на десять разделов, которые, в свою очередь, подразделяются на десять более мелких подразделов и т. д. Для лучшей наглядности и удобства чтения всего индекса после каждых трех цифр, начиная слева, ставится точка (при чтении она не произносится, а отражается паузой).

Внутри каждого раздела применяется иерархическое построение от общего к частному с использованием того же десятичного кода. Детализация понятий осуществляется за счет удлинения, индексов, при этом каждая последующая присоединяемая цифра не меняет значения и смысла предыдущих, а лишь уточняет их, обозначая более частное, узкое понятие. Например: 5 - Математика. Естественные науки; 53- Физика, 536 - Термодинамика и т. д.

Наряду с основной таблицей в УДК имеются вспомогательные таблицы определителей, позволяющие проводить дальнейшую детализацию индексов. Эти определители отражают общие, повторяющиеся для многих предметов признаки. Определители делятся на специальные, используемые только в определенном разделе схемы, и общие, применяющиеся во всех ее разделах.

Общие определители УДК отражают категории и признаки, применяемые во всей системе: время (кавычки), место (скобки), язык (знак равенства), материалы (дефис, нуль, три), лица (дефис, нуль, пять), расы и народы (скобки, равенство), форму и характер материала (скобки, нуль); точки зрения (точка, нуль, нуль).

Примеры использования общих определителей: =20 (на английском языке); (083.74) (стандарты и другие нормативные документы); (47 + 57) (СССР); (-20) (англичине); «1982.08.22» (22 августа 1982 г.); 003.1 (экономическая точка зрения); 621.789.1-033.5 (стеклянная тара); 622-05 (горняки).

1. 3 Лекция №3 (2 часа).

Тема: «Структурные элементы научного исследования»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. *Выявление и формулировка проблемы.*
2. *Анализ методов научного исследования.*
3. *Планирование и организация исследования.*

1.3.2 Краткое содержание вопросов

1. Выявление и формулировка проблемы. Обоснование актуальности выбранной темы - начальный этап любого исследования. В применении к диссертации понятие "актуальность" имеет одну особенность. Диссертация, как уже указывалось, является квалификационной работой, и то, как ее автор умеет выбрать тему и насколько правильно он эту тему понимает и оценивает с точки зрения своевременности и социальной значимости, характеризует его научную зрелость и профессиональную подготовленность.

Освещение актуальности должно быть не многословным. Начинать ее описание издалека нет особой необходимости. Достаточно в пределах одной машинописной страницы показать главное - суть проблемной ситуации, из чего и будет видна актуальность темы. Таким образом, формулировка проблемной ситуации - очень важная часть введения. Поэтому имеет смысл остановиться на понятии "проблема" более подробно.

Любое научное исследование проводится для того, чтобы преодолеть определенные трудности в процессе познания новых явлений, объяснить ранее неизвестные факты или выявить неполноту старых способов объяснения известных фактов. Эти трудности в наиболее отчетливой форме проявляют себя в так называемых проблемных ситуациях, когда существующее научное знание оказывается недостаточным для решения новых задач познания.

Проблема всегда возникает тогда, когда старое знание уже обнаружило свою несостоятельность, а новое знание еще не приняло развитой формы. Таким образом, проблема в науке - это противоречивая ситуация, требующая своего разрешения. Такая ситуация

чаще всего возникает в результате открытия новых фактов, которые явно не укладываются в рамки прежних теоретических представлений, т.е. когда ни одна из теорий не может объяснить вновь обнаруженные факты.

Правильная постановка и ясная формулировка новых проблем нередко имеет не меньшее значение, чем решение их самих. По существу, именно выбор проблем, если не целиком, то в очень большой степени определяет стратегию исследования вообще и направление научного поиска в особенности. Не случайно принято считать, что сформулировать научную проблему - значит показать умение отделить главное от второстепенного, выяснить то, что уже известно и что пока неизвестно науке о предмете исследования.

Таким образом, если соискателю удастся показать, где проходит граница между знанием и незнанием о предмете исследования, то ему бывает нетрудно четко и однозначно определить научную проблему, а, следовательно, и сформулировать ее суть.

2. Анализ методов научного исследования. Метод - это способ достижения цели. Диалектический материализм учит, что метод объединяет субъективные и объективные моменты познания. Метод объективен, так как в разрабатываемой теории позволяет отражать действительность и ее взаимосвязи. Таким образом, метод является программой построения и практического применения теории. Одновременно метод субъективен, так как является орудием мышления исследователя и в качестве такового включает в себя его субъективные особенности.

С философской точки зрения методы можно разделить на: всеобщий (материалистическая диалектика), действующий во всех областях науки и на всех этапах исследования; общенаучные (т.е. для всех наук); частные (т.е. для определенных наук); специальные или специфические (для данной науки).

Такое разделение методов всегда условно, так как по мере развития познания один научный метод может переходить из одной категории в другую.

К общенаучным методам относятся: наблюдение, сравнение, счет, измерение, эксперимент, обобщение, абстрагирование, формализация, анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия, моделирование, идеализация, ранжирование, а также аксиоматический, гипотетический, исторический и системные методы.

Наблюдение - это способ познания объективного мира, основанный на непосредственном восприятии предметов и явлений при помощи органов чувств без вмешательства в процесс со стороны исследователя.

Сравнение - это установление различия между объектами материального мира или нахождение в них общего, осуществляемое как при помощи органов чувств, так и при помощи специальных устройств.

Счет - это нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров, характеризующих те или иные свойства.

Измерение - это физический процесс определения численного значения некоторой величины путем сравнения ее с эталоном.

Эксперимент - одна из сфер человеческой практики, в которой подвергается проверке истинность выдвигаемых гипотез или выявляются закономерности объективного мира. В процессе эксперимента исследователь вмешивается в изучаемый процесс с целью познания, при этом одни условия опыта изолируются, другие исключаются, третьи усиливаются или ослабляются. Экспериментальное изучение объекта или явления имеет определенные преимущества по сравнению с наблюдением, так как позволяет изучать явления в «чистом виде» при помощи устранения побочных факторов; при необходимости испытания могут повторяться и организовываться так, чтобы исследовать отдельные свойства объекта, а не их совокупность.

Обобщение - определение общего понятия, в котором находит отражение главное, основное, характеризующее объекты данного класса. Это средство для образования новых научных понятий, формулирования законов и теорий.

Абстрагирование - это мысленное отвлечение от несущественных свойств, связей, отношений предметов и выделение нескольких сторон, интересующих исследователя. Оно, как правило, осуществляется в два этапа. На первом этапе определяются несущественные свойства, связи и т. д. На втором - исследуемый объект заменяют другим, более простым, представляющим собой упрощенную модель, сохраняющую главное в сложном.

Различают следующие виды абстрагирования: отождествление (образование понятий путем объединения предметов, связанных по своим свойствам в особый класс); изолирование (выделение свойств, неразрывно связанных с предметами); конструктивизация (отвлечение от неопределенности границ реальных объектов) и, наконец, допущение потенциальной осуществимости. Ярким примером абстрактной модели действительности является идеальный газ, который широко используется в физике, термодинамике и других науках.

Формализация - отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и т. д.) и обеспечение возможности исследования реальных объектов и их свойств через формальное исследование соответствующих знаков. Аксиоматический метод- способ построения.

Идеальный газ - это теоретическая модель реального газа, в которой молекулы представляют собой материальные точки, не имеющие объема и сил межмолекулярного сцепления научной теории, при котором некоторые утверждения (аксиомы) принимаются без доказательств и затем используются для получения остальных знаний по определенным логическим правилам. Общеизвестной, например, является аксиома о параллельных линиях (не пересекаются), которая принята в геометрии без доказательств.

Анализ - метод познания при помощи расчленения или разложения предметов исследования (объектов, свойств и т.д.) на составные части. В связи с этим анализ составляет основу аналитического метода исследований.

Синтез - соединение отдельных сторон предмета в единое целое. Анализ и синтез взаимосвязаны, они представляют собой единство противоположностей. Различают следующие виды анализа и синтеза:

прямой или эмпирический метод (используют для выделения отдельных частей объекта, обнаружения его свойств, простейших измерений и т. п.);

возвратный или элементарно-теоретический метод (базирующийся на представлениях о причинно-следственных связях различных явлений);

структурно-генетический метод (включающий вычленение в сложном явлении таких элементов, которые оказывают решающее влияние на все остальные стороны объекта).

3. Планирование и организация исследования. От доказательства актуальности выбранной темы логично перейти к формулировке цели предпринимаемого исследования, а также указать на конкретные задачи, которые предстоит решать в соответствии с этой целью. Это обычно делается в форме перечисления (изучить..., описать..., установить..., выяснить..., вывести формулу и т.п.).

Формулировки этих задач необходимо делать как можно более тщательно, поскольку описание их решения должно составить содержание глав диссертационной работы. Это важно также и потому, что заголовки таких глав рождаются именно из формулировок задач предпринимаемого исследования.

Далее формулируются объект и предмет исследования. Объект - это процесс или явление, порождающее проблемную ситуацию и избранное для изучения. Предмет - это то, что находится в границах объекта.

Объект и предмет исследования как категории научного процесса соотносятся между собой как общее и частное. В объекте выделяется та его часть, которая служит предметом исследования. Именно на него и направлено основное внимание диссертанта, именно предмет исследования определяет тему диссертационной работы, которая обозначается на титульном листе как ее заглавие.

Актуальные методы исследования. Очень важным этапом научного исследования является выбор методов исследования, которые служат инструментом в добывании фактического материала, являясь необходимым условием достижения поставленной в такой работе цели.

Описание процесса исследования - основная часть диссертационной работы, в которой освещаются методика и техника исследования с использованием логических законов и правил.

Очень важный этап хода научного исследования - обсуждение его результатов, которое ведется на заседаниях профилирующих кафедр, ученых советов, на заседаниях, где дается предварительная оценка теоретической и практической ценности диссертации и коллективный отзыв.

Заключительным этапом хода научного исследования являются выводы, которые содержат то новое и существенное, что составляет научные и практические результаты проведенной диссертационной работы

1. 4 Лекция №4 (2 часа).

Тема: «Теоретические исследования»

1.4.1 Вопросы лекции:

1. *Задачи теоретических исследований.*
2. *Рабочая научная гипотеза.*
3. *Методы теоретических исследований.*

1.4.2 Краткое содержание вопросов

1. Задачи теоретических исследований. Целью теоретических исследований является выделение в процессе синтеза знаний существенных связей между исследуемым объектом и окружающей средой, объяснение и обобщение результатов эмпирического исследования, выявление общих закономерностей и их формализация.

Теоретическое исследование завершается формированием теории, не обязательно связанной с построением ее математического аппарата. Теория проходит в своем развитии различные стадии от качественного объяснения и количественного измерения процессов до их формализации и в зависимости от стадии может быть представлена как в виде качественных правил, так и в виде математических уравнений (соотношений).

Задачами теоретического исследования являются: обобщение результатов исследования, нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных; расширение результатов исследования на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований; изучение объекта, недоступного для непосредственного исследования; повышение надежности экспериментального исследования объекта (обоснования параметров и условий наблюдения, точности измерений). При проведении теоретических исследований, основанных на общенаучных методах анализа и синтеза, широко используются расчленение и объединение элементов исследуемой системы (объекта, явления).

Метод расчленения предложен французским философом и естествоиспытателем Р. Декартом. В своей работе «Правила для руководства ума» он пишет: «Освободите вопрос от всех излишних представлений и сведите его к простейшим элементам». В процессе

расчленения выделяются существенные и несущественные параметры, основные элементы и связи между ними. Следует, однако, отметить, что каждый объект можно расчленить разными способами и это существенно влияет на проведение теоретических исследований, так как в зависимости от способа расчленения процесс изучения объекта может упроститься или при неправильном расчленении, наоборот, усложниться. После расчленения объекта изучается вид взаимосвязи элементов и осуществляется моделирование этих элементов. Наконец, элементы объединяются в сложную модель объекта.

На всех этапах построения модели объекта производится его упрощение и вводятся определенные допущения. Последние должны быть осознанными и обоснованными. Неверные допущения могут приводить к серьезным ошибкам при формулировании теоретических выводов.

При построении моделей объекта исследования должны использоваться наиболее общие принципы и закономерности. Это позволяет учесть все допущения, принятые при получении формализованных теорий, и точно определять область их применения.

Противоположным расчленению является метод объединения и связанный с ним комплексный подход к изучению объекта, которые чаще всего объединяются под названием «общая теория систем» или «системология».

Общая теория систем (ОТС) возникла на основе изучения некоторых биологических объектов и явлений и впервые была сформулирована Л. Бераланфи.

Со временем в структуре общей теории систем выделились два направления. Цель первого направления - развитие ОТС как некоторой философской концепции, включающей в себя такие понятия, как принцип системности, системный подход, системный анализ и т.д.

В другом направлении общая теория систем представляет собой некоторый математический аппарат, претендующий на строгое описание закономерностей формирования и развития любых систем.

ОТС базируется на трех постулатах. Первый постулат утверждает, что функционирование систем любой природы может быть описано на основе рассмотрения формальных структурно-функциональных связей между отдельными элементами систем. Влияние материала, из которого состоят элементы систем, проявляется в формальных характеристиках системы (ее структуре, динамике и т.д.).

Второй постулат состоит в том, что организация системы может быть определена на основе наблюдений, проведенных извне посредством фиксирования состояний только тех элементов системы, которые непосредственно взаимодействуют с ее окружением.

Третий постулат заключается в том, что организация системы полностью определяет ее функционирование и характер взаимодействия с окружающей средой. Эти постулаты дают возможность определить организацию системы, исходя из характеристик взаимодействия с внешней средой, и характеристики взаимодействия, исходя из организации системы.

2. Рабочая научная гипотеза. Диалектическое требование изучать объект во всех его связях получило в общей теории систем свое дальнейшее развитие в форме ряда принципов: системности (целостное представление объектов); релятивности системы (Любое множество предметов можно рассматривать как систему и как несистему); универсальности системы. Этот принцип направлен против абсолютизации отдельных систем и способов их образования, т. е. любое множество можно рассматривать как систему и как несистему в определенных аспектах и фиксированных условиях.

Теоретические исследования включают: анализ физической сущности процессов, явлений; формулирование гипотезы исследования; построение (разработка) физической модели; проведение математического исследования; анализ теоретических решений; фор-

мулирование выводов. Если не удастся выполнить математическое исследование, то формулируется рабочая гипотеза в словесной форме с привлечением графиков, таблиц и т. д.

В технических науках необходимо стремиться к применению математической формализации выдвинутых гипотез и выводов.

В процессе теоретических исследований приходится непрерывно ставить и решать разнообразные по типам и сложности задачи в форме противоречий теоретических моделей, требующих разрешения.

В логико-психологическом аспекте задача - это несогласованные или противоречивые информационные процессы (системы), соотношение между которыми, вызывает потребность в их преобразовании. В процессе решения задачи противоречия между указанными информационными процессами или системами устраняются.

Структурно любая задача включает условия и требования. Условия - это определение информационной системы, из которой следует исходить при решении задачи. Требования - это цель, к которой нужно стремиться в результате решения. Условия и требования могут быть исходными, привлеченными и искомыми.

Исходные условия даются в первоначальной формулировке задачи (исходные данные). Если их оказывается недостаточно для решения задачи, то исследователь вынужден привлекать новые данные, называемые привлеченными.

Искомые данные или искомые условия - это привлеченные условия, которые требуется отыскать в процессе решения задачи.

Условия и требования задачи находятся в противоречии, они неоднократно сталкиваются, сопоставляются, сближаются между собой. Такое преобразование структурных компонентов задачи продолжается до тех пор, пока не будет решена сама задача.

3. *Методы теоретических исследований.* Решение практических задач математическими методами последовательно осуществляется путем математической формулировки задачи (разработки математической модели), выбора метода проведения исследования полученной математической модели, анализа полученного математического результата.

Математическая формулировка задачи обычно представляется в виде чисел, геометрических образов, функций, систем уравнений и т.п. Описание объекта (явления) может быть представлено с помощью непрерывной или дискретной, детерминированной или стохастической и другими, математическими формами.

Математическая модель представляет собой систему математических соотношений - формул, функций, уравнений, систем уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса.

Первым этапом математического моделирования является постановка задачи, определение объекта и целей исследования, задание критериев (признаков) изучения объектов и управления ими. Неправильная или неполная постановка задачи может свести на нет результаты всех последующих этапов.

Весьма важным на этом этапе является установление границ области влияния изучаемого объекта. Границы области влияния объекта определяются областью значимого взаимодействия с внешними объектами. Данная область может быть определена на основе следующих признаков: границы области охватывают те элементы, воздействие которых на исследуемый объект не равно нулю; за этими границами действие исследуемого объекта на внешние объекты стремится к нулю. Учет области влияния объекта при математическом моделировании позволяет включить в эту модель все существенные факторы и рассматривать моделируемую систему как замкнутую, т. е., с известной степенью приближения, независимую от внешней среды. Последнее значительно упрощает математическое исследование.

Следующим этапом моделирования является выбор типа математической модели. Выбор типа математической модели является важнейшим моментом, определяющим на-

правление всего исследования. Обычно последовательно строится несколько моделей. Сравнение результатов их исследования с реальностью позволяет установить наилучшую из них.

На этапе выбора типа математической модели при помощи анализа данных поискового эксперимента устанавливаются: линейность или нелинейность, динамичность или статичность, стационарность или нестационарность, а также степень детерминированности исследуемого объекта или процесса.

Линейность устанавливается по характеру статической характеристики исследуемого объекта. Под статической характеристикой объекта понимается связь между величиной внешнего воздействия на объект (величиной полезного сигнала) и максимальной величиной исследуемого объекта оказывается линейной. Линейность математической модели значительно упрощает ее дальнейший анализ, поскольку такая модель позволяет пользоваться принципом суперпозиции.

Принцип суперпозиции утверждает, что когда на линейную систему воздействуют несколько входных сигналов то каждый из них фильтруется системой так, как будто никакие другие сигналы на нее не действуют. Общий выходной сигнал линейной системы по принципу суперпозиции образуется в результате суммирования ее на каждый входной сигнал.

Установление динамичности или статичности осуществляется по поведению исследуемых показателей объекта во времени. Применительно к детерминированной системе можно говорить о статичности или динамичности по характеру ее выходной характеристики. Если среднее арифметическое значение выходного сигнала по разным отрезкам времени не выходит за допустимые пределы, определяемые точностью методики измерения исследуемого показателя, то это свидетельствует о статичности объекта. Применительно к вероятностным системам их статичность устанавливается по изменчивости уровня ее относительной организации.

1. 5 Лекция №5 (2 часа).

Тема: «Экспериментальные исследования»

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Классификация экспериментальных исследований.
2. Подготовка экспериментальных исследований.
3. Проведение экспериментальных исследований.

1.5.2 Краткое содержание вопросов

1. Классификация экспериментальных исследований. Важнейшей составной частью научных исследований является эксперимент, основой которого является научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями. Само слово эксперимент происходит от лат. *experire* ит - проба, опыт. В научном языке и исследовательской работе термин «эксперимент» обычно используется в значении, общем для целого ряда сопряженных понятий: опыт, целенаправленное наблюдение, воспроизведение объекта познания, организация особых условий его существования, проверка предсказания.

В это понятие вкладывается научная постановка опытов и наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явлений и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий. Само по себе понятие «эксперимент» означает действие, направленное на создание условий в целях осуществления того или иного явления и по возможности наиболее частого, т. е. не осложняемого другими явлениями. Основной целью эксперимента являются выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

Постановка и организация эксперимента определяются его назначением. Эксперименты, которые проводятся в различных отраслях науки, являются химическими, биоло-

гическими, физическими, психологическими, социальными и т. п. Они различаются по способу формирования условий (естественных и искусственных); по целям исследования (преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие); по организации проведения (лабораторные, натурные, полевые, производственные и т.п.); по структуре изучаемых объектов и явлений (простые, сложные); по характеру внешних воздействий на объект исследования (вещественные, энергетические, информационные); по характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования (обычный и модельный); по типу моделей, исследуемых в эксперименте (материальный и мысленный); по контролируемым величинам (пассивный и активный); по числу варьируемых факторов (однофакторный и многофакторный); по характеру изучаемых объектов или явлений (технологические, социометрические) и т. п. Конечно, для классификации могут быть использованы и другие признаки.

Из числа названных признаков естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования - (чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках).

Искусственный - эксперимент предполагает формирование искусственных условий (широко применяется в естественных и технических науках).

Преобразующий (созидательный) эксперимент включает активное изменение структуры и функций объекта исследования в соответствии с выдвинутой гипотезой, формирование новых связей и отношений между компонентами объекта или между исследуемым объектом и другими объектами. Исследователь в соответствии со вскрытыми тенденциями развития объекта исследования преднамеренно создает условия, которые должны способствовать формированию новых свойств и качеств объекта.

Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений. В процессе этого эксперимента констатируется наличие определенной связи между воздействием на объект исследования и результатом, выявляется наличие определенных фактов.

Контролирующий эксперимент сводится к контролю за результатами внешних воздействий на объект исследования с учетом его состояния, характера воздействия и ожидаемого эффекта.

Поисковый эксперимент проводится в том случае, если затруднена классификация факторов, влияющих на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных (априорных) данных. По результатам поискового эксперимента устанавливается значимость факторов, осуществляется отсеивание незначимых.

Решающий эксперимент ставится для проверки справедливости основных положений фундаментальных теорий в том случае, когда две или несколько гипотез одинаково согласуются со многими явлениями. Это согласие приводит к затруднению, какую именно из гипотез считать правильной.

Решающий эксперимент дает такие факты, которые согласуются с одной из гипотез и противоречат другой.

2. Подготовка экспериментальных исследований. Правильно разработанная методика экспериментального исследования предопределяет его ценность. Поэтому разработка, выбор, определение методики должно проводиться особенно тщательно. При определении методики необходимо использовать не только личный опыт, но и опыт товарищей и других коллективов. Необходимо убедиться в том, что она соответствует современному уровню науки, условиям, в которых выполняется исследование. Целесообразно проверить возможность использования методик, применяемых в смежных проблемах и науках.

Выбрав методику эксперимента, исследователь должен удостовериться в ее практической применимости. Это необходимо сделать даже в том случае, если методика давно

апробирована практикой других лабораторий, так как она может оказаться неприемлемой или сложной в силу специфических особенностей климата, помещения, лабораторного оборудования, персонала, объекта исследований и т. п.

Перед каждым экспериментом составляется его план (программа), который включает: цель и задачи эксперимента; выбор варьирующих факторов; обоснование объема эксперимента, числа опытов; порядок реализации опытов, определение последовательности изменения факторов; выбор шага изменения факторов, задание интервалов между будущими экспериментальными точками; обоснование средств измерений; описание проведения эксперимента; обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

Применение математической теории эксперимента позволяет уже при планировании определенным образом оптимизировать объем экспериментальных исследований и повысить их точность.

Важным этапом подготовки к эксперименту является определение его целей и задач. Количество задач для конкретного эксперимента не должно быть слишком большим (лучше 3...4, максимально 8...10).

Перед экспериментом надо выбрать варьируемые факторы, т.е. установить основные и второстепенные характеристики, влияющие на исследуемый процесс, проанализировать расчетные (теоретические) схемы процесса. На основе этого анализа все факторы классифицируются и составляется из них убывающий по важности для данного эксперимента ряд. Правильный выбор основных и второстепенных факторов играет важную роль в эффективности эксперимента, поскольку эксперимент и сводится к нахождению зависимостей между этими факторами. Иногда бывает трудно сразу выявить роль основных и второстепенных факторов. В таких случаях необходимо выполнять небольшой по объему предварительный поисковый опыт.

Основным принципом установления степени важности характеристики является ее роль в исследуемом процессе. Для этого процесс изучается в зависимости от какой-то одной переменной при остальных постоянных. Такой принцип проведения эксперимента оправдывает себя лишь в тех случаях, когда таких характеристик мало - 1...3. Если же переменных величин много, целесообразен принцип многофакторного анализа, рассматриваемый ниже.

Необходимо также обосновать набор средств измерений (приборов) другого оборудования, машин и аппаратов. В связи с этим экспериментатор должен быть хорошо знаком с выпускаемой в стране измерительной аппаратурой (при помощи ежегодно издающихся каталогов, по которым можно заказать выпускаемые отечественным приборостроением те или иные средства измерений). Естественно, что в первую очередь следует использовать стандартные, серийно выпускаемые машины и приборы, работа на которых регламентируется инструкциями, ГОСТами и другими официальными документами.

В отдельных случаях возникает потребность в создании уникальных приборов и установок, стендов, машин для разработки темы. При этом разработка и конструирование приборов и других средств должны быть тщательно обоснованы теоретическими расчетами и практическими соображениями о возможности изготовления оборудования. При создании новых приборов желательно использовать готовые узлы выпускаемых приборов или реконструировать существующие приборы. Ответственный момент - установление точности измерений и погрешностей.

Методы измерений - должны базироваться на законах специальной науки - метрологии, изучающей средства и методы измерений.

При экспериментальном исследовании одного и того же процесса (наблюдения и измерения) повторные отсчеты на приборах, как правило, неодинаковы. Отклонения объясняются различными причинами - неоднородностью свойств изучаемого тела (материал, конструкция и т.д.), несовершенностью приборов и классов их точности, субъективными

особенностями экспериментатора и др. Чем больше случайных факторов, влияющих на опыт, тем больше расхождения цифр, получаемых при измерениях, т. е. тем больше отклонения отдельных измерений от среднего значения. Это требует повторных измерений, а следовательно, необходимо знать их минимальное количество. Под потребным минимальным количеством измерений понимают такое количество измерений, которое в данном опыте обеспечивает устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности. Установление потребного минимального количества измерений имеет большое значение, поскольку обеспечивает получение наиболее объективных результатов при минимальных затратах времени и средств.

В методике подробно разрабатывается процесс проведения эксперимента, составляется последовательность (очередность) проведения операций измерений и наблюдений, детально описывается каждая операция в отдельности с учетом выбранных средств для проведения эксперимента, обосновываются методы контроля качества операций, обеспечивающие при минимальном (ранее установленном) количестве измерений высокую надежность и заданную точность. Разрабатываются формы журналов для записи результатов наблюдений и измерений.

Важным разделом методики является выбор методов обработки и анализа экспериментальных данных. Обработка данных сводится к систематизации всех цифр, классификации, анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи — таблицы, графики, формулы, номограммы, позволяющие быстро и доброкачественно сопоставлять полученное и проанализировать результаты. Все переменные должны быть оценены в единой системе единиц физических величин.

3. Проведение экспериментальных исследований. Особое внимание в методике должно быть уделено математическим методам обработки и анализу опытных данных, например, установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между варьирующими характеристиками, установлению критериев и доверительных интервалов и др. Диапазон чувствительности (нечувствительности) критериев должен быть стабилизирован (эксплицирован).

Результаты экспериментов должны отвечать трем статистическим требованиям: требование эффективности оценок, т.е. минимальность дисперсии отклонения относительно неизвестного параметра; требование состоятельности оценок, т. е. при увеличении числа наблюдений оценка параметра должна стремиться к его истинному значению; требование несмещенности оценок - отсутствие систематических ошибок в процессе вычисления параметров. Важнейшей проблемой при проведении и обработке эксперимента является совместимость этих трех требований.

После разработки и утверждения методики устанавливается объем и трудоемкость экспериментальных исследований, которые зависят от глубины теоретических разработок, степени точности принятых средств измерений (чем четче сформулирована теоретическая часть исследования, тем меньше объем эксперимента).

В зависимости от предварительной теоретической подготовки возможны три случая проведения эксперимента:

1) если теоретически получена аналитическая зависимость, которая однозначно определяет исследуемый процесс (например, $y = 3e^{-2x}$), то объем эксперимента для подтверждения данной зависимости оказывается минимальным, поскольку функция однозначно определяется экспериментальными данными;

2) если теоретическим путем установлен лишь характер зависимости (например, $y = -ae^{kx}$), т.е. задано семейство кривых, то экспериментальным путем необходимо определить как a , так и k и, следовательно, объем эксперимента возрастает;

3) если теоретически не удалось получить каких-либо зависимостей и разработаны лишь предположения о качественных закономерностях процесса, то целесообразен поиск

ковый эксперимент, при котором объем экспериментальных работ резко возрастает. В таких случаях уместно применять метод математического планирования эксперимента.

На объем и трудоемкость проведения экспериментальных работ существенно влияет вид эксперимента. Например, полевые эксперименты, как правило, всегда имеют большую трудоемкость, что следует учитывать при планировании.

После установления объема экспериментальных работ составляется перечень необходимых средств измерений, объем материалов, список исполнителей, календарный план и смета расходов.

План-программу рассматривает научный руководитель, обсуждают в научном коллективе и утверждают в установленном порядке.

При разработке плана-программы эксперимента всегда необходимо стремиться к его упрощению, наглядности без потери точности и достоверности. Это достигается предварительным анализом и сопоставлением результатов измерений одного и того же параметра различными техническими средствами, а также методов обработки полученных результатов. В условиях интенсификации проведения научных исследований важнейшее место в процессе подготовки эксперимента должно отводиться его автоматизации (АСНИ) с вводом экспериментальных данных непосредственно в ЭВМ, с расчетом результирующих показателей, с автоматическим управлением хода эксперимента (последовательности и повторимости замеров, определение средних значений, построение и т.д.).

Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований

Важное место в экспериментальных исследованиях занимают измерения. Согласно ГОСТ 16263-70, измерение - это нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Суть измерения составляет сравнение измеряемой величины с известной величиной, принятой за единицу (эталон).

Теорией и практикой измерения занимается метрология - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. К основным проблемам метрологии относятся: общая теория измерений; единицы физических величин (величины, которым по определению присвоено числовое значение, равное единице) и их системы (совокупность основных и производных единиц, образованная в соответствии с некоторыми принципами, например, Международная система единиц - СИ); методы и средства измерений (к методам относят совокупность приемов использования принципов и технических средств, применяемых при измерениях и имеющих нормирование метрологических свойств); методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений, при которых результаты измерения выражены в узаконенных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью, что возможно при единообразии средств измерения (средства измерения должны быть прогнурованы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам).

Важнейшие значения в метрологии отводятся эталонам и образцовым средствам измерений. К эталонам относятся средства измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающих воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим средствам измерения. Эталоны выполнены по особой спецификации. Эталонная база РФ содержит более 120 государственных эталонов, в том числе, например, единицы длины, массы и др. Образцовые средства измерений служат для проверки по ним рабочих (технических) средств измерения, постоянно используемых непосредственно в исследованиях.

Передача размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам осуществляется государственными и ведомственными метрологическими органами, составляющими метрологическую службу РФ (ГОСТ 16263-70), их деятельность обеспечивает единство измерений и единообразие средств измерений в стране.

1. 6 Лекция №6 (2 часа).

Тема: «Методика статистической обработки экспериментальных данных»

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Выборочный метод.
2. Грубые погрешности.
3. Описательная статистика.

1.6.2 Краткое содержание вопросов

1. Выборочный метод. Методы графической обработки результатов измерений

При обработке результатов измерений и наблюдений широко используются методы графического изображения, так как результаты измерений, представленные в табличной форме, иногда не позволяют достаточно наглядно характеризовать закономерности изучаемых процессов. Графическое изображение дает наиболее наглядное представление о результатах эксперимента, позволяет лучше понять физическую сущность исследуемого процесса, выявить общий характер функциональной зависимости изучаемых переменных величин, установить наличие максимума или минимума функции.

Для графического изображения результатов измерений (наблюдений), как правило, применяют систему прямоугольных координат. Если анализируется графическим методом функция $y=f(x)$, то наносят в системе прямоугольных координат значения x и y , - ,хпуп. Прежде чем строить график, необходимо знать ход (течение) исследуемого явления. Как правило, качественные закономерности и форма графика экспериментатору ориентировочно известны из теоретических исследований.

Точки на графике. необходимо соединять плавной линией так, чтобы она по возможности проходила ближе ко всем экспериментальным точкам. Если . соединить точки прямыми отрезками, то получим ломаную кривую. Она характеризует изменение функции по данным эксперимента. Обычно функции имеют плавный характер. Поэтому при графическом изображении результатов измерений следует проводить между точками плавные кривые. Резкое искривление графика объясняется погрешностями измерений. Если бы эксперимент повторили с применением средств измерений более высокой точности, то получили бы меньшие погрешности, а ломаная кривая больше бы соответствовала плавной кривой.

Однако могут быть и исключения, так как иногда исследуются явления, для которых в определенных интервалах наблюдается быстрое скачкообразное изменение одной из координат. Это объясняется сущностью физико-химических процессов, например фазовыми превращениями влаги, радиоактивным распадом атомов в процессе исследования радиоактивности и т. д. В таких случаях необходимо особо тщательно соединять точки кривой. Общее «осреднение» всех точек плавной кривой может привести к тому, что скачок функции подменяется погрешностями измерений.

Иногда при построении графика одна-две точки резко удаляются от кривой. В таких случаях вначале следует проанализировать физическую сущность явления, и если нет основания полагать наличие скачка функции, то такое резкое отклонение можно объяснить грубой ошибкой или промахом. Это может возникнуть тогда, когда данные измерений предварительно не исследовались на наличие грубых ошибок измерений. В таких случаях необходимо повторить измерение в диапазоне резкого отклонения данных замера. Если прежнее измерение оказалось ошибочным, то на график наносят новую точку. Если же повторные измерения дадут прежнее значение, необходимо к этому интервалу кривой отнестись особенно внимательно и тщательно проанализировать физическую сущность явления.

Часто при графическом изображении результатов экспериментов приходится иметь дело с тремя переменными $b=f(x, y, g)$. В этом случае применяют метод разделения переменных. Одной из величин z в пределах интервала измерений $Z - z_n$ задают несколько последовательных значений. Для двух остальных переменных x и y строят графики $y=f_i(x)$

при $2, = \text{const}$. В результате на одном графике получают семейство кривых $y=f(x)$ для различных значений g . Если необходимо графически изобразить функцию с четырьмя переменными и более. $A=f(b, x, y, g)$, то строят серию типа предыдущих, но каждый из них при $B, \dots, b_n = \text{const}$ или принимает из N переменных ($N-1$) постоянными и строят графики: вначале $\{N-1\}=f(x)$, далее $(N-2)=f_2(x)$, $(N-3)=f_3(x)$ и т.д.

Таким образом, можно проследить изменение любой переменной величины в функции от другой при постоянных значениях остальных. Этот метод графического анализа требует тщательности, большого внимания к результатам измерений. Однако он в большинстве случаев является наиболее простым и наглядным.

При графическом изображении результатов экспериментов большую роль играет выбор системы координат или координатной сетки. Координатные сетки бывают равномерными и неравномерными. У равномерных координатных сеток ординаты и абсциссы имеют равномерную шкалу. Например, в системе прямоугольных координат длина откладываемых единичных отрезков на обеих осях одинаковая.

Из неравномерных координатных сеток наиболее распространены полулогарифмические, логарифмические, вероятностные. Полулогарифмическая сетка имеет равномерную ординату и логарифмическую абсциссу. Логарифмическая координатная сетка имеет обе оси логарифмические, вероятностная - ординату обычно равномерную и по абсциссе - вероятностную шкалу.

2. Грубые погрешности. Анализ случайных погрешностей основывается на теории случайных ошибок, дающей возможность с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и оценить возможные ошибки.

Основу теории случайных ошибок составляют предположения о том, что при большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака встречаются одинаково часто; большие погрешности встречаются реже, чем малые (вероятность появления погрешности уменьшается с ростом ее величины); при бесконечно большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению всех результатов измерений, а появление того или иного результата измерения как случайного события описывается нормальным законом распределения.

Различают генеральную и выборочную совокупность измерений. Под генеральной совокупностью подразумевают все множество возможных значений измерений X_i или возможных значений погрешностей Δx_i . Для выборочной совокупности число измерений n ограничено, и в каждом конкретном случае строго определяется. Обычно считают, если $n > 30$, то среднее значение данной совокупности измерений \bar{x} достаточно приближается к его истинному значению.

Теория случайных ошибок позволяет оценить точность и надежность измерения при данном количестве замеров или определить минимальное количество замеров, гарантирующее требуемую (заданную) точность и надежность измерений. Наряду с этим возникает необходимость исключить грубые ошибки ряда, определить достоверность полученных данных и др.

Интервальная оценка с помощью доверительной вероятности. Для большой выборки и нормального закона распределения общей оценочной характеристикой измерения являются дисперсия D и коэффициент вариации.

Дисперсия характеризует однородность измерения. Чем выше D , тем больше разброс измерений. Коэффициент вариации характеризует изменчивость. Чем выше g , тем больше изменчивость измерений относительно средних значений, k_B оценивает также разброс при оценке нескольких выборок.

Доверительным называется интервал значений x_i в который попадает истинное значение x_a измеряемой величины с заданной вероятностью. Доверительной вероятностью (достоверностью) измерения называется вероятность того, что истинное значение

измеряемой величины попадает в данный доверительный интервал, т. е. в зону $a^{\wedge}.x.l^{\wedge}b$. Эта величина определяется в долях единицы или в процентах. Доверительная вероятность рл описывается выражением

$$p_l = p[a < x_d < B] = (1/2) [\Phi \{b - x\}/\sigma - \Phi \{a - x\}/\sigma],$$

где $\Phi(\cdot)$ - интегральная функция Лапласа.

3. Описательная статистика. В результате эксперимента получают статистический ряд обычно парных, однофакторных (x_i , g_i , -) или многофакторных (c_i , b_i , $C_{i,\dots}$) измерений. Статистические измерения подвергают обработке и анализу, подбирают эмпирические формулы и устанавливают их достоверность.

Перед подбором эмпирических формул необходимо еще раз убедиться в достоверности эксперимента, окончательно проверить воспроизводимость результатов по критерию Кохрена. Оценка пригодности гипотезы исследования, а также теоретических данных на адекватность, т.е. соответствие теоретической кривой экспериментальным данным, необходима во всех случаях на стадии анализа теоретико-экспериментальных исследований. Методы оценки адекватности основаны на использовании доверительных интервалов, позволяющих с заданной доверительной вероятностью определять искомые значения оцениваемого параметра. Суть такой проверки состоит в сопоставлении полученной или предполагаемой теоретической функции $y=f(x)$ с результатами измерений. В практике оценки адекватности применяют различные статистические критерии согласия.

Одним из таких критериев является критерий Фишера. Установление адекватности - это определение ошибки аппроксимации опытных данных. Для этого необходимо рассчитать экспериментальное (опытное) значение критерия Фишера - $k_{фЭ}$ и сравнить его с теоретическим (табличным), принимаемым при требуемой доверительной вероятности p_d (обычно $p_d = 0,95$). Если $k_{фЭ} < k_{фТ}$ — модель адекватна; если $k_{фЭ} \geq k_{фТ}$ — модель неадекватна.

1. 7 Лекция №7 (2 часа).

Тема: «Теоретические и методологические основы проведения многофакторных экспериментов»

1.7.1 Вопросы лекции:

1. Основные идеи теории планирования МФЭ
2. Планы и методы теории планирования МФЭ:
3. Методы оптимизации.

1.7.2 Краткое содержание вопросов

Высокая производительность и качество механической обработки деталей при минимальной себестоимости могут быть достигнуты при условии, что технологический процесс, инструмент и режимы резания являются оптимальными для данных условий обработки.

Под оптимальными режимами понимают такое сочетание значений факторов ТП, при которых ожидается наилучшее значение параметра оптимизации.

В качестве параметров оптимизации ТП могут быть приняты:

- а) показатели качества обработки (точность, шероховатость, и т.д.);
- б) показатели производительности и себестоимости обработки;
- в) показатели стойкости режущего инструмента, усилия, температура резания и другие.

В качестве факторов ТП могут рассматриваться физические и механические характеристики материалов обрабатываемой заготовки и инструмента, элементы режимов резания, геометрии режущего инструмента, применяемые СОТС и т.д.

Решение задачи оптимизации ТП на практике затруднено недостаточной информацией об исследуемом процессе и наличием большого числа факторов x_i , влияющих на параметры оптимизации y_j .

Эти обстоятельства практически исключают теоретический путь решения задачи оптимизации конкретных ТП. Экспериментальный путь решения этой задачи становится наиболее реальным с использованием прогрессивных методов теории планирования многофакторных экспериментов (МФЭ).

Использование этих методов позволяет не только построить математические модели используемых ТП в виде уравнений:

$$y_j = f(x_1; x_2 \dots x_n) \quad (1)$$

но и выполнить оптимизацию параметров y_j при проведении экспериментов.

МФЭ в отличие от классического (1-факторного) метода позволяет одновременно учитывать всё множество действующих факторов, при этом в каждом опыте варьируют одновременно все факторы на разных уровнях в соответствии с принятым планом. При этом большинство разработанных планов МФЭ являются оптимальными как по числу опытов, так и по точности эксперимента.

1. Основные идеи теории планирования МФЭ состоят в следующем.

Исследуемый ТП представляется в виде «чёрного» ящика – рис.1, на входе которого имеется множество факторов X_1, X_2, \dots, X_n , а выход характеризуется параметрами y_1, y_2, \dots, y_k .

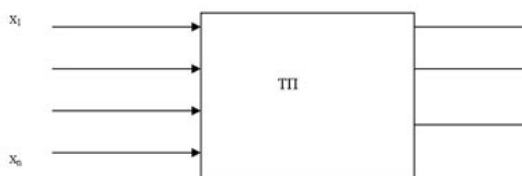


Рис. 1. Схема «чёрного» ящика

Искомые параметры в области факторного пространства представляют в виде разложения в ряд Тейлора по степеням факторов, при этом оценки коэффициентов ряда находят в результате статистической обработки заранее спланированного и проведённого МФЭ. В итоге получают уравнение регрессии (функцию отклика):

$$y' = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{i^2} x_i^2 + \dots \quad (2)$$

которое и является математической моделью исследуемого ТП.

Теоретической основой для нахождения коэффициентов $b_0, b_i, b_{ij}, b_{i^2}$ служит метод наименьших квадратов, для корректного применения которого необходимо соблюдать ряд предпосылок. Наш анализ показал, что для большинства ТП преимуществами МФЭ являются:

- а) чёткий план проведения эксперимента;
- б) обработка результатов МФЭ формализована, в связи с чем её возможно проводить на ЭВМ;
- в) с увеличением числа факторов точность эксперимента повышается;
- г) число необходимых опытов снижается в $3 \dots 10$ раз по сравнению с классическим методом (при одинаковой точности обоих методов);
- д) по аналитической зависимости (2), полученной при обработке результатов МФЭ, можно оценить влияние каждого из факторов x_i на исследуемый параметр y_j , что создаёт предпосылки для управления и оптимизации исследуемого ТП.

Отмеченные преимущества МФЭ определяют высокую эффективность их применения в практике технологии машиностроения и других отраслях производства.

Наши исследования показали широкий спектр возможных областей применения МФЭ в технологии машиностроения, в частности МФЭ используют для решения следующих практических задач:

- а) технологии металлов и композиционных материалов (литьё, обработка давлением, порошковая металлургия, производство биметаллов и т.д.);
- б) сварки (практически все виды), склеивания, термообработки, нанесения покрытий, и т.д.;
- в) обработки резанием (практически все её виды);
- г) разработки и внедрения нетрадиционных ТП (пластическое деформирование, ротационная вытяжка, вибрационная обработка, термофрикционная обработка, электрофизические методы обработки и т.д.)

В настоящее время автор располагает банком данных, содержащим более 300 примеров применения МФЭ в технологии машиностроения и других отраслях промышленности.

2. Планы и методы теории планирования МФЭ

Наш анализ показал, что наиболее широко при этом применяют следующие планы и методы теории планирования МФЭ:

- 1) планы первого порядка: ПФЭ (полного факторного эксперимента) и ДФЭ (дробного факторного эксперимента);
- 2) планы второго порядка: ОЦКП (ортогонального центрального композиционного плана) и РЦКП (рототабельного центрального композиционного плана);
- 3) оптимизация методом крутого восхождения(КВ) или симплексного планирования(СП).

Если ожидаемая математическая модель имеет вид:

$$y'_i = b_0 + \sum b_{ix}x_i + \sum b_{ij}x_i x_j \quad (3)$$

то рекомендуется план ПФЭ типа 2^k , где 2 – число уровней варьирования каждого из факторов, k – число факторов.

Если математическая модель ожидается в виде:

$$y' = b_0 + \sum b_{ix}x_i \quad (4)$$

то допустимо ограничиться планом ДФЭ типа 2^{k-p} , где p – число факторов, приравненных к взаимодействию (априорно незначимому) других факторов.

Если математическая модель ожидается в виде:

$$y' = b_0 + \sum b_{ix}x_i + \sum b_{ij}x_i x_j + \sum b_{iix}x_i^2 \quad (5)$$

то применяют планы ОЦКП или РЦКП. Эти планы строят на основе ПФЭ с добавлением опытов в центре плана и в «звёздных» точках (их координаты находят по соответствующим формулам).

Оптимизация методом КВ производится на основе математической модели вида (3) или (4) с последующим движением в направлении градиента исследуемого параметра. Метод СП не требует предварительного получения модели процесса и предполагает последовательное движение в направлении, противоположном наихудшему значению параметра, полученному в предыдущей серии опытов.

Построение планов I и II порядка, а также алгоритмы КВ и СП формализованы. Однако при планировании и проведении МФЭ необходимо учитывать и ряд неформализованных этапов.

Рассмотренные планы и методы МФЭ позволяют решать следующие практические задачи:

- а) анализ ТП обработки (по уравнению регрессии);
- б) установление контролируемых параметров ТП;
- в) оптимизация ТП.

Различные примеры и рекомендации по применению методов теории планирования МФЭ в технологии машиностроения приведены в [3], [4], [8],[12].

Так, в [12] решали задачу оптимизации ТП токарной обработки. В качестве параметра оптимизации у принята стойкость Т (в минутах) резца при обработке стали в заданном режиме. Исследовали влияние пяти факторов геометрии резца (углы γ , α , ϕ_1 , ϕ и радиус при вершине r).

Для решения этой задачи использовали план ДФЭ типа 25-2 и метод КВ. В итоге было достигнуто повышение стойкости резца на $\approx 60\%$ и определены оптимальные значения факторов, соответствующие максимальной стойкости.

Для достижения этого результата потребовалось всего 15 реальных опытов, т.е. условно на каждый из факторов пришлось по три опыта.

В другом примере [8] выполняли оптимизацию центровочных свёрл диаметром 4мм из стали Р6М5. Для трёх факторов геометрии сверла был реализован план ПФЭ типа 23 с последующим КВ. В итоге было достигнуто повышение стойкости свёрл в 6,5 раз, для чего потребовалось 11 опытов.

Задача исследования процесса торцевого сверхскоростного фрезерования бронзы Бр АЖ9-4 решалась в [7]. Исследовали влияние трёх факторов (V – скорости резания в диапазоне от 52,5 до 77,5 м/с, S – подачи на зуб в диапазоне от 0,025 до 0,05мм и t – глубины резания в пределах от 0,3 до 0,7мм) на параметр $y = Ra$ – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости.

Эксперимент был поставлен по плану РЦКП. Полученная математическая модель имеет вид:

$$Ra = 7,25 - 0,15V - 88,4S + 3,1t + 0,73VS + 0,05Vt + 0,001V^2 + 849,3S^2 \quad 6)$$

Этот эксперимент позволяет по уравнению (6) выявить влияние каждого из факторов на параметр Ra , и затем перейти к оптимизации.

3. Методы оптимизации.

Эффективной представляется оптимизация методом СП. Симплекс – это геометрическая фигура, имеющая в k -мерном пространстве $k+1$ вершину.

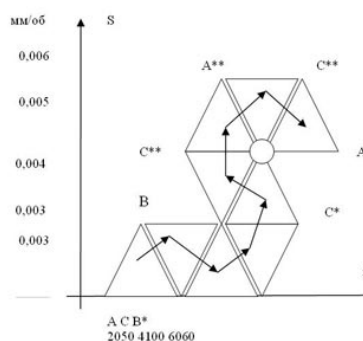
План МФЭ при СП – это совокупность $k+1$ опытов, условия проведения которых задают координатами вершин симплекса. Перемещение симплекса в факторном пространстве ведут путём зеркального отображения вершин, имеющих наихудшее значение параметра y . Координаты новой точки, в которой ставится следующий опыт, находят по соответствующим формулам[8].

Достигнув области оптимума, симплекс начинает вращение вокруг вершины с наилучшим значением параметра y , что является признаком завершения процесса оптимизации.

В методом СП решали задачу оптимизации режимов резания при сверлении отверстий. Варьировали n – число оборотов шпинделя и подачу s . В данном случае наибольшая стойкость сверла достигнута в точке В** (опыт №7) и составляет 24,8 мин., т.е. по сравнению с исходной стойкость возросла в 2,7 раза. Оптимальный режим резания составляет $S=0,005$ мм/об и $n=6060$ об/мин.

Приведённые примеры свидетельствуют о высокой эффективности применения научно обоснованных методов планирования МФЭ для исследования и оптимизации различных ТП механической обработки.

Однако эти методы ещё недостаточно используются при решении конкретных задач производства. Одной из причин такого положения является небольшое число специалистов, владеющих этими методами, а также недостаточный уровень подготовки инженерных кадров в этой области.



Кафедра «Технологии машиностроения» Санкт-Петербургского института машиностроения оказывает консультации и сотрудничает с предприятиями в решении конкретных задач производства с применением методов планирования МФЭ.

Кафедра использовала эти методы при исследовании процессов резания и шлифования. Данные работы выполняются с 2008 г. в кафедральной отраслевой научно-технической лаборатории «Высокоскоростной лезвийной и абразивной обработки».

В настоящее время автор использует МФЭ при исследованиях перспективных методов термофрикционной обработки. В МФЭ применили для исследования процесса термофрикционного формообразования отверстий.

1. 8 Лекция №8 (2 часа).

Тема: «Аналитическая и геометрическая интерпретация результатов многофакторных экспериментов»

1.8.1 Вопросы лекции:

1. Определение коэффициентов уравнения.
2. Построение геометрических образов функций отклика.
3. Анализ уравнений и поверхностей отклика.

1.8.2 Краткое содержание вопросов

1. Определение коэффициентов уравнения.

Предположим, что задано множество вещественных абсцисс x_1, \dots, x_n и соответствующие ординаты y_1, \dots, y_n . Здесь $x_1 < x_2 < \dots < x_n$, а каждое y_i – некоторое вещественное число, отвечающее x_i , определенное математически или являющееся результатом какого – либо наблюдения. Задача одномерной интерполяции состоит в построении функции f , такой, что $f(x_i) = y_i$ для всех i , и при этом $f(x)$ должна принимать «разумные» значения для x , лежащими между заданными точками. Если ординаты $\{y_i\}$ происходят от гладкой математической функции и ошибки в них не превосходят уровня округлений, то задача интерполяции имеет удовлетворительное решение.

Если точки (x, y) получены из очень точных экспериментальных наблюдений, то с определенной степенью приближения, их можно считать лишенными ошибок, и тогда вполне разумно интерполировать их гладкой функцией. Если точки (x, y) являются следствием сравнительно грубых экспериментов, то неправомерно требовать от интерполирующей функции точного соответствия начальному набору данных. Позволяя значениям $f(x_i)$ отличаться от y_i , можно очень хорошо отразить характер изменения данных и даже поправить некоторые из содержащихся в них ошибок.

Цели интерполяции разнообразны, но почти всегда в ее основе – желание получить быстрый алгоритм вычисления значений $f(x_i)$ для x , не содержащихся в таблице данных (x_i, y_i) . Очень важным для задачи интерполирования определение того, как должна вести себя приемлемая функция между заданными точками. В общем, эти точки могут быть интерполированы бесконечным множеством функций, в следствии необходимо иметь и кри-

терий выбора. Обычно критерии формулируются в терминах гладкости и простоты, например, функция f должна быть аналитична и максимальное значение второй производной $|f''(x)|$ по всему интервалу должно быть насколько возможно мало, или функция f должна быть полиномом наименьшей степени и т.д.

Ниже рассмотрим полиномиальную интерполяцию, а затем один вид кусочно - полиномиальной интерполяции, так называемую сплайн – интерполяцию.

Полиномиальная интерполяция.

Очень часто при выборе интерполяционной функции используют степенные полиномы. Полиномы имеют очевидное достоинство – их значения легко вычислить численными методами, используя алгоритм Горнера. При полиномиальной интерполяции в среде *MATLAB* используют функции *POLYFIT*, для расчета значений коэффициентов интерполяционного полинома, и *POLYVAL*, для расчета значения полинома в заданной точке

Рассмотрим пример использования степенных полиномов для интерполяции данных однофакторного эксперимента. Рассматривается задача о величине предельного расширения за водосбросными трубами в широкий нижний бьеф.

2. Построение геометрических образов функций отклика.

Аппроксимация данных полиномом *Функция POLYFIT* Синтаксис: $p = \text{polyfit}(x, y, n)$

Описание: Функция $p = \text{polyfit}(x, y, n)$ находит коэффициенты полинома $p(x)$ степени n , который аппроксимирует функцию $y(x)$ в смысле метода наименьших квадратов. Выходом является строка p длины $n+1$, содержащая коэффициенты аппроксимирующего полинома.

Вычисление полинома - *Функция POLYVAL* Синтаксис: $y = \text{polyval}(p, s)$

$Y = \text{polyval}(p, S)$ Описание: Функция $y = \text{polyval}(p, s)$, где $p = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_n \ p_{n+1}]$ - вектор коэффициентов полинома $p(x) = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1}$, вычисляет значение этого

полинома в точке $x = s$.

Функция $Y = \text{polyval}(p, S)$, где S - одномерный или двумерный массив, вычисляет значение этого полинома для каждого элемента массива, поэтому

$\text{size}(Y) = \text{size}(S)$.

Пример: вычислить значение полинома $p(x) = 3x^2 + 2x + 1$ в точке $x = 5$. $p = [3 \ 2 \ 1]$

Интерполяция экспериментальных данных $y = \text{polyval}(p, 5)$ *Результат:* $p = 3 \ 2 \ 1$

Сопутствующие функции: *POLYDER, POLYVALM.*

3. Анализ уравнений и поверхностей отклика.

Сплайн – интерполяция

Полиномиальная интерполяция и аппроксимация не обеспечивает непрерывность производных функций $y(x)$ и может давать значительные погрешности в промежутках между узлами. Кроме того, полиномиальная интерполяция плохо приспособлена для экстраполяции и, как правило, не обеспечивает правильное асимптотическое поведение функции $y(x)$ при изменении аргумента x за пределами интервала интерполяции. Нередко с увеличением числа узлов погрешность такой интерполяции не только уменьшается, но и начинает расти.

От этих недостатков свободна аппроксимация и интерполяция с помощью сплайн - функций. Математически сплайн (*spline*) – многочлен специального вида, принимающий в узлах значения $y(x) = y_i = y(x_i)$ и обеспечивающий непрерывность в них производной. Обычно достаточно обеспечить непрерывность первой и второй производных, для чего достаточно использовать сплайн – многочлены третьего порядка (кубические сплайны).

где $h_i = x_{i+1} - x_i$, $f_i(x) = y(x)$, $m_i = f''(x_i)$ и $i = 1, 2, 3, \dots, n$ (n – число узлов). При известных x , y и m эта формула задает сплайн – интерполяцию.

Если потребовать выполнение условия $\hat{f}_i(x)=y_i$, то приведенное выше выражение для кубического полинома приводит к системе линейных уравнений, из которых находят m :

Однако эта система не полностью определяет m . Чтобы полностью определить все m_i , нужно задать дополнительно граничные условия. Если они заданы в виде $m_1=0$ и $m_n=0$, получаем нормальные сплайн – функции; при $m_1 = m_n$ и $m_2 = m_{n+1}$ имеем периодическую сплайн функцию и т.д.

В данный алгоритм реализован в функции *spline*.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа №1 (2 часа).

Тема: «Агротехническая оценка условий и результатов работы сельскохозяйственных агрегатов»

2.1.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки работы с приборами и оборудованием оценки условий и результатов работы сельскохозяйственных агрегатов

2.1.2 Задачи работы:

1. Освоить методику определения твердости почвы.
2. Освоить методику определения удельного сопротивления почвы смятию.
3. Освоить методику определения фактической глубины обработки почвы сельскохозяйственными агрегатами.
4. Освоить методику определения количества эрозионно-опасных частиц в почве.
5. Получить практические навыки работы с тензометрическим и механическим твердомерами, специальным набором сит, аналитическими весами и обработки данных, полученных в процессе оценки работы почвообрабатывающих орудий.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

почвенная кювета, твердомер Ревякина, тензометрический твердомер ТМТ-1 с наборами наконечников, тензоусилитель 8АНЧ7М, осциллограф Н-700, мультиметр М890D, миллиметровая бумага, карандаш, набор почвенных сит, аналитические весы, совок, миллиметровая линейка, микрокалькулятор

2.1.4 Описание (ход) работы:

1.Определение твердости почвы

Для определения величины прочности (твердости) пахотного горизонта предназначен твердомер. Твердость почвы является важнейшей механической характеристикой и широко используется при оценке условий эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

1.1 Конструкция механического твердомера

Твердомер состоит (рис.1) из двух прямолинейных стальных стержней 1, соединенных на концах пластинами 2. Между стержнями 1 расположен ползун 3, на котором закреплены рукоятки 4. На ползуне 3 также установлена пустотелая трубка 5, в нижнюю торцевую поверхность которой упирается верхняя часть пружины 6. В нижнюю часть пружины 6 упирается тарелка 7, закрепленная на стержне 8, верхний конец которого находится в пустотелой трубке 5. Кроме того, нижняя часть пустотелой трубки 5 соединена с верхним концом стержня 8 шарниром 9. На длинном рычаге шарнира 9 в специальной гайке расположен карандаш 10. В торцевое отверстие нижнего конца стержня 8 ввернут винт 11 с широкой головкой (сменный плунжер).

На одном из стержней 1 установлена планшетка 12, на которой закреплена бумажная лента 13.

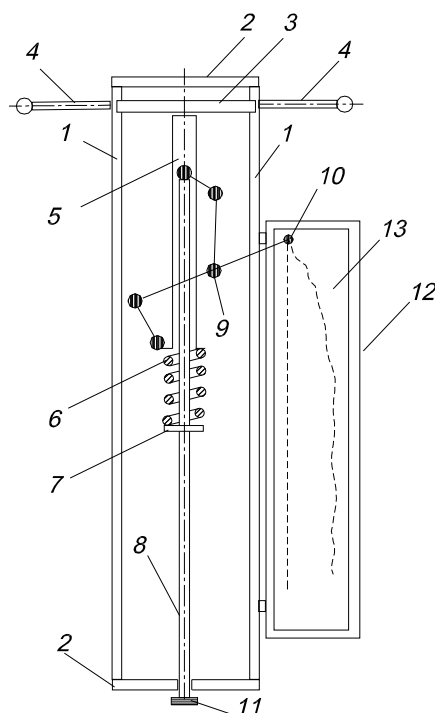


Рис. 1. Конструкция механического твердомера.

Если твердомер приподнять на некоторое расстояние от поверхности поля и переместить рукоятку 4 твердомера в сторону нижней пластины 2 крепления парных стержней 1, то усилие от руки передается через рукоятки 4 на пустотелую трубку 5 и затем через пружину 6 на стержень 8. Стержень 8 с плунжером 11 не встречают сопротивления, и поэтому карандаш 10 вычерчивает на бумажной ленте 13 прямую (нулевую) линию, расположенную от края на расстоянии 7...10 мм. Пружина 6 остается неизменной (по причине отсутствия сопротивления перемещению плунжера) и передает усилие на стержень 8 и плунжер 11.

Если твердомер опустить на поверхность поля и также рукоятки твердомера 4 перемещать в сторону нижней пластины 2 крепления парных стержней 1 то усилие от руки также, как и в первом случае, передается на рукоятки 4, пустотелую трубку 5, пружину 6, тарелку 7, стержень 8 и наконечник 11, но в данном случае пружина будет сжиматься так, как плунжер внедряется в почву и испытывает сопротивление, которое препятствует его перемещению, а следовательно и перемещению стержня, который верхним концом упирается в нижний конец пружины. Пружина 6 сжимается, стержень 8 вдвигается во внутреннюю полость трубки 5. Так как одним концом шарнир 9 закреплен на нижнем конце трубки 5, а другим на верхнем конце стержня 8, то рычаги шарнира 9 изменяют свое взаимное расположение. Рычаг с карандашом изменяет свое положение в зависимости от глубины погружения стержня, сопротивления почвы внедрению плунжера и вычерчивает на бумажной ленте кривую линию.

Чем больше сопротивление перемещению плунжера (чем тверже почва), тем сильнее сжимается пружина и тем круче подъем и смещение кривой линии над нулевой линией (рис. 2.).

Твердость почвы определяют почвенным твердомером в местах определения влажности. Глубину, на которой определяют значения твердости устанавливают в зависимости от назначения машины и характера испытания.

Перед определением твердости почвы самопишущим или интегрирующим твердомером, в зависимости от твердости грунта устанавливают соответствующие плунжер и пружину. Плунжер и пружина должны обеспечивать размещение рабочего следа карандаша пишущего устройства на три четвертых ширины бумажной ленты от нулевой линии. Начальный и восходящие участки линии твердограммы на бумажной ленте должны иметь наклон близкий к 75° относительно нулевой линии.

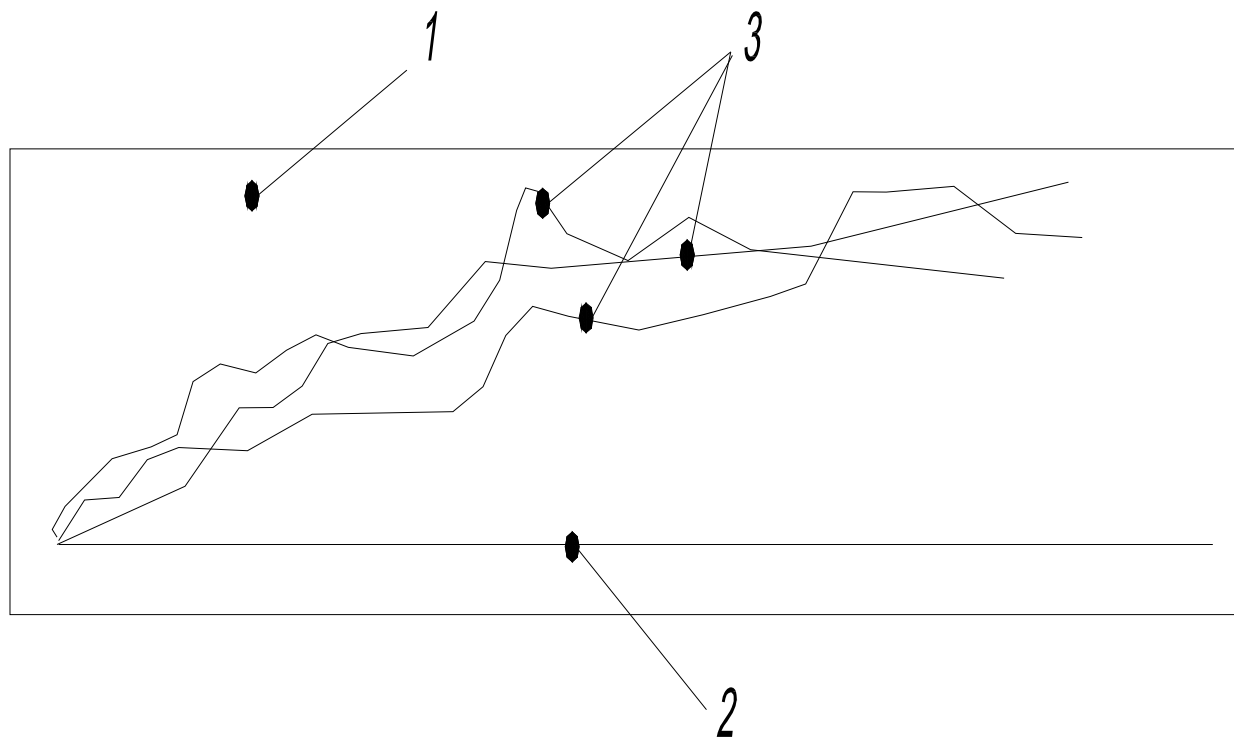


Рис. 2. Фрагмент твердограммы

При снятии каждой диаграммы проверяют качество ее записи, (отчетливость, четкость линии) и исправность работы карандаша. Острие записывающего карандаша при разгруженной пружине и плунжере должно совпадать с нулевой линией. Расхождение между ними не должно превышать ± 1 мм.

Величину средней твердости почвы P определяют по формуле:

$$P = \frac{h \cdot q}{S},$$

где: h – величина средней ординаты диаграммы твердости, м;

q – жесткость пружины, (1,08 н/мм);

S – площадь поперечного сечения плунжера, м^2 .

Твердость почвы может быть определена как для конкретной глубины, так и для заданного горизонта (слоя почвы, расположенного на интересующей глубине).

При определении твердости для всего почвенного горизонта или интересующего слоя почвы среднее значение ординаты h твердограммы получают измерением ряда ординат через выбранный интервал на нулевой линии.

Среднее значение твердости почвы на всем экспериментальном участке подсчитывают по нескольким диаграммам, полученным в разных местах поля. На одной бумажной ленте формируют не более 5 – 6 диаграмм.

Для определения твердости почвы горизонта на заданной глубине определяют ординаты на необходимой глубине (на отрезке нулевой линии).

Первичные результаты обработки диаграмм по определению твердости почвы за-
носят в ведомость (Форма 6).

В протокол (отчет) записывают данные средней твердости почвы по всему участку,
т.е. средние результаты из взятых проб по слою.

Форма 6

ВЕДОМОСТЬ

Определение твердости почвы

Место испытания _____

Участок _____

Орудие, машина _____

Диаметр плунжера _____

№ или усилие пружины _____

Масштаб пружины, н/м _____

Дата _____

Номер участка	Глубина взятия проб	Средняя высота ординаты по повторностям						Средняя высота ординат	Средняя твердость почвы, н/м ²
		1	2	3	4	5	Сумма		

Исполнитель _____

Ф.И.О., подпись _____

1.2 Определение твердости почвы тензометрическим твердомером

Тензометрический твердомер (рис.3) состоит из основания 1, стойки 2, подвижной каретки 6, тензозвена 7, стержня 10, винта 4 и рукоятки 5. К измерительному устройству 8 присоединяется тензоусилитель 9 с блоком питания 10.

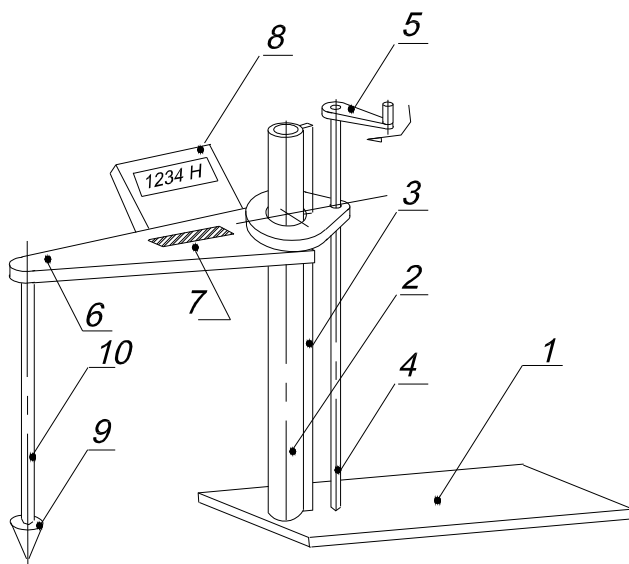


Рис. 3. Тензометрический твердомер.

Работа твердомера

Твердомер устанавливают на выбранном для измерения твердости почвы участке и вращением рукоятки _____ обеспечивают перемещение наконечника _____ вниз. При достижении наконечником поверхности поля и погружения в почву на заданную глубину наконечник испытывает сопротивление внедрению, которое через стержень передается на тен-

зозвено __, которое деформируется (изгибается). В результате деформации тензометрический мост __ регистрирует сигнал информации и по проводам передает на усилитель __.

2. Определение удельного сопротивления почвы смятию

В полевых и лабораторных условиях измерение удельного сопротивления смятию достигается следующим образом. Определяют величину угла трения материала конуса плунжера о почву φ (см вариант задания), расчетным путем определяют объем V смещенной почвы по зависимости

$$V = \pi \cdot \ell^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2},$$

с учетом внедренной в почву части ℓ длины конуса плунжера и величины угла α при его вершине. С помощью тензометрического твердомера определяют силу P , потребную для погружения конуса в почву. Непосредственное значение показателя удельного сопротивления почвы смятию вычисляют по зависимости:

$$\rho = \frac{3 P \cdot \sec \left(\frac{\pi}{2} - \varphi - \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \sin \varphi}{\pi \cdot \ell^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}},$$

Способ реализуется с помощью тензометрической установки, представленной на рис. 4.

Тензометрическая установка состоит из основания 1, на которой закреплена труба 2 с направляющей 3 и винт 4 с рукояткой 5. На трубе 2 установлен кронштейн 6 с тензорезисторами 7, указывающим прибором 8 и наконечником 9, закрепленном на штанге 10.

Тензометрическая установка работает следующим образом. Установку располагают на измеряемом участке поля и на площадку 1 становится человек, который своим весом прижимает прибор к поверхности почвы. Вращением рукоятки 5 обеспечивается погружение плунжера 9 на требуемую глубину. Сопротивление почвы внедрению наконечника 9 передается через штангу 10 на кронштейн 6, который деформируется, что и фиксируется резисторами 7, преобразуется в электрический сигнал и отображается на индикаторе прибора 8 в виде количественной величины удельного сопротивления почвы смятию.

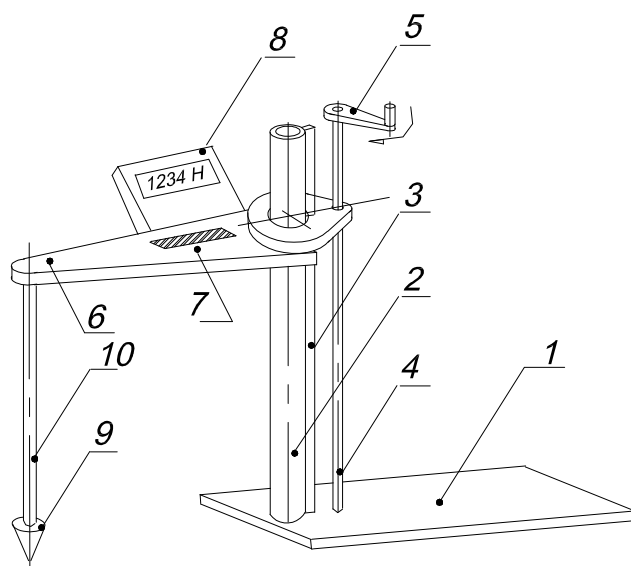


Рис. 4. Тензометрическая установка твердомера

3. Определение глубины обработки

Глубину обработки определяют путем погружения линейки (щупа) в почву до не-обработанного слоя после прохода агрегата в прямом и обратном направлениях в трех-кратном повторении.

Для машин с явно выраженным следом рабочих органов измерение (ширина захва-та рабочего органа более 0,5м) глубины проводят за 10 рабочими органами в 10 местах, а для машин типа штанговых и лаповых культиваторов – в 10 точках с равномерным ин-тервалом по ширине захвата и в 25 точках по ходу движения агрегата с интервалом 2...2,5 м.

За рабочими органами, образующими при проходе гребнистую поверхность, про-изводят парные измерения глубины на гребне и в борозде.

Точность измерений глубины обработанного слоя $\pm 0,5$ см. Данные измерения зано-сят в ведомость (форма 9).

Форма 9.

ВЕДОМОСТЬ

измерений глубины обработки

Марка машины _____ Вид работы _____

Место испытания _____ Культура _____

Опыт _____ Дата _____

Изме- рения	Глубина по рабочим органам									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Данные измерений глубины обработки, полученные по следу штанг лапчатого культиватора, обрабатывают методом математической статистики с целью определения средней глубины обработки, среднего квадратического отклонения и коэффициента ва-риации по каждой машине в каждой повторности по формулам:

$$\sum x_i$$

$$x = \frac{\sum x_i}{n}, \text{ см}$$

$$n$$

$$\sum (x_i - x)^2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n-1}}, \text{ см}$$

$$n-1$$

$$\sigma \cdot 100$$

$$V = \frac{\sigma \cdot 100}{x}, \%$$

$$x$$

где: x – среднее арифметическое значение глубины обработки по машине, см;

x_i – значение варьирующего признака, см;

n – количество измерений глубины;

σ – среднее квадратическое отклонение, см;

V – коэффициент вариации, %.

Среднюю глубину обработки, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации за опыт (по всей ширине машины, содержащей широкозахватные рабочие орга-ны) определяют по формулам:

$$x_{об} = \frac{x_1^2 + x_2^2 + x_n^2}{n'}, \text{ см}$$

$$\sigma_{об} = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_n^2}{n'}, \text{ см}$$

$$V_{об} = \frac{\sigma_{об}}{x_{об}} \cdot 100, \%$$

где n' - количество повторностей.

4.Определение количества эрозионно-опасных частиц в почве

Содержание эрозионно-опасных частиц почвами (частиц диаметром до 1 мм) определяется разностью процента частиц до и после прохода машины. Процент эрозионно-опасных частиц выражается как отношение веса частиц до 1 мм в весу все пробы. На участке учетных проходов по диагонали берутся 10 проб почвы до и после прохода орудия совком в слое 0...5 см.

Пробы доводят до воздушно – сухого состояния и подвергают рассеву на сите с диаметром отверстий 1мм. Фракции почвы взвешивают с точностью до 1г. Данные заносят в форму 12. Определяют процентное содержание частиц размером менее 1мм.

Определяют разность процента частиц до и после прохода агрегата.

Форма 12.

ВЕДОМОСТЬ

Определения эрозионно опасных частиц почвы в слое 0...5 см

Дата _____ Марка машины _____ Вид работ _____
Место испытаний _____ Скорость _____

по- вторно- сти	До обработки					После обработки				
	вес пробы	Менее 1 мм		Более 1 мм		Вес пробы	Менее 1 мм		Более 1 мм	
		г	%	Г	%		г	%	г	%
1										
2										
.										
10										
сумма										
среднее										

Исполнитель _____
Ф.И.О., подпись

Контрольные вопросы

1. Конструкция механического твердомера
2. Принцип работы механического твердомера
3. Методика обработки диаграмм твердости
4. Какие частицы считаются эрозионно-опасными
5. Методика определения глубины обработки

2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа).

Тема: «Методика изготовления тензодатчика»

2.2.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки изготовления тензодатчиков.

2.2.2 Задачи работы:

1. Изучить принцип действия тензодатчика.
2. Освоить методику навыки изготовления тензодатчика.
3. Изучить схемы подключения тензодатчиков.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Тензорезистор - фольговый или проволочный, эпоксидный клей, напильники, наждачная шкурка.

2.2.4 Описание (ход) работы:

Тензорезисторный датчик

В конструкции электронных весов применяются тензодатчики различных типов: тензорезисторный, индуктивный, емкостной, оптико-поляризационный, пьезоэлектрический, волоконно-оптический. Наибольшую популярность среди производителей электронных весов получили тензорезисторные датчики или тензодатчики.

Тензодатчик (тензорезисторный датчик) - преобразователь силы, измеряющий массу методом преобразования измеряемой величины (массы) в другую измеряемую величину (выходной сигнал) с учетом влияния силы тяжести и выталкивающей силы воздуха, действующих на взвешиваемый объект.

Тензодатчик состоит из (см. Рисунок 1):

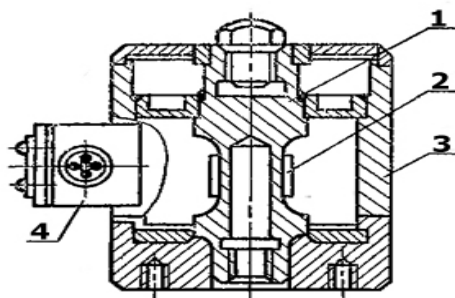


Рисунок 1 -Конструкция тензодатчика

1. Упругий элемент - тело воспринимающее нагрузку, изготавливается преимущественно из легированных углеродистых сталей предварительно термообработанные, для получения стабильных характеристик. Конструктивно может быть изготовлен в виде стержня, кольца, тел вращения, консоли. Широкое распространение получили конструкции в виде стержня (или нескольких стержней);

2. Тензорезистор - фольговый или проволочный резистор, приклеенный к упругому элементу (стержень), изменяющий свое сопротивление пропорционально деформации упругого элемента, которая в свою очередь пропорциональна нагрузке;

3. Корпус датчика - предназначен для защиты упругого элемента и тензорезистора от механических повреждений и влияния окружающей среды. Имеет различное исполнение IP (Ingress Protection Rating) в соответствии с международным стандартом IEC 60529 (DIN 40050, ГОСТ 14254-96);

4. Герметичный ввод (кабельный разъем) - предназначен для подключения тензодатчика ко вторичному прибору (весовой индикатор, электронный усилитель, АЦП) при помощи кабеля. Возможны варианты подключения по 6-ти и 4-х проводной схеме. Тензодатчики комплектуются, кабелями различной длины, существуют конструкции с возможностью замены кабеля;

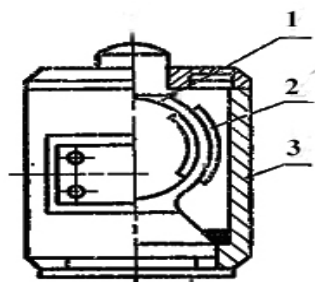


Рисунок 2 - Конструкция тензодатчика (кольцо)

На Рисунке 2 отображена конструкция тензодатчика с упругим элементом в виде кольца поз.1. Для правильно функционирования весов, важно соблюдать характер приложения нагрузки. Вектор силы, воздействующий на датчик, должен быть строго в направлении оси датчика (упругий элемент тензодатчика стержень, кольцо). Для исключения бокового влияния нагрузки, применяют самоустанавливающиеся (самоцентрирующиеся) конструкции. Поверхность опор таких тензодатчиков имеет сферическую выпуклую форму.

Принцип действия тензодатчика

Принцип действия тензодатчика основан на измерении изменения сопротивления тензорезисторов наклеенных на упругое тело, которое под действием силы (вес груза), деформируется и деформирует размещенные на нем тензорезисторы.

Конструкция тензорезистора представляет собой (Рисунок 3):

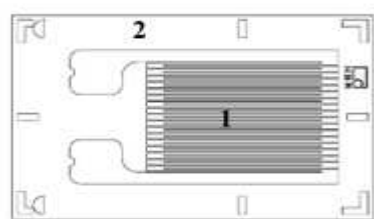


Рисунок 3 - Тензорезистор НВМ

1. Проволочная или фольговая решетка - изготавливается из металлической нити диаметром 20-25 мкм из константана, манганина;
2. Подложка - основание, на которое наносится решетка тензорезистора, выполнено из бумаги, пленки, синтетического материала стойкого к деформациям.

Электрическое соединение тензорезисторов

Широкое применение получила мостовая схема включения тензорезисторов – мост Уитстона. Схема представляет собой 4 тензорезистора, соединенных в электрический мост - Рисунок 4.

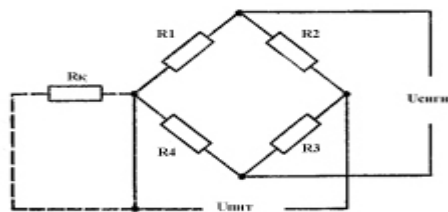


Рисунок 1 - Мост Уитстона

Упит – напряжение питания измерительного моста, как правило в интервалах 3-30В напряжения переменного или постоянного тока, Усигн – напряжение измерительной диагонали моста, R1, R2, R3, R4 – сопротивления плеч измерительного моста, Rк – добавочное сопротивление, необходимое для компенсации изменения температуры окружающей среды и выравнивания чувствительности.

Чувствительность - это отношение выходного напряжения сигнала Усигн [мВ (миллиВольт)] к входному напряжению питания тензометрического моста Упит [В (Вольт)]. Как правило, в паспортных данных к тензодатчику чувствительность (номинальная) обозначается Сп. К примеру, если указано Сп=2мВ/В и номинальная нагрузка Еmax=10т (тонн), то следует понимать, что при Упит=10В и воздействии груза массой 1 т., Усигн=2мВ.

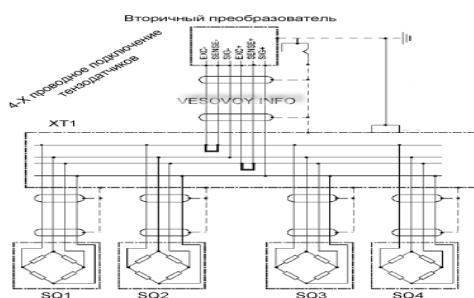
В настоящее время существует множество наработок в области тензометрии, технологиях изготовления тензорезисторов и тензодатчиков. Нормирующим документом для производителя тензодатчиков является Рекомендации МОЗМ (OIML) Р60 (R60). Производители весового оборудования применяют в конструкциях своих весов различные типы тензодатчиков, в зависимости от предназначения и условий эксплуатации весового оборудования.

От выбора типа тензодатчика, узла встройки, конструкции платформы, качества фундамента (основания) весов зависит надежность и качественная работа, которая невозможна без вторичных преобразователей сигнала или весовых индикаторов (терминалов).

Схемы подключения тензодатчиков

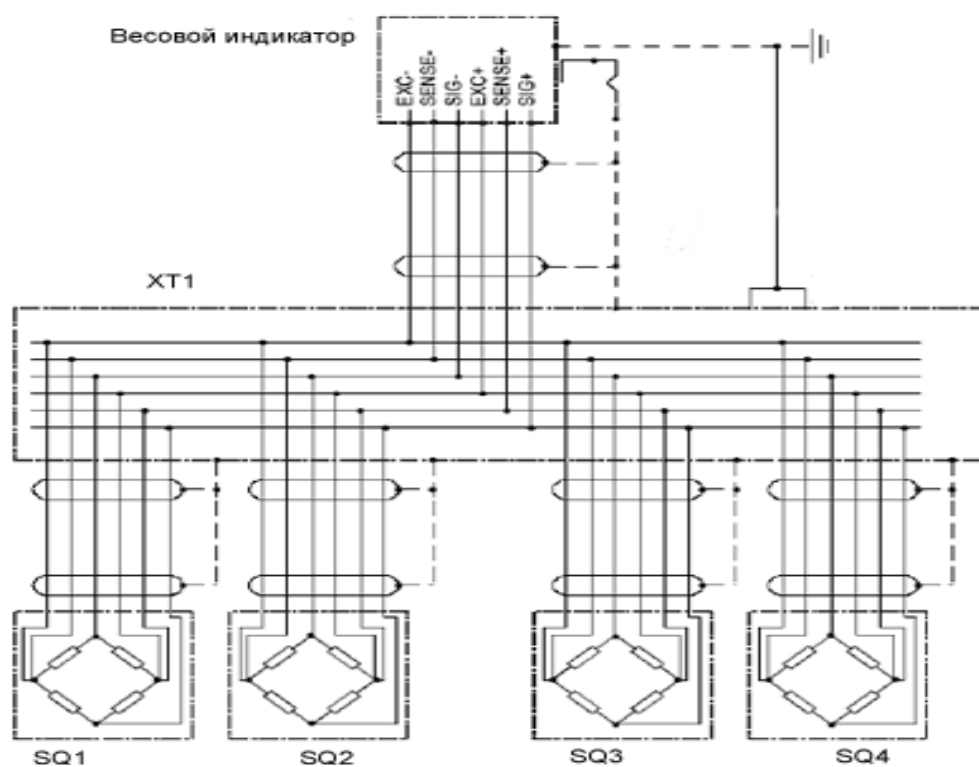
Существует два варианта схем подключения тензодатчиков веса к весовому терминалу или индикатору. Это 4-х проводная и 6-ти проводная схемы. Далее рассмотрим отличие этих двух схем подключения, достоинства и недостатки каждой.

В зависимости от типов весов грузоприемное устройство устанавливается на разное количество тензодатчиков. К примеру, для автомобильных весов применяется сборная конструкция грузоприемного устройства. Платформа состоит из двух полуплатформ, каждая из которых размещается на четырех тензодатчиках. Для подключения группы тензодатчиков применяют суммирующие платы ХТ1, которые позволяют не только объединить сигналы с тензодатчиков, но и произвести выравнивание угловых нагрузок за счет добавочных резисторов, включаемых в цепь сигнала датчиков. На рисунке представлена 4-х проводная схема подключения.



Данная схема подключения удобна в использовании, когда нет необходимости в изменении длин кабелей тензодатчиков, а также нет надобности в температурной компенсации изменения сопротивления питающего кабеля, вследствие изменения температуры окружающей среды. Данная схема проста в монтаже, можно использовать данную схему подключения 4-х проводных тензодатчиков. Существенно лучшими метрологическими характеристиками обладает 6-ти проводная схема подключения. 6-ти проводная схема

подключения полностью компенсирует влияние изменения сопротивления кабеля питания под воздействием внешних факторов.



2.3 Лабораторная работа №3 (2 часа).

Тема: «Приборы энергетической оценки работы сельскохозяйственных агрегатов»

2.1.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки работы с приборами и оборудованием оценки работы сельскохозяйственных агрегатов

2.1.2 Задачи работы:

1. Изучить показатели энергетической оценки.
2. Определить величины, измеряемые при испытаниях
3. Определить мощность, потребляемую самоходной сельскохозяйственной машиной или стационарным агрегатом

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Тяговый динамометр КЭД-2, тензоусилитель 8-АНЧ, топливный расходомер рулетка, секундомер.

2.1.4 Описание (ход) работы:

Показатели энергетической оценки

При энергетической оценке сельскохозяйственных машин и стационарных агрегатов с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора определяют следующие показатели:

- часовой расход топлива;
- мощность, потребляемую сельскохозяйственной машиной или стационарным агрегатом;
- удельные энергозатраты;
- тяговое сопротивление навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору;
- мощность, потребляемую на привод рабочих органов навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору.

При энергетической оценке стационарных агрегатов с приводом от асинхронных электрических двигателей определяют следующие показатели:

- активную и реактивную мощности, потребляемые стационарным агрегатом;
- средний коэффициент мощности;
- удельные энергозатраты.

Величины, измеряемые при испытаниях

Показатели энергетической оценки определяют по результатам измерений, полученных при испытаниях. На каждом режиме работы сельскохозяйственной машины или агрегата должны быть выполнены не менее четырех измерений каждой величины, продолжительностью не менее 20 с.

При определении показателей энергетической оценки самоходной сельскохозяйственной машины или стационарного агрегата с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора измеряют:

- время измерения;
- количество топлива, израсходованного за время измерения;
- длину пути, пройденного самоходной машиной за время измерения.

При определении показателей энергетической оценки навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору, измеряют:

Для сельскохозяйственных машин без привода рабочих органов от трактора:

- время измерения;
- тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины при выполнении технологических операций;
- длину пути, пройденного сельскохозяйственной машиной за время измерения.

Для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора дополнительно:

- крутящий момент вала отбора мощности;
- частоту вращения вала отбора мощности.

Для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом от трактора на рабочие органы дополнительно к показателям:

- расход рабочей жидкости, поступающей в механизмы привода рабочих органов;
- перепад давлений рабочей жидкости между входящей и выходящей линиями гидравлического привода.

Информацию о месте и дате испытаний, условиях и режимах работы, марке испытуемой машины, результатах измерений регистрируют на носителе информации или заносят в журнал испытаний.

Определение мощности, потребляемой самоходной сельскохозяйственной машиной или стационарным агрегатом

Мощность, потребляемая самоходной сельскохозяйственной машиной или стационарным агрегатом с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора определяют по зависимости эксплуатационной мощности двигателя, машины, трактора от часового расхода топлива, полученной при определении его регуляторной характеристики.

Регуляторную характеристику двигателя определяют по ГОСТ 7057 и ГОСТ 18509. Регуляторную характеристику двигателя следует определять перед проведением испытаний с установленным на сельскохозяйственных машинах или агрегатах устройством для измерения расхода топлива.

По регуляторной характеристике и загрузке двигателя внутреннего сгорания более чем 100% из двух значений мощности, полученных при одинаковом часовом расходе топлива, выбирается то, которое соответствует измеренной частоте вращения коленчатого вала $n_{ДВ}$.

Мощность, потребляемую навесными, полунавесными, прицепными, сельскохозяйственными машинами, присоединяемыми к трактору N_M , кВт, вычисляют по формулам:

- для сельскохозяйственных машин без привода рабочих органов от трактора

$$N_M = 10^{-3} R_v,$$

где R - тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, Н;

v - поступательная скорость движения сельскохозяйственной машины, м/с;

- для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора $N_M = 10^{-3} R_v + N_{ВОМ}$,

где $N_{ВОМ}$ - мощность привода рабочих органов от ВОМ, кВт;

- для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом от трактора на рабочие органы $N_M = 10^{-3} R_v + N_r$,

где N_r - мощность гидравлического привода на рабочие органы, кВт.

5.3.3 Допускается мощность, потребляемую навесными, полунавесными и прицепными сельскохозяйственными машинами N_M , кВт, вычислять по формуле

$$N_M = N_{T.a} - N_{T.C},$$

где $N_{T.a}$ - мощность, затрачиваемая машинно-тракторным агрегатом при выполнении технологических операций, кВт;

$N_{T.C}$ - мощность, потребляемая на самопередвижение трактора, кВт.

В этом случае при испытаниях дополнительно измеряют:

- частоту вращения коленчатого вала двигателя трактора, с-1;
- объем топлива, израсходованного двигателем машинно-тракторного агрегата и трактора при движении его без сельскохозяйственной машины, см³.

Мощности $N_{T.a}$ и $N_{T.C}$ определяют по величинам часового расхода топлива $G_{T.a}$ и $G_{T.C}$ методом, изложенным в 5.3.1.

Определение мощности, потребляемой на привод рабочих органов навесных, полунавесных, прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору.

Для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от ВОМ трактора $N_{ВОМ}$, кВт, вычисляют по формуле

$$N_{ВОМ} = 1,047 \cdot 10^{-4} M_{ВОМ} n_{ВОМ},$$

где $M_{ВОМ}$ - крутящий момент на хвостовике вала отбора мощности, Н•м;

$n_{ВОМ}$ - частота вращения хвостовика вала отбора мощности, об/мин.

Для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов N_r , кВт, вычисляют по формуле

$$N_r = \Delta p Q_{ж},$$

где Δp - перепад давлений между входящей и выходящей гидравлическими линиями привода, МПа;

$Q_{ж}$ - расход рабочей жидкости, дм³/с.

Определение показателей энергетической оценки сельскохозяйственных машин или агрегатов с циклическим режимом работы.

Определение тягового сопротивления навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору

Тяговое сопротивление навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин определяют прямым или косвенным измерением.

Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины R_M , Н, вычисляют по формуле

$$R_M = R_{t.a} - R_{T.C},$$

где $R_{t.a}$ - тяговое сопротивление машинно-тракторного агрегата при выполнении технологических операций, Н;

$R_{T.C}$ - тяговое сопротивление трактора при его движении без сельскохозяйственной машины, Н.

Показатели, определяемые при энергетической оценке сельскохозяйственных машин с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора

Наименование показателя	Значение показателя
Режим работы: - скорость движения, км/ч - ширина захвата, м - глубина хода рабочих органов, см - производительность, га/ч (т/ч, т•км/ч) и др. в зависимости от типа машины Расход топлива, кг/ч Мощность, потребляемая машиной, агрегатом, кВт Удельные энергозатраты машины, МДж/га (МДж/т, МДж/т•км) Тяговое сопротивление машин, Н Мощность, затрачиваемая на привод рабочих органов, кВт	

2.4 Лабораторная работа №4 (2 часа).

Тема: «Методика проведения лабораторных и полевых экспериментов»

2.4.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки проведения лабораторных и полевых экспериментов.

2.4.2 Задачи работы:

1. Усвоить общие понятия лабораторных и полевых экспериментов
2. Освоить методику постановки и организации эксперимента
3. Спланировать решающий эксперимент

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указание, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.4.4 Описание (ход) работы:

Общие понятия лабораторных и полевых экспериментов

Экспериментом мы называем ту часть исследования, которая заключается в том, что исследователь осуществляет манипулирование переменными, и наблюдает эффекты производимые этим воздействием на другие переменные. Эксперимент может быть многомерным в следующих двух отношениях. План эксперимента может содержать более чем одну «независимую» переменную (пол, год обучения, метод обучения арифметике, тип и размер шрифта в учебнике и т. д.). Или более чем одну «зависимую» переменную (число ошибок, скорость, количество правильных ответов, данные различных тестов и т. д.).

Что же представляет из себя эксперимент и какие основные принципы проведения экспериментов?

Целью всякого эксперимента является проверка гипотез о причинной связи между явлениями: исследователь создает или изыскивает определенную ситуацию, приводит в действие гипотетическую причину и наблюдает за изменениями в естественном ходе событий, фиксирует их соответствие или несоответствие предположениям, гипотезам.

Само по себе понятие «эксперимент» означает действие, направленное на создание условий в целях осуществления того или иного явления и по возможности наиболее частого, т. е. не осложняемого другими явлениями. Основной целью эксперимента являются выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

Постановка и организация эксперимента

Постановка и организация эксперимента определяются его назначением. Эксперименты, которые проводятся в различных отраслях науки, являются химическими, биологическими, физическими, психологическими, социальными и т. п. Они различаются по способу формирования условий (естественных и искусственных); по целям исследования (преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие); по организации проведения (лабораторные, натурные, полевые, производственные и т.п.); по структуре изучаемых объектов и явлений (простые, сложные); по характеру внешних воздействий на объект исследования (вещественные, энергетические, информационные); по характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования (обычный и модельный); по типу моделей, исследуемых в эксперименте (материальный и мысленный); по контролируемым величинам (пассивный и активный); по числу варьируемых факторов (однофакторный и многофакторный); по характеру изучаемых объектов или явлений (технологические, социометрические) и т. п. Конечно, для классификации могут быть использованы и другие признаки.

Из числа названных признаков естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования (чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках). Искусственный эксперимент предполагает формирование искусственных условий (широ-

ко применяется в естественных и технических науках). Преобразующий (созидательный) эксперимент включает активное изменение структуры и функций объекта исследования в соответствии с выдвинутой гипотезой, формирование новых связей и отношений между компонентами объекта или между, исследуемым объектом и другими объектами. Исследователь в соответствии со вскрытыми тенденциями развития объекта исследования преднамеренно создает условия, которые должны способствовать формированию новых свойств и качеств объекта. Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений. В процессе этого эксперимента констатируется наличие определенной связи между воздействием на объект исследования и результатом, выявляется наличие определенных фактов. Контролирующий эксперимент сводится к контролю за результатами внешних воздействий на объект исследования с учетом его состояния, характера воздействия и ожидаемого эффекта. Поисковый эксперимент проводится в том случае, если затруднена классификация факторов, влияющих на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных (априорных) данных. По результатам поискового эксперимента устанавливается значимость факторов, осуществляется отсеивание незначимых. Решающий эксперимент ставится для проверки справедливости основных положений фундаментальных теорий в том случае, когда две или несколько гипотез одинаково согласуются со многими явлениями. Это согласие приводит к затруднению, какую именно из гипотез считать правильной.

Решающий эксперимент

Решающий эксперимент дает такие факты, которые согласуются с одной из гипотез и противоречат другой. Примером решающего эксперимента служат опыты по проверке справедливости ньютоновской теории истечения света и волнообразной теории Гюйгенса. Эти опыты были поставлены французским ученым Фуко (1819—1868). Они касались вопроса о скорости распространения света внутри прозрачных тел. Согласно гипотезе истечения, скорость света внутри таких тел должна быть больше, чем в пустоте. Но Фуко своими опытами доказал обратное, т. е. что в менее плотной среде скорость света большая. Этот опыт Фуко и был тем решающим опытом, который решил спор между двумя гипотезами (в настоящее время гипотеза Гюйгенса заменена электромагнитной гипотезой Максвелла).

Другим примером решающего эксперимента может служить спор между Птолемеем и Коперником о движении Земли. Решающий опыт Фуко с маятником окончательно решил спор в пользу теории Коперника.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т. д. Чаще всего в лабораторном эксперименте изучается не сам объект, а его образец. Этот эксперимент позволяет доброкачественно, с требуемой повторностью изучить влияние одних характеристик при варьировании других, получить хорошую научную информацию с минимальными затратами времени и ресурсов. Однако такой эксперимент не всегда полностью моделирует реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении натурного эксперимента. Натурный эксперимент 1 проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натурных испытаний изготовленных систем. В зависимости от места проведения испытаний натурные эксперименты подразделяются на производственные, полевые, полигонные, полунатурные и т. п.

Натурный эксперимент всегда требует тщательного продумывания и планирования, рационального подбора методов исследования. Практически во всех случаях основная научная проблема натурного эксперимента - обеспечить достаточное соответствие (адекватность) условий эксперимента реальной ситуации, в которой будет работать впоследствии создаваемый объект. Поэтому центральными задачами натурного экспери-

мента являются: изучение характеристик воздействия среды на испытуемый объект; идентификация статистических и динамических параметров объекта; оценка эффективности функционирования объекта и проверка его на соответствие заданным требованиям.

Эксперименты могут быть открытыми и закрытыми, они широко распространены в психологии, социологии, педагогике. В открытом эксперименте его задачи открыто объясняются испытуемым, в закрытом - в целях получения объективных данных эти задачи скрываются от испытуемого. Любая форма открытого эксперимента влияет (часто активизирует) на субъективную сторону поведения испытуемых. В этой связи открытый эксперимент целесообразен только тогда, когда имеются возможность и достаточная уверенность в том, что удастся вызвать у испытуемого живое участие и субъективную поддержку намечаемой работе. Закрытый эксперимент характеризуется тем, что его тщательно маскируют; испытуемый не догадывается об эксперименте, и работа протекает внешне в естественных условиях. Такой эксперимент не вызывает у испытуемых повышенной настороженности и излишнего самоконтроля, стремления вести себя не так, как обычно.

Простой эксперимент используется для изучения объектов, не имеющих разветвленной структуры, с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих простейшие функции.

В сложном эксперименте изучаются явления или объекты с разветвленной структурой (можно выделить иерархические уровни) и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции. Высокая степень связности элементов приводит к тому, что изменение состояния какого-либо элемента или связи влечет за собой изменение состояния многих других элементов системы. В сложных объектах исследования возможно наличие нескольких разных структур, нескольких разных целей. Но все же конкретное состояние сложного объекта может быть описано. В очень сложном эксперименте изучается объект, состояние которого по тем или иным причинам до сих пор не удается подробно и точно описать. Например, для описания требуется больше времени, чем то, которым располагает исследователь между сменами состояний объекта или когда современный уровень знаний недостаточен для проникновения в существо связей объекта (либо они непонятны).

Информационный эксперимент используется для изучения воздействия определенной (различной по форме и содержанию) информации на объект исследования (чаще всего информационный эксперимент используется в биологии, психологии, социологии, кибернетике и т.п.). С помощью этого эксперимента изучается изменение состояния объекта исследования под влиянием сообщаемой ему информации.

Вещественный эксперимент предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования. Например, влияние различных добавок на качество стали и т.п.

Энергетический эксперимент используется для изучения воздействия различных видов энергии (электромагнитной, механической, тепловой и т.д.) на объект исследования.

Обычный (или классический) эксперимент включает экспериментатора как познающего субъекта; объект или предмет экспериментального исследования и средства (инструменты, приборы, экспериментальные установки), при помощи которых осуществляется эксперимент.

В обычном эксперименте экспериментальные средства непосредственно взаимодействуют с объектом исследования. Они являются посредниками между экспериментатором и объектом исследования.

Модельный эксперимент в отличие от обычного имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но часто и условия; в которых изучается некоторый объект.

Модельный эксперимент при расширении возможностей экспериментального исследования одновременно имеет и ряд недостатков, связанных с тем, что различие между моделью и реальным объектом может стать источником ошибок и, кроме того, экстраполяция результатов изучения поведения модели на моделируемый объект требует дополнительных затрат времени и теоретического обоснования правомочности такой экстраполяции.

2.5 Лабораторная работа №5 (2 часа).

Тема: «Методика дисперсионного анализа»

2.5.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки проведения дисперсионного анализа экспериментальных данных.

2.5.2 Задачи работы:

1. Изучить виды дисперсионного анализа.
2. Установить ограничения дисперсионного анализа и подготовка данных.
3. Провести однофакторный дисперсионный анализ для несвязанных выборок

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указания, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.5.4 Описание (ход) работы:

Виды дисперсионного анализа

Дисперсионный анализ – анализ изменчивости признака под влиянием каких-либо контролируемых переменных факторов.

Обобщенно задача дисперсионного анализа состоит в том, чтобы из общей вариативности признака выделить три частные вариативности:

- Вариативность, обусловленную действием каждой из исследуемых независимых переменных.
- Вариативность, обусловленную взаимодействием исследуемых независимых переменных.
- Вариативность случайную, обусловленную всеми неучтенными обстоятельствами.

Вариативность, обусловленная действием исследуемых переменных и их взаимодействием соотносится со случайной вариативностью. Показателем этого соотношения является F – критерий Фишера (метод, не имеющий ничего общего, кроме автора, с «угловым преобразованием Фишера»). $F_{\text{мпА}} = \text{Вариативность, обусловленная действием переменной А} / \text{Случайная вариативность}$. $F_{\text{мпБ}} = \text{Вариативность, обусловленная действием переменной Б} / \text{Случайная вариативность}$. $F_{\text{мпАБ}} = \text{Вариативность, обусловленная взаимодействием А и Б} / \text{Случайная вариативность}$

В формулу расчета критерия F возят оценки дисперсий, и, следовательно, этот метод относится к разряду параметрических. Чем в большей степени вариативность признака обусловлена исследуемыми переменными или их взаимодействием, тем выше эмпирические значения критерия F .

В отличие от корреляционного анализа, в дисперсионном исследовании исходит из предположения, что одни переменные выступают как влияющие (именуемые факторами или независимыми переменными), а другие (результативные признаки или зависимые переменные) – подвержены влиянию этих факторов. Хотя такое допущение и лежит в основе математических процедур расчета, оно, однако, требует осторожности рассуждений об источнике и объекте влияния.

Например, если мы выдвигаем гипотезу о зависимости успешности работы должностного лица от фактора H (социальной смелости по Кэттелу), то не исключено обратное: социальная смелость респондента как раз и может возникнуть (усилиться) вследствие успешности его работы – это с одной стороны. С другой: следует отдать себе отчет в том,

как именно измерялась «успешность»? Если за ее основу взяты были не объективные характеристики (модные нынче «объемы продаж» и проч.), а экспертные оценки сослуживцев, то имеется вероятность того, что «успешность» может быть подменена поведенческими или личностными характеристиками (волевыми, коммуникативными, внешними проявлениями агрессивности etc.)

В примере, взятом из (1), иллюстрируется исследование зависимости учебной успеваемости школьников от развития кратковременной памяти. В качестве фактора рассматривался уровень развития кратковременной памяти, а в качестве результативных признаков – успеваемость по предмету. Видно, например, что фактор, по-видимому, оказывает существенное влияние при обучении иностранному языку, и незначим для чистописания, что, впрочем, вполне согласуется со здравым смыслом.

Здесь фактор имел градации, то есть его величина изменялась при переходе от одной градации к другой. Следует знать, что такое условие отнюдь не обязательно: фактор может иметь градации, никак не связанные между собой количественным отношением, и может быть представлен хоть в номинальной шкале. В общем (и это точнее) говорят не о градациях фактора, а о различных условиях его действия. Возможность количественной градации фактора, таким образом, лишь частный случай.

В качестве иллюстрации этого положения скажем, что если отыщется исследователь, желающий определить зависимость яйценоскости от цвета курицы, то ничто не мешает ему применить дисперсионный анализ, и в качестве условий действия фактора «цвет» избрать, скажем, черных, белых и пестрых кур.

Формулировка гипотез в дисперсионном анализе.

Нулевая гипотеза: «Средние величины результативного признака во всех условиях действия фактора (или градациях фактора) одинаковы».

Альтернативная гипотеза: «Средние величины результативного признака в разных условиях действия фактора различны».

Виды дисперсионного анализа.

Дисперсионный анализ схематически можно подразделить на несколько категорий. Это деление осуществляется, смотря по тому, сколько, во-первых, факторов принимает участие в рассмотрении, во-вторых, - сколько переменных подвержены действию факторов, и, в-третьих, - по тому, как соотносятся друг с другом выборки значений.

При наличии одного фактора, влияние которого исследуется, дисперсионный анализ именуется однофакторным, и распадается на две разновидности:

- Анализ несвязанных (то есть – различных) выборок. Например, одна группа респондентов решает задачу в условиях тишины, вторая – в шумной комнате. (В этом случае, к слову, нулевая гипотеза звучала бы так: «среднее время решения задач такого-то типа будет одинаково в тишине и в шумном помещении», то есть не зависит от фактора шума.)

- Анализ связанных выборок. То есть: двух замеров, проведенных на одной и той же группе респондентов в разных условиях. Тот же пример: в первый раз задача решалась в тишине, второй – сходная задача – в условиях шумовых помех. (На практике к подобным опытам следует подходить с осторожностью, поскольку в действие может вступить неучтенный фактор «научаемость», влияние которого исследователь рискует приписать изменению условий, а именно, - шуму.)

В случае, если исследуется одновременное воздействие двух или более факторов, мы имеем дело с многофакторным дисперсионным анализом, который также можно подразделить по типу выборки.

Если же воздействию факторов подвержено несколько переменных, - речь идет о многомерном анализе.

Ограничения дисперсионного анализа и подготовка данных.

Дисперсионный анализ следует применять тогда, когда известно (установлено), что распределение результативного признака является нормальным.

Для проверки следует провести расчеты ассиметрии и эксцесса по следующим формулам:

$$A = \Sigma (x_i - x_{cp})^3 / n\sigma^3$$

$$mA = \sqrt{6/n}$$

$$E = (\Sigma (x_i - x_{cp})^4 / n\sigma^4) - 3$$

$$mE = 2\sqrt{6/n}$$

где А и Е – ассиметрия и эксцесс, а mA и mE – их ошибки репрезентативности. После подстановки значений не должно оказаться так, чтобы ассиметрия и эксцесс превышали более, чем втрое свои ошибки репрезентативности. При соблюдении этого требования, распределение можно считать нормальным.

Будем называть данные, относящиеся к одному условию действия фактора (к одной градации) дисперсионным комплексом.

Дисперсионный анализ требует также, чтобы между комплексами соблюдалось равенство дисперсий. В литературе по этому вопросу предлагается (и доказана правомочность предложения) удовлетворять такое требование уравниванием числа значений в каждом из комплексов. Иными словами, если в тихой аудитории решали задачу 10 человек, то и в шумную мы должны посадить столько же; если белых кур набралось 100, черных – 80, а пестрых – 70, - мы обязаны взять только по 70 кур каждого цвета. Причем, отбор следует осуществлять случайным образом.

Однофакторный дисперсионный анализ для несвязанных выборок

Метод однофакторного дисперсионного анализа применяется в тех случаях, когда исследуются изменения результативного признака (зависимой переменной) под влиянием изменяющихся условий или градаций какого-либо фактора.

Влиянию каждой из градаций фактора подвержены разные выборки.

Должно быть не менее трех градаций фактора и не менее двух наблюдений в каждой градации.

Расчеты начинаются с расстановки всех данных по столбцам, относящимся к каждому из факторов соответственно.

Следующим действием будет нахождение сумм значений по столбцам (то есть – градациям) и возведение их в квадрат.

Фактически метод состоит в сопоставлении каждой из полученных и возведенных в квадрат сумм с суммой квадратов всех значений, полученных во всем эксперименте.

Промежуточные величины.

Tс	суммы индивидуальных значений по каждому из условий
Σ(T ² с)	сумма квадратов суммарных значений по каждому из условий
с	количество условий (градаций фактора)
п	количество значений в каждом комплексе (испытуемых в каждой группе)
N	общее количество индивидуальных значений
(Σx _i) ²	квадрат общей суммы индивидуальных значений
Σ(x _i) ² / N	количество для вычитания из каждой суммы квадратов
x _i	каждое индивидуальное значение

НЕ ОДНО И ТО
ЖЕ !

$\sum(x_i - \bar{x})^2$	сумма квадратов индивидуальных значений
-------------------------	---

Принятые в литературе сокращения:

СК или SS – сумма квадратов

SSфакт. – вариативность, обусловленная действием исследуемого фактора

SSобщ. – общая вариативность

SSсл. – случайная вариативность

MS – «средний квадрат» (математическое ожидание суммы квадратов, усредненная величина соответствующих SS)

df – число степеней свободы.

Основные вычисления.

Подсчитать SSфакт.	$SS_{\text{факт.}} = 1/n \sum T_c^2 - 1/n (\sum x_i)^2$
Подсчитать SSобщ.	$SS_{\text{общ.}} = \sum x_i^2 - 1/N (\sum x_i)^2$
Подсчитать случайную остаточную величину SSсл.	$SS_{\text{сл.}} = SS_{\text{общ.}} - SS_{\text{факт.}}$
Определить число степеней свободы	$df_{\text{факт.}} = c - 1$ $df_{\text{общ.}} = N - 1$ $df_{\text{сл.}} = df_{\text{общ.}} - df_{\text{факт.}}$
Разделить каждую SS на соответствующее число степеней свободы	$MS_{\text{факт.}} = SS_{\text{факт.}} / df_{\text{факт.}}$ $MS_{\text{сл.}} = SS_{\text{сл.}} / df_{\text{сл.}}$
Подсчитать значение Fэмп.	$F_{\text{эмп.}} = MS_{\text{факт.}} / MS_{\text{сл.}}$
Определить по таблицам критические значения F и сопоставить с ним полученное эмпирическое значение	При $F_{\text{эмп.}} \geq F_{\text{кр.}}$ H_0 отклоняется.

2.6 Лабораторная работа №6 (2 часа).

Тема: «Дисперсионный анализ средствами Microsoft Excel»

2.6.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки проведения дисперсионный анализ средствами Microsoft Excel.

2.6.2 Задачи работы:

1. Создать файл с исходными данными.
2. Запустить “Пакет анализа”.
3. Провести однофакторный дисперсионный анализ.
4. Рассчитать эмпирическое корреляционное отношение и коэффициент детерминации. Сформулировать выводы.
5. Учитывая специфику исходных данных, провести двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями или без повторений в той же последовательности.

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указание, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.6.4 Описание (ход) работы:

Дисперсионный анализ средствами MS Excel

1. Создать файл с исходными данными.
2. Запустить “Пакет анализа”.

В системе электронных таблиц Microsoft Excel имеется набор инструментов для анализа данных, называемый пакет анализа, который может быть использован для решения сложных статистических задач. Для использования одного из этих инструментов указать входные данные и выбрать параметры; анализ будет проведен с помощью подходящей статистической макрофункции, и результаты будут представлены в выходном диапазоне.

В меню **Сервис** выберите команду **Анализ данных**. Если такая команда отсутствует в меню **Сервис**, то необходимо установить в Microsoft Excel пакет анализа данных.

Установка производится следующим образом. В меню **Сервис** выберите команду **Надстройки**. Если в списке надстроек нет пакета анализа данных, то нажмите кнопку “Обзор” и задайте диск, каталог и имя файла для надстройки “Пакет анализа”, или запустите программу установки Microsoft Excel. Установите флажок “Пакет анализа” (надстройки, установленные в Microsoft Excel, остаются доступными, пока не будут удалены).

Выберите необходимую строку в списке “Инструменты анализа”.

Введите входной и выходной диапазоны, затем выберите необходимые параметры. Для использования инструментов анализа исследуемые данные следует представить в виде строк или столбцов на листе. Совокупность ячеек, содержащих анализируемые данные, называется **входным диапазоном**.

Однофакторный дисперсионный анализ

3. Провести однофакторный дисперсионный анализ.

В меню **Сервис** выбираем команду **Анализ данных**.

В списке инструментов статистического анализа выбираем **Однофакторный дисперсионный анализ** (Рисунок 9).

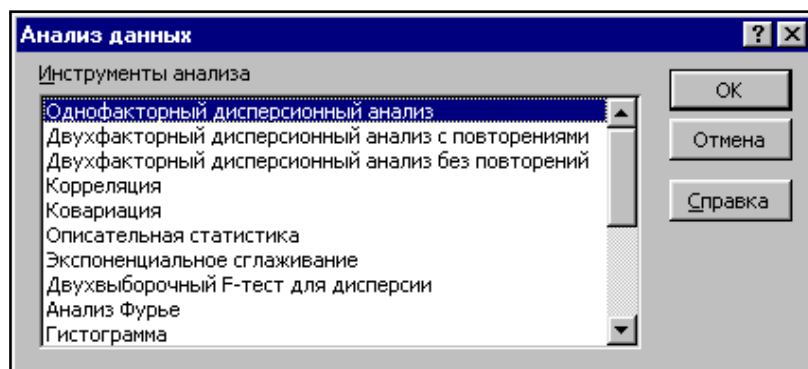


Рисунок 9 – Выбор инструмента анализа

В диалоговом окне режима (Рисунок 10) указываем входной интервал, способ группирования, выходной интервал, метки в первой строке/ Метки в первом столбце, альфа (уровень значимости).

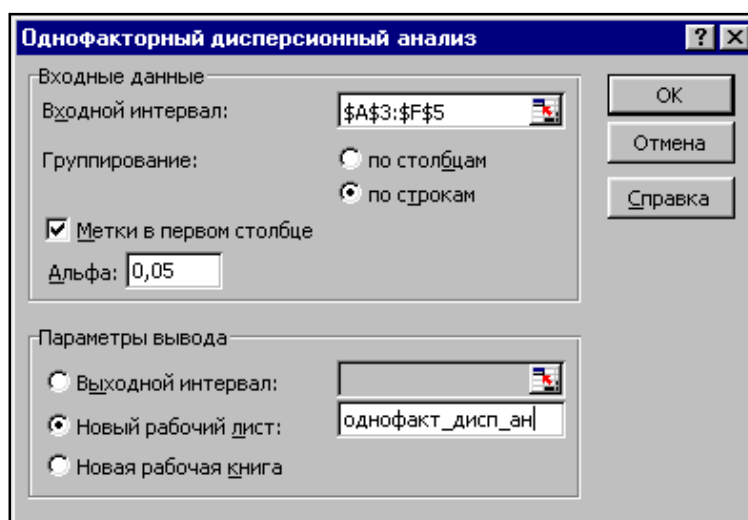


Рисунок 10 – Диалоговое окно однофакторного дисперсионного анализа

Входной диапазон – это ссылка на ячейки, содержащие анализируемые данные. Ссылка должна состоять как минимум из двух смежных диапазонов данных, организованных в виде столбцов или строк. Входной интервал можно задать при помощи мыши, или набрать на клавиатуре.

Группирование. Установите переключатель в положение “по столбцам” или “по строкам” в зависимости от расположения данных во входном диапазоне.

Метки в первой строке/ Метки в первом столбце. Установите переключатель в положение “Метки в первой строке”, если первая строка во входном диапазоне содержит названия столбцов. Установите переключатель в положение “Метки в первом столбце”, если названия строк находятся в первом столбце входного диапазона. Если входной диапазон не содержит меток, то необходимые заголовки в выходном диапазоне будут созданы автоматически.

Выходной диапазон. Введите ссылку на ячейку, расположенную в левом верхнем углу выходного диапазона. Размеры выходной области будут рассчитаны автоматически, и соответствующее сообщение появится на экране в том случае, если выходной диапазон занимает место существующих данных или его размеры превышают размеры листа.

Новый лист. Установите переключатель, чтобы открыть новый лист в книге и вставить результаты анализа, начиная с ячейки A1. Если в этом есть необходимость, введите имя нового листа в поле, расположенном напротив соответствующего положения переключателя.

Новая книга. Установите переключатель, чтобы открыть новую книгу и вставить результаты анализа в ячейку A1 на первом листе в этой книге.

В результате обработки данных получили следующее:

	A	B	C	D	E	F	G
1	Однофакторный дисперсионный анализ						
2							
3	ИТОГИ						
4	<i>Группы</i>	<i>Счет</i>	<i>Сумма</i>	<i>Среднее</i>	<i>Дисперсия</i>		
5	I группа (контр.)	5	1673	334,6	56,8		
6	II группа	5	1812	362,4	220,8		
7	III группа	5	1885	377	276,5		
8							
9	ANOVA						
10	<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
11	Между группами	4640	2	2319,8	12,55983	0,0011415	3,885290312
12	Внутри групп	2216	12	184,7			
13							
14	Итого	6856	14				
15							
16							
17							

Рисунок 11 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

- Таблица ИТОГИ:

“Счет” – число повторностей. “Сумма” – сумма значений показателя по строкам. “Дисперсия” – частная дисперсия показателя.

- Таблица ANOVA представляет результаты дисперсионного анализа однофакторного комплекса, в котором первая колонка “Источник вариации” содержит наименование дисперсий. Графа “SS” - это сумма квадратов отклонений, “df” - степень свободы, графа “MS” - средний квадрат, “F” - критерий фактического F – распределения. “P - значение” - вероятность того, что дисперсия, воспроизводимая уравнением, равна дисперсии остатков. Определяет вероятность того, что полученная количественная определенность взаимосвязи между факторами и результатом может считаться случайной. “F - критическое” - это значение F – теоретического, которое впоследствии сравнивается с F – фактическим.

Эмпирическое корреляционное отношение

4. Рассчитать эмпирическое корреляционное отношение и коэффициент детерминации. Сформулировать выводы.

5. Учитывая специфику исходных данных, провести двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями или без повторений в той же последовательности.

2.7 Лабораторная работа №7 (2 часа).

Тема: «Экспертные оценки. Общие сведения об оценке зависимости между исследуемыми показателями»

2.7.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки работы с приборами и оборудованием оценки работы сельскохозяйственных агрегатов

2.7.2 Задачи работы:

1. Изучить метод экспертных оценок
2. Организовать экспертное оценивание
3. Провести «Опрос экспертов».

2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указания, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.7.4 Описание (ход) работы:

Метод экспертных оценок

Сущность метода экспертных оценок заключается в проведении экспертами интуитивно-логического анализа проблемы с количественной оценкой суждений и формальной обработкой результатов. Получаемое в результате обработки обобщенное мнение экспертов принимается как решение проблемы. Комплексное использование интуиции (неосознанного мышления), логического мышления и количественных оценок с их формальной обработкой позволяет получить эффективное решение проблемы.

При выполнении своей роли в процессе управления эксперты производят две основные функции: формируют объекты (альтернативные ситуации, цели, решения и т. п.) и производят измерение их характеристик (вероятности свершения событий, коэффициенты значимости целей, предпочтения решений и т. п.).

Формирование объектов осуществляется экспертами на основе логического мышления и интуиции. При этом большую роль играют знания и опыт эксперта. Измерение характеристик объектов требует от экспертов знания теории измерений.

Характерными особенностями метода экспертных оценок как научного инструмента решения сложных неформализуемых проблем являются, во-первых, научно обоснованная организация проведения всех этапов экспертизы, обеспечивающая наибольшую эффективность работы на каждом из этапов, и, во-вторых, применение количественных методов как при организации экспертизы, так и при оценке суждений экспертов и формальной групповой обработке результатов. Эти две особенности отличают метод экспертных оценок от обычной давно известной экспертизы, широко применяемой в различных сферах человеческой деятельности.

Экспертные коллективные оценки широко использовались в государственном масштабе для решения сложных проблем управления народным хозяйством уже в первые годы Советской власти. В 1918 году при Высшем совете народного хозяйства был создан Совет экспертов, задачей которого являлось решение наиболее сложных проблем реорганизации народного хозяйства страны. При составлении пятилетних планов развития народного хозяйства страны систематически использовались экспертные оценки широкого круга специалистов.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом метод экспертных оценок широко применяется для решения важных проблем различного характера. В различных отраслях, объединениях и на предприятиях действуют постоянные или временные экспертные комиссии, формирующие решения по различным сложным неформализуемым проблемам. Все множество плохо формализуемых проблем условно можно разделить на два класса. К первому классу относятся проблемы, в отношении которых имеется достаточный информационный потенциал, позволяющий успешно решать эти проблемы.

Основные трудности в решении проблем первого класса при экспертной оценке заключаются в реализации существующего информационного потенциала путем подбора

экспертов, построения рациональных процедур опроса и применения оптимальных методов обработки его результатов. При этом методы опроса и обработки основываются на использовании принципа «хорошего» измерителя. Данный принцип означает, что выполняются следующие гипотезы:

- 1) эксперт является хранилищем большого объема рационально обработанной информации, и поэтому он может рассматриваться как качественный источник информации;
- 2) групповое мнение экспертов близко к истинному решению проблемы.

Если эти гипотезы верны, то для построения процедур опроса и алгоритмов обработки можно использовать результаты теории измерений и математической статистики. Ко второму классу относятся проблемы, в отношении которых информационный потенциал знаний недостаточен для уверенности в справедливости указанных гипотез. При решении проблем из этого класса экспертов уже нельзя рассматривать как «хороших измерителей». Поэтому необходимо очень осторожно проводить обработку результатов экспертизы.

Применение методов осреднения, справедливых для «хороших измерителей», в данном случае может привести к большим ошибкам. Например, мнение одного эксперта, сильно отличающееся от мнений остальных экспертов, может оказаться правильным. В связи с этим для проблем второго класса в основном должна применяться качественная обработка.

Область применения метода экспертных оценок весьма широка. Перечислим типовые задачи, решаемые методом экспертных оценок:

- 1) составление перечня возможных событий в различных областях за определенный промежуток времени;
- 2) определение наиболее вероятных интервалов времени свершения совокупности событий;
- 3) определение целей и задач управления с упорядочением их по степени важности;
- 4) определение альтернативных (вариантов решения задачи с оценкой их предпочтения);
- 5) альтернативное распределение ресурсов для решения задач с оценкой их предпочтительности;
- 6) альтернативные варианты принятия решений в определенной ситуации с оценкой их предпочтительности.

Для решения перечисленных типовых задач в настоящее время применяются различные разновидности метода экспертных оценок. К основным видам относятся: анкетирование и интервьюирование; мозговой штурм; дискуссия; совещание; оперативная игра; сценарий.

Каждый из этих видов экспертного оценивания обладает своими преимуществами и недостатками, определяющими рациональную область применения. Во многих случаях наибольший эффект дает комплексное применение нескольких видов экспертизы. Анкетирование и сценарий предполагают индивидуальную работу эксперта. Интервьюирование может осуществляться как индивидуально, так и с группой экспертов. Остальные виды экспертизы предполагают коллективное участие экспертов, в работе. Независимо от индивидуального или группового участия экспертов в работе целесообразно получать информацию от множества экспертов. Это позволяет получить на основе обработки данных более достоверные результаты, а также новую информацию о зависимости явлений, событий, фактов, суждений экспертов, не содержащуюся в явном виде в высказываниях экспертов.

При использовании метода экспертных оценок возникают свои проблемы. Основными из них являются: подбор экспертов, проведение опроса экспертов, обработка результатов опроса, организация процедур экспертизы.

Организация экспертного оценивания

Первым этапом организации работ по применению экспертного оценивания является подготовка и издание руководящего документа, в котором формулируется цель работы и основные положения по ее выполнению. В этом документе должны быть отражены следующие вопросы: постановка задачи- эксперимента; цели эксперимента; обоснование необходимости эксперимента; сроки выполнения работ; задачи и состав группы управления; обязанности и права группы; финансовое и материальное обеспечение работ.

Для подготовки этого документа, а также для руководства всей работой назначается руководитель экспертизы. На него возлагается формирование группы управления и ответственность за организацию ее работы.

После формирования группа управления осуществляет работу по подбору экспертной группы примерно в такой последовательности: уяснение решаемой проблемы; определение круга областей деятельности, связанных с проблемой; определение долевого состава экспертов по каждой области деятельности; определение количества экспертов в группе; составление предварительного списка экспертов с учетом их местонахождения; анализ качеств экспертов и уточнение списка экспертов в группе; получение согласия экспертов на участие в работе; составление окончательного списка экспертной группы. Параллельно с процессом формирования группы экспертов группа управления проводит разработку организации и методики проведения опроса экспертов. При этом решаются следующие вопросы: место и время проведения опроса; количество и задачи туров опроса; форма проведения опроса; порядок фиксации и сбора результатов опроса; состав необходимых документов.

Следующим этапом работы группы управления является определение организации и методики обработки данных опроса. На данном этапе необходимо определить задачи и сроки обработки, процедуры и алгоритмы обработки, силы и средства для проведения обработки. В процессе непосредственного проведения опроса экспертов и обработки его результатов группа управления осуществляет выполнение комплекса работ в соответствии с разработанным планом, корректируя его по мере необходимости по содержанию, срокам и обеспечению ресурсами.

Последним этапом работ для группы управления является оформление результатов работы. На этом этапе производится анализ результатов экспертного оценивания; составление отчета; обсуждение и одобрение результатов; представление итогов работы на утверждение; ознакомление с результатами экспертизы организаций и лиц.

Подбор экспертов. Для реализации процедуры экспертного оценивания необходимо сформировать группу экспертов. Общим требованием при формировании группы экспертов является эффективное решение проблемы экспертизы. Эффективность решения проблемы определяется характеристиками достоверности экспертизы и затрат на нее. Достоверность экспертного оценивания может быть определена только на основе практического решения проблемы и анализа ее результатов. Использование экспертов как раз и обусловлено тем, что отсутствуют какие-либо другие способы получения информации. Поэтому оценка достоверности экспертизы может осуществляться, как правило, только по апостериорным (послеопытным) данным. Если экспертиза проводится систематически с примерно одним и тем же составом экспертов, то появляется возможность накопления статистических данных по достоверности работы группы экспертов и получения устойчивой числовой оценки достоверности. Эту оценку можно использовать в качестве априорных данных о достоверности группы экспертов для последующих экспертиз.

Достоверность группового экспертного оценивания зависит от общего числа экспертов в группе, долевого состава различных специалистов в группе, от характеристик экспертов. Определение характера зависимости достоверности от перечисленных факторов является еще одной проблемой процедуры подбора экспертов. Сложной проблемой процедуры подбора является формирование системы характеристик эксперта, существен-

но влияющих на ход и результаты экспертизы. Эти характеристики должны описывать специфические свойства специалиста и возможные отношения между людьми, влияющие на экспертизу. Важным требованием к характеристикам эксперта является измеримость этих характеристик.

Еще одной проблемой является организация процедуры подбора экспертов, т.е. определение четкой последовательности работ, выполняемых в процессе подбора экспертов и необходимых ресурсов для их реализации. Максимальное число экспертов в группе проверяется на ограничение по финансовым ресурсам. Определив зависимость между достоверностью, количеством экспертов и расходами на оплату, группа управления представляет руководству эту информацию и формулирует возможные альтернативы решений. Такими альтернативами могут быть либо снижение достоверности результатов экспертного оценивания до уровня, обеспечивающего выполнение ограничения по расходам на оплату экспертов, либо сохранение исходного требования на достоверность экспертизы и увеличение расходов на оплату экспертов.

Следующим этапом работы по подбору экспертов является составление предварительного списка экспертов. При составлении этого списка проводится анализ качеств экспертов. Кроме учета качеств экспертов, определяются их местонахождение и возможности участия выбранных специалистов в экспертизе. При оценке качеств учитывается мнение людей, хорошо знающих кандидатов в эксперты. После составления списка экспертов им направляются письма с приглашением участвовать в экспертизе. В письмах объясняется цель проведения экспертизы, ее сроки, порядок проведения, объем работы и условия вознаграждения. К письмам прилагаются анкеты данных эксперта и самооценки компетентности. Получив ответы экспертов, группа управления составляет окончательный список группы экспертов.

После составления и утверждения списка экспертам посылается сообщение о включении их в состав экспертной группы. Если экспертное оценивание производится методом анкетирования, то одновременно с уведомлением о включении в экспертную группу всем экспертам высылаются анкета с необходимыми инструкциями для их заполнения. Сообщением экспертам о включении их в экспертизу заканчивается работа по подбору экспертов.

Опрос экспертов

Опрос – главный этап совместной работы группы управления и экспертов.

Основным содержанием опроса является: - постановка задачи и предъявление вопросов экспертам; - информационное обеспечение работы экспертов; - выработка экспертами суждений, оценок, предложений; - сбор результатов работы экспертов.

Можно назвать три типа задач, которые решаются в процессе опроса: - оценка качественная или количественная заданных объектов; - построение новых объектов; - построение и оценка новых объектов.

При коллективной экспертизе используются следующие основные виды опроса: дискуссия, анкетирование и интервьюирование, метод коллективной генерации идей, или мозговой штурм.

Анкетирование может проводиться с обратной связью или без нее. При анкетировании с обратной связью опрос экспертов производится в несколько этапов с доведением до сведения экспертов некоторых результатов опроса на предыдущем этапе, включая оценки отдельных экспертов и их аргументацию.

Главным в организации опроса является обеспечение максимума информации и максимума творческой активности, самостоятельности эксперта. Необходимо стремиться довести до каждого эксперта по возможности всю информацию, относящуюся к анализируемому явлению, которой располагают как эксперты, так и организаторы опроса, не лишая в то же время эксперта творческой самостоятельности и активности.

Однако возможности эксперта по переработке информации ограничены. В результате эксперт может принять решение, не используя всей информации, имеющейся в его распоряжении. Кроме того, новая информация воспринимается человеком с определенным внутренним сопротивлением и не сразу влияет на уже сложившиеся субъективные оценки. Отношение к новой информации благожелательнее, а восприятие и использование ее полнее, если она представляется в доходчивой, яркой и компактной форме.

Из этих психологических особенностей следует необходимость предоставления экспертам возможностей для фиксации поступающей информации путем ведения записей, использования технических средств, а также необходимость предварительной обработки информации и представления ее экспертам в наиболее воспринимаемой форме. Необходимо подчеркнуть противоречивость значения обмена экспертами информацией, так как получение такой информации таит опасность потери творческой независимости в построении модели объекта экспертом. Разрешение этого противоречия в полной мере невозможно, и при каждой экспертизе ее организаторы должны находить разумный компромисс, прежде всего, путем выбора вида опроса, формы и степени общения экспертов.

Каждый из видов опроса имеет свои достоинства и недостатки в построении обмена информацией между экспертами и в организации их независимого творчества. Выбор того или иного вида опроса определяется многими факторами, из которых основными являются:

- цель и задачи экспертизы; - существо и сложность анализируемой проблемы; - полнота и достоверность исходной информации; - требуемые объем и достоверность информации, получаемой в результате опроса; - время, отведенное на опрос и экспертизу в целом; - допустимая стоимость опроса, и экспертизы в целом; - количество экспертов и членов группы управления, их характеристики.

Анкетирование является наиболее эффективным и самым распространенным видом опроса, ибо позволяет наилучшим образом сочетать информационное обеспечение экспертов с их самостоятельным творчеством

2.8 Лабораторная работа №8 (2 часа).

Тема: «Построение криволинейной модели. Регрессионная статистика. Дисперсионный анализ»

2.8.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки построения криволинейной модели, составления уравнений регрессии.

2.8.2 Задачи работы:

1. Построить кубическую модель
2. Составить корреляционную матрицу
3. Установить уравнение регрессии

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указания, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.8.4 Описание (ход) работы:

Кубическая модель

(Уравнение, график, значение R-квадрат, выводы)

Уравнение регрессии

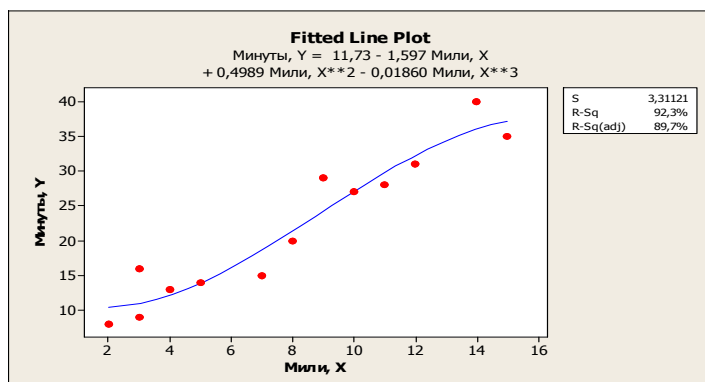
$$Y = 11,73 - 1,597X + 0,4989X^2 - 0,01860X^3$$

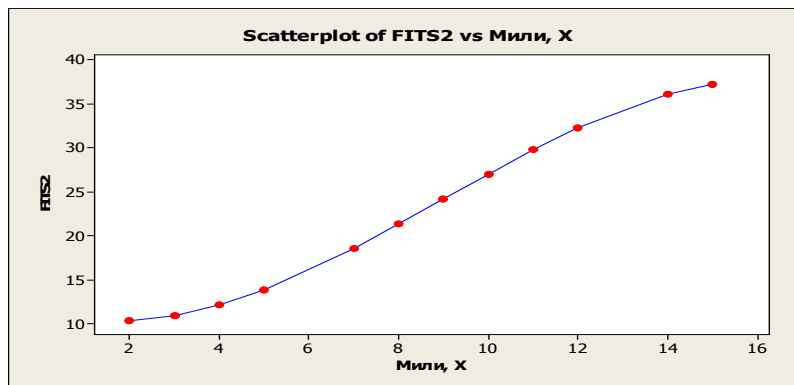
$$S = 3,31121 \quad R\text{-Sq} = 92,3\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 89,7\%$$

Источник	DF	SS	MS	F	P
Регрессия	3	1184,25	394,749	36,00	0,000
Error	9	98,68	10,964		
Total	12	1282,92			

Источник	DF	SS	F	P
Линейный	1	1172,98	117,36	0,000
Параболический	1	1,08	0,10	0,759
Кубический	1	10,18	0,93	0,360

Хотя коэффициент детерминации показывает наилучшую модель, p-value параболической и кубической модели не позволяют использовать их как подходящую модель.





Экспоненциальная модель: $Y=b_1+b_2*x+b_3*\exp(kx)$ +et (Уравнение, Корреляционная матрица, график, значение R-квадрат, выводы)

$K=0,1$

Корреляционная матрица

Корреляционная матрица.

1,00000 0,95619 0,94400

0,95619 1,00000 0,98367

0,94400 0,98367 1,00000

Данная матрица показывает, что оба предиктора существенно влияют на наш Y , но корреляция между предикторами высокая и есть проблема мультиколлинеарности. Поэтому мы будем рассматривать модель $Y=b_1+b_2*x+b_3*e^x$, по отдельности:

$Y=b_1+b_2*x$,

$Y=e^x$, $Y=b_1+b_2*x$,

Регрессионное уравнение

Регрессионное уравнение:

$Y=3,91+2,27X$

Предиктор	Coef	SE Coef	T	P
Константа	3,909	1,880	2,08	0,062
X	2,2736	0,2099	10,83	0,000

$S = 3,16143$ $R-Sq = 91,4\%$ $R-Sq(adj) = 90,7\%$

Источник	DF	SS	MS	F	P
Регрессия	1	1173,0	1173,0	117,36	0,000
Residual Error	11	109,9	10,0		
Total	12	1282,9			

$Y=a_0+a_1*e^x$

Регрессионное уравнение:

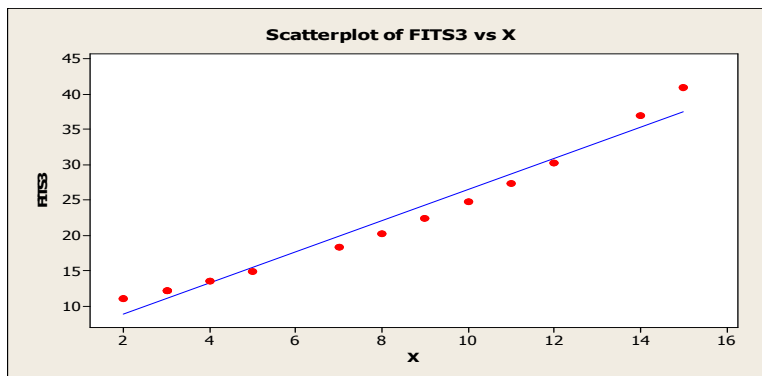
$Y=-0,22+9,18e^x$

Предиктор	Coef	SE Coef	T	P
Константа	-0,220	2,534	-0,09	0,932
e^x	9,1849	0,9680	9,49	0,000

$S = 3,56333$ $R-Sq = 89,1\%$ $R-Sq(adj) = 88,1\%$

Источник	DF	SS	MS	F	P
Регрессия	1	1143,3	1143,3	90,04	0,000
Residual Error	11	139,7	12,7		
Total	12	1282,9			

У нас коэффициент детерминации экспоненциальной модели высокий, но предложенная линейная модель имеет более высокие показатели. Поэтому, мы все еще придерживаемся линейной модели.



Противоположная модель: $y=b_1+b_2*1/x+et$ (Уравнение, график, значение R-квадрат, выводы)

Уравнение регрессии:

$$Y=33,75-63,84/x$$

$S = 6,17692$ $R-Sq = 67,3\%$ $R-Sq (adj) = 64,3\%$

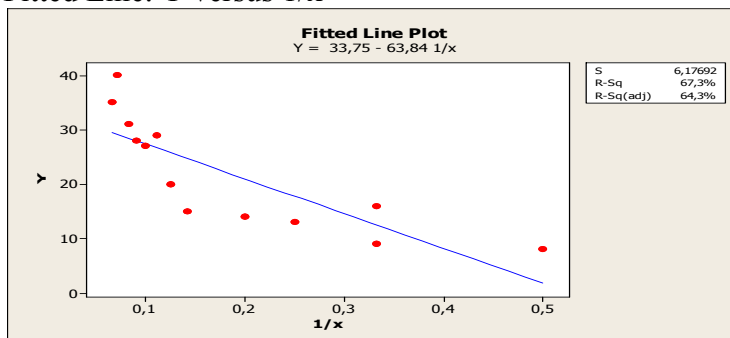
Источник	DF	SS	MS	F	P
Регрессия	1	863,23	863,225	22,62	0,001

Error	11	419,70	38,154
-------	----	--------	--------

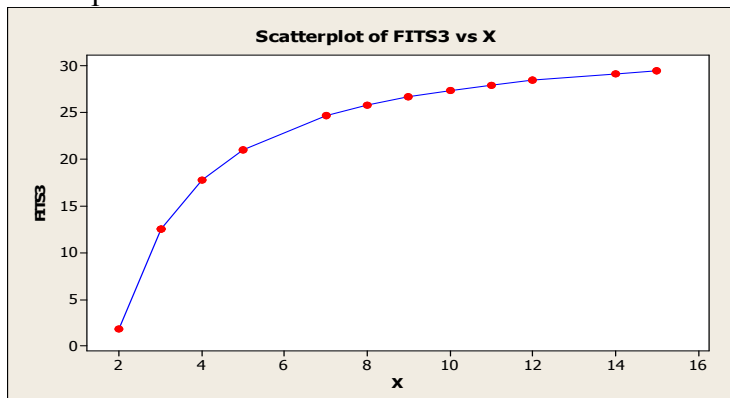
Total	12	1282,92
-------	----	---------

Вывод. Данная модель имеет довольно низкие показатели по отношению к другим. Поэтому это модель не является эффективной в нашей работе.

Fitted Line: Y versus 1/x



Scatterplot of FITS3 vs X



Лог-лог модель. $\ln(yt) = b_1 + b_2 \cdot \ln(xt) + et$ (Уравнение, график, значение R-квадрат, выводы)

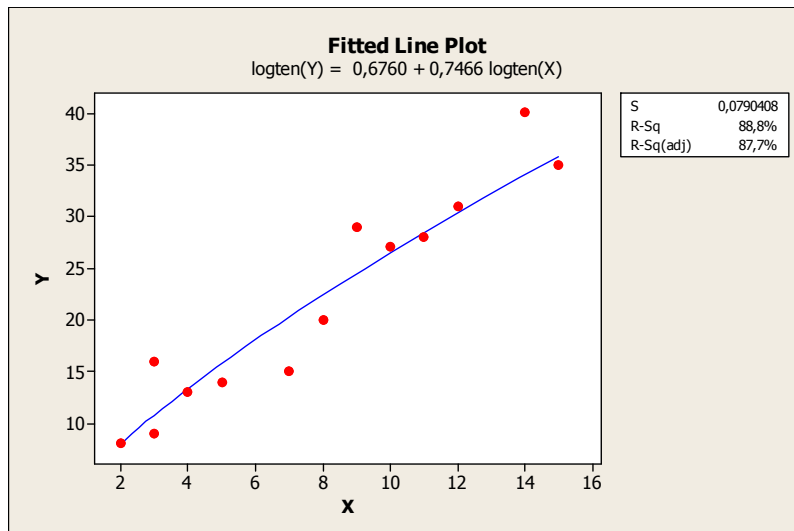
Уравнение регрессии:

$$\ln(Y) = 0,6760 + 0,7466 \ln(X),$$

S = 0,0790408 R-Sq = 88,8% R-Sq (adj) = 87,7%

Источник	DF	SS	MS	F	P
Регрессия	1	0,542756	0,542756	86,88	0,000
Error	11	0,068722	0,006247		
Total	12	0,611478			

Fitted Line: Y versus X



Эта сложная модель имеет высокий показатель R-квадрат (88,8%), но предыдущие, в особенности первая модель, превосходят эту модель, по эффективности. Предлагаю не рассматривать данную модель.

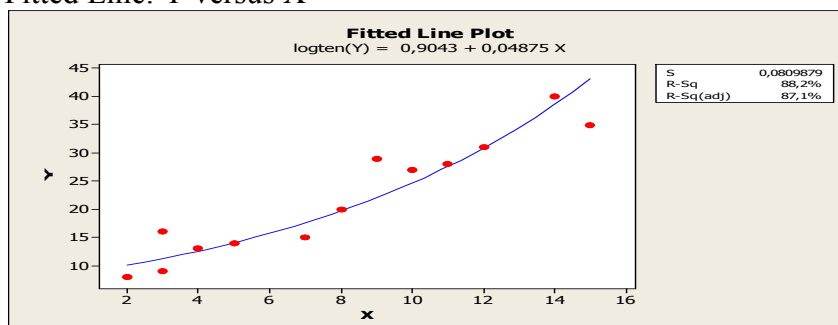
Лог-линейный $\ln(yt) = b_1 + b_2 \cdot (xt) + et$ (Уравнение, график, значение R-квадрат, выводы)

Уравнение регрессии: $\ln(Y) = 0,9043 + 0,04875X$

S = 0,0809879 R-Sq = 88,2% R-Sq (adj) = 87,1%

Источник	DF	SS	MS	F	P
Регрессия	1	0,539328	0,539328	82,23	0,000
Error	11	0,072149	0,006559		
Total	12	0,611478			

Fitted Line: Y versus X



Эта сложная модель имеет высокий показатель R-квадрат (88,2%), но предыдущие, в особенности первая модель, превосходят эту модель, по эффективности. Предлагаю не рассматривать данную модель.

2.9 Лабораторная работа №9 (2 часа).

Тема: «Поиск оптимального решения однофакторной задачи»

2.9.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки решения однофакторной задачи

2.9.2 Задачи работы:

1. Изучить возможность использования инструментов табличного процессора для регрессионного анализа

2. Построить график нормальной вероятности

3. Решить задачи

2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Методические указания, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.9.4 Описание (ход) работы:

Использование инструментов табличного процессора для регрессионного анализа.

Важную роль при исследовании взаимосвязей между статистическими выборками кроме корреляционного и дисперсионного анализа играет регрессионный анализ. Регрессия позволяет проанализировать воздействие на какую-либо зависимую переменную одной или более независимых переменных и позволяет установить аналитическую форму (модель) этой зависимости. Если рассматривается зависимость между одной зависимой переменной Y и не-сколькими независимыми X_1, X_2, \dots, X_n , то речь идет о множественной линейной регрессии. В этом случае уравнение регрессии имеет вид: $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$, где a_1, a_2, \dots, a_n - коэффициенты при независимых переменных, которые нужно вычислить (коэффициенты регрессии), a_0 – константа.

При построении регрессионной модели важными моментами являются оценка ее адекватности (эффективности) и значимости, на основании которых можно судить о возможности применения в практике полученной модели. Мерой оценки адекватности регрессионной модели является коэффициент детерминации R^2 (R-квадрат), который определяет, с какой степенью точности полученное уравнение регрессии аппроксимирует исходные данные.

Значимость регрессионной модели оценивается с помощью критерия Фишера (F – критерия). Если величина F – критерия значима ($p < 0,05$), то регрессионная модель является значимой. В MS Excel можно аппроксимировать экспериментальные данные линейным уравнением до 16 порядка: $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_{16}X_{16}$. Для вычисления коэффициентов регрессии служит инструмент *Регрессия*, который можно включить следующей последовательностью операций:

1. Выполнить команду Сервис - Анализ данных .

2. В раскрывшемся окне диалога Анализ данных выбрать из списка строку *Регрессия* – раскроется окно диалога *Регрессия* .

3. В группе *Входные данные* в поле *Входной интервал Y* указать адресную ссылку на диапазон, содержащий значения зависимой переменной, а в поле *Входной интервал X* – ссылку на диапазон, содержащий значения независимых переменных, т.е. переменных влияние которых на зависимую переменную Y оценивается, установить флажок *Метки*, если исходная таблица имеет названия столбцов и флажок *Константа-ноль* , если $a_0=0$.

4. В группе *Параметры выхода* указать, куда следует выводить результаты вычислений.

5. Если необходимо получить визуальную картинку отличия экспериментальных точек от предсказанных регрессионной моделью, то установить флажок *График подбора*.

График нормальной вероятности

6. Если нужно получить график нормальной вероятности, то установить флажок *График нормальной вероятности*. В выходном диапазоне после выполнения вычислений отображаются результаты дисперсионного анализа, коэффициенты регрессии, стандартная погрешность вычисления Y , среднеквадратичные отклонения, количество наблюдений, стандартные погрешности для коэффициентов. Значения коэффициентов регрессии размещаются в столбце Коэффициенты: - Y - пересечение a_0 ; - X_1 - a_1 ; - X_2 - a_2 и т.д.

В столбце P – *Значение* содержится оценка достоверности отличия соответствующих коэффициентов от нуля. Если $P > 0,05$, то коэффициент можно считать нулевым. Это означает, что соответствующая независимая переменная практически не влияет на зависимую переменную. Значение R – *квадрат* определяет, с какой степенью точности регрессионное уравнение будет аппроксимировать экспериментальные данные. Если R – *квадрат* $> 0,95$, то точность аппроксимации высокая. При $0,8 < R$ – *квадрат* $< 0,95$ аппроксимация удовлетворительная. В случае, когда R – *квадрат* $< 0,6$, точность аппроксимации недостаточна и модель требует улучшения.

Кроме инструмента Регрессия в MS Excel для получения параметров уравнения регрессии есть функция ЛИНЕЙН и функция ТЕНДЕНЦИЯ для получения значения Y в требуемых точках.

Пример 20. Имеются статистические данные о затратах, связанных с рекламой по телевидению, с рекламой в метро и объеме реализации продукции в рублях, приведенные в таблице.

Требуется найти регрессионные коэффициенты для независимых переменных *Затраты на рекламу по телевидению* и *Затраты на рекламу в метро* на объем реализации продукции и построить уравнение регрессии.

Решение задачи

1. На рабочем листе в диапазон A1: C8 введите данные приведенной таблицы (см. рис.).
2. Включите инструмент Регрессия. В открывшемся диалоговом окне установите параметры

- *Входной интервал Y* – диапазон C1: C8; - *Входной интервал X* – диапазон A1: B8;
- Переключатели *Метки*, *Константа* - *ноль* ; - *Выходной интервал* – адрес D1;
- Флажок *График нормальной вероятности*; - Флажок *График остатков*.

После щелчка на кнопке ОК в диапазон D1: L21 будет выведен результат регрессионного анализа.

Полученные результаты:

1. Коэффициент детерминации R – квадрат = 0,893 (аппроксимация удовлетворительная).
 2. Значимость $F = 0,00762$ ($p < 0,05$ - регрессионная модель значима).
 3. Y – пересечение $a_0 = 0$.
 4. $a_1 = 5,478$ – коэффициент при независимой переменной *Затраты на рекламу по телевидению* X_1 .
 5. $a_2 = 52,502$ - коэффициент при независимой переменной *Затраты на рекламу в метро* X_2 .
- С учетом полученных данных уравнение регрессии будет иметь вид:
 $Y = 5,478X_1 + 52,502X_2$, где
 X_1 – величина затрат на рекламу по телевидению ,
 X_2 – величина затрат на рекламу в метро.

2.10 Лабораторная работа №10 (2 часа).

Тема: «Поиск оптимального решения многофакторной задачи»

2.10.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки поиска оптимального решения многофакторной задачи

2.10.2 Задачи работы:

1. Изучить поисковые методы.
2. Изучить методы для решения многофакторных оптимизационных задач
3. Изучить способы и коэффициент сокращения шага.

2.10.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

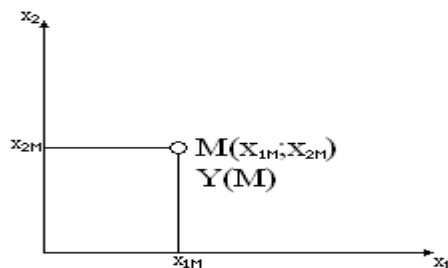
. Методические указание, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.10.4 Описание (ход) работы:

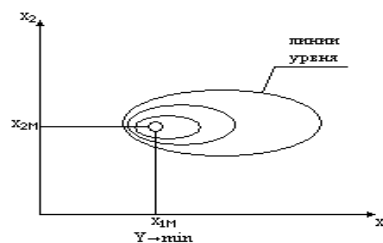
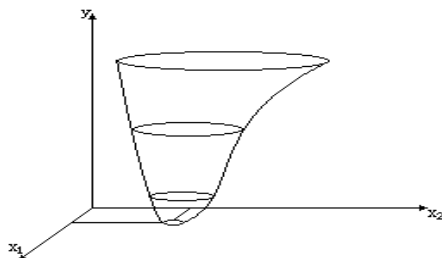
Поисковые методы решения многофакторных оптимизационных задач

В таких оптимизационных задачах $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – целевая функция двух и более аргументов. $F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min$.

Рассмотрим $Y=F(x_1; x_2)$. В этом случае пространство переменных есть плоскость.



Поверхность целевой функции является геометрическим местом точек, заданных концами ординат $Y(M)$. Поверхность целевой функции может быть изображена проекциями линий сечения плоскостями постоянного уровня. Такие линии называются линиями постоянного уровня целевой функции, или просто линиями уровня.



Нужно найти такие x_1 и x_2 , при которых $Y \rightarrow \min$.

Необходимо предварительно установить точность решения (ϵ_1, ϵ_2). Точность решения оптимизационной задачи определяется тем, как в последующем будут использоваться результаты решения. Оптимальные значения технологических параметров, найденные в результате решения оптимизационной задачи, необходимо поддерживать при проведении технологического процесса. Для этого служат регуляторы соответствующих параметров: температуры, объемных и массовых расходов и т.п. Регуляторы позволяют измерять и поддерживать значения параметров с некоторой точностью, составляющей обычно от 0.5% до 5% диапазона измерения. Поэтому нет смысла задавать точность решения оптимизационной задачи более жестко, поскольку регулятор впоследствии не позволит поддерживать значение параметра с высокой точностью.

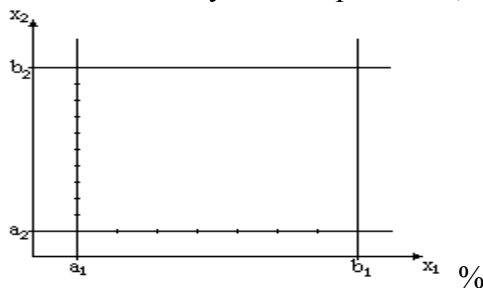
Далее необходимо определить область допустимых решений оптимизационной задачи. Для этого используют ограничения первого рода, наложенные на величины оптимизируемых факторов. Эти ограничения возникают на этапе постановки задачи. Например,

если оптимизирующим фактором некоторого технологического процесса выбрана температура, то ее значения ограничены сверху максимально допустимыми значениями, при которых работоспособен аппарат, или температурой кипения растворов (если аппарат гидрометаллургический).

Минимальное значение температуры не может быть ниже температуры окружающей среды (если не используется устройство охлаждения), а также ниже температуры затвердевания или кристаллизации расплава (если аппарат пирометаллургический и предназначен для плавки).

Система ограничений дает возможность в пространстве переменных построить область, внутри которой и на границах выполняются совместно все ограничения задачи. Такая область называется областью допустимых решений (ОДР). Для целевой функции двух переменных пространство переменных представляет собой плоскость, а область допустимых решений – часть плоскости, ограниченная прямыми.

В случае трех переменных пространство становится объемным, а область допустимых решений является многогранником, ограниченным плоскостями. Для четырех и более переменных привычных геометрических образов нет, говорят о гиперпространстве переменных и области допустимых решений, ограниченных гиперплоскостями.



$$\varepsilon_1 = 1.5$$

$$\varepsilon_2 = 1.5 \%$$

$$a_1 \leq x_1 \leq b_1 \quad a_2 \leq x_2 \leq b_2$$

$$n_1 = \frac{b_1 - a_1}{\varepsilon_1}$$

$$n_2 = \frac{b_2 - a_2}{\varepsilon_2}$$

$$N = n_1 \cdot n_2$$

Дальнейшее решение оптимизационной задачи состоит в исследовании области допустимых решений в поисках оптимального решения. При этом надо иметь в виду, что методы решения, описанные ранее для однофакторных задач, не могут быть использованы.

Пусть целевая функция имеет три оптимизирующих фактора. Используя метод сплошного поиска, мы могли бы построить и исследовать область допустимых решений. В нашем случае такая область представляет собой параллелепипед. Предположим, нас интересует точность решения в 1% от диапазона изменения каждого фактора. Мы могли бы разбить интервал каждого фактора на сто шагов, что привело бы к пространственной сетке, содержащей сто плоских слоев, в каждом из которых количество узлов составило бы десять тысяч.

Таким образом, общее число узлов на области допустимых решений составило бы миллион. Далее следовало бы вычислить (и запомнить значения) целевую функцию в каждом узле, отсортировать полученные значения и найти экстремум. Значения факторов в точке экстремума и были бы решением оптимизационной задачи.

Однако для получения решения таким путем потребовалось бы слишком много времени, поскольку вычисление целевой функции каждый раз требует некоторых затрат времени. К тому же требуется время на сортировку и поиск оптимального решения, а также огромный объем памяти для хранения результатов вычислений.

А если число оптимизирующих факторов (аргументов целевой функции) больше трех, то легко показать, что задача вообще не может быть решена за приемлемое время - пока мы занимаемся ее решением, условия технологического процесса изменятся. Поэто-

му усилия специалистов в области прикладной математики были сосредоточены в направлении разработки «быстрых» методов решения многофакторных оптимизационных задач. В настоящее время создано несколько групп методов для решения таких задач.

Методы для решения многофакторных оптимизационных задач

Математиками разработаны следующие методы для решения многофакторных оптимизационных задач:

- Метод координатного спуска.
- Градиентные методы.
- Симплексные методы.

Для всех трёх способов решения задач есть общие требования, и есть отличительные особенности, присущие каждому методу.

Общие требования:

1. Целевая функция должна быть вычислима (задана аналитически, либо известен алгоритм вычислений, либо имеется таблица табулированных значений).

2. Так как все методы являются численными, приближёнными, до начала решения должны быть определена точность по каждому из оптимизационных факторов. Достижение заданной точности является критерием завершения поиска.

Наряду с общими поисковые методы отличаются элементами стратегии поиска, к которым относятся:

1. Начальная точка поиска.
2. Направление поиска.
3. Величина начального шага.
4. Способ сокращения начального шага и коэффициент сокращения.

Любой поисковый метод из перечисленных обеспечивает наличие решения, сходимость, и, если целевая функция унимодальна (один минимум), то и единственное решение.

Начальная точка поиска – любая точка из области допустимых значений решений (ОДР). ОДР ограничена, если задача решается как задача с ограничениями. Ограничения назначаются на этапе математической постановки задачи. Начальная точка поиска может находиться внутри области, на границе области или на пересечении границ, т.е. в вершине ОДР.

Направление поиска – выбирается в каждом методе, исходя из особенностей метода.

Начальный шаг. Идея поисковых методов – движение по области допустимых решений, причём направление и размер шага зависят от результатов решения, полученных на предыдущем шаге. При этом, для более быстрого получения решения (за меньшее число вычислений) следует выбирать начальный шаг достаточно большим: величина начального шага 20...25% от интервала изменения фактора.

Способ и коэффициент сокращения шага

Способ и коэффициент сокращения шага. Двигаясь по ОДР начальным шагом, можно решить задачу с точностью, равной величине начального шага, для практических целей этого не достаточно. Для достижения заданной точности решения требуется продолжить поиск, исследуя область допустимых решений шагами меньшей величины. Последующая величина шагов получается делением начального шага на коэффициент сокращения. Коэффициент сокращения шага обычно от 2-х до 5-ти.

2.11 Лабораторная работа №11 (2 часа).

Тема: «Интерполяция результатов многофакторных экспериментов»

2.11.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки интерполяции результатов многофакторных экспериментов

2.11.2 Задачи работы:

1. Провести интерпретацию полученных результатов.
2. Рассмотреть пример повышения точности измерения цифровых весов.
3. Произвести вычисление математической модели.

2.11.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указания, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.11.4 Описание (ход) работы:

Интерпретация полученных результатов

Осуществляется специалистом (или специалистами), хорошо понимающими как формальные результаты в полученных моделях, так и те прикладные цели, для достижения которых должны быть использованы модели.

Математический метод получения полезной информации о систематических погрешностях, сопровождающих процесс измерения физической величины, и средство измерения создают надсистему со взаимодействием (иначе эмергентностью) между собой. Эффект взаимодействия – более высокая точность измеряемой величины – принципиально нельзя получить только за счет отдельных подсистем. Это следует из структуры математической модели $\hat{Y}(\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_p) = f_j$ (СИ, ММ) для эксперимента 22//4 (отсутствие подсистемы задается «-1», а присутствие «1») указанных подсистем:

$$(1 + СИ)(1 + ММ) = 1 + СИ + ММ + СИ \cdot ММ, \quad 1)$$

где $\hat{Y}(\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_p)$ – вектор эффективности функционирования средства измерения, $1 \leq j \leq p$;

1 – символ среднего значения результата (условное начало отсчета);

СИ – результат измерения, полученный только от средства измерения;

ММ – информация, полученная по многофакторной математической модели о систематических погрешностях используемого средства измерения при знании внутренних и внешних относительно его условий проведения замеров;

СИ · ММ – эффект взаимодействия (эмергентность) средства измерения и математической модели при условии их совместного использования.

Повышение точности измерения достигается за счет получения большего объема информации об условиях измерения и свойствах средства измерения во взаимодействии с внутренней и внешней относительно его средой.

Сочетание физических и информационных принципов на практике означает интеллектуализацию известных систем, в частности, создание интеллектуальных средств измерений. Объединение физических и информационных принципов в единую интегральную систему позволяет принципиально по-новому решать старые проблемы.

Пример повышения точности измерения цифровых весов

Рассмотрим возможности предложенного подхода на примере повышения точности цифровых весов с диапазоном взвешивания 0...100 кгс. Датчик весов емкостного типа с автономным питанием от переносного источника напряжения. Весы предназначены для эксплуатации в диапазоне температуры окружающей среды (воздуха) 0...60°C. Напряжение от автономного источника напряжения в процессе эксплуатации весов может изменяться в диапазоне 12,3...11,7 В при расчетном (номинальном) значении 12 В.

Предварительное исследование цифровых весов показало, что изменения температуры окружающей среды и питаемого напряжения в вышеприведенных диапазонах сравнительно мало влияют на показания емкостного датчика и, следовательно, на результаты взвешивания. Однако стабилизировать эти внешние и внутренние условия с необходимой точностью и поддерживать их в процессе функционирования весов не представлялось возможным ввиду того, что весы должны эксплуатироваться не в стационарных (лабораторных) условиях, а на борту перемещающегося объекта.

Исследование точности весов без учета влияния изменений температуры и питаемого напряжения показали, что средняя абсолютная погрешность аппроксимации составляет 0,16%, а среднеквадратичная погрешность остатка (в единицах измерения выходной величины взвешивания) равна 53,92.

Для получения многофакторной математической модели были приняты следующие обозначения факторов и значения их уровней.

X1 – гистерезис. Уровни: 0 (нагрузка); 1 (разгрузка). Фактор качественный.

X2 – температура окружающей среды. Уровни: 0; 22; 60°C.

X3 – напряжение питания. Уровни: 11,7; 12,0; 12,3 В.

X4 – измеряемый вес. Уровни: 0; 20; 40; 60; 80; 100 кгс.

Учитывая принятые уровни варьирования факторов и сравнительно не трудоемкий объем испытаний было решено провести полный факторный эксперимент, т.е. $2 \cdot 32 \cdot 6 // 108$. Исходные данные испытаний были предоставлены проф. П.В. Новицким. Каждый опыт был повторен только один раз, что нельзя признать хорошим решением. Желательно повторение каждого опыта два раза. Предварительный анализ исходных данных показал, что они со значительной вероятностью содержат грубые ошибки. Эти опыты были повторены и их результаты были исправлены.

Натуральные значения уровней варьирования факторов были преобразованы в ортогональные контрасты, иначе в систему ортогональных полиномов Чебышева.

С использованием системы ортогональных контрастов структура полного факторного эксперимента будет иметь следующий вид:

$$(1 + x_1)(1 + x_2 + z_2)(1 + x_3 + z_3)(1 + x_4 + z_4 + u_4 + v_4 + \omega_4) \rightarrow N108$$

где $x_1, \dots, x_4; z_2, \dots, z_4; u_4, v_4, \omega_4$ – соответственно линейные, квадратичные, кубический, четвертой и пятой степени контрасты факторов X_1, \dots, X_4 ; N108 – число структурных элементов для схемы полного факторного эксперимента.

Все эффекты (главные и взаимодействия) были нормированы

$$\sum_{u=1}^{108} [x_{iu}^{(p)}]^2 = 108.$$

где $x_{iu}^{(p)}$ – значение p-го ортогонального контраста i-го фактора для u-й строки матрицы планирования, $1 \leq u \leq 108, 1 \leq p \leq s_i - 1; 1 \leq i \leq 4$.

Предварительный расчет математической модели показал, что в качестве оценки дисперсии воспроизводимости может быть выбрана (приближенно) величина 20,1.

Число степеней свободы (условно) принято $V_2 = 108$.

Дисперсия была использована для определения стандартной ошибки коэффициентов уравнения регрессии.

Вычисление математической модели

Вычисление математической модели и всех ее критериев качества было проведено с использованием ПС ПРИАМ. Полученная математическая модель имеет вид

$$\hat{y} = 28968,9 - 3715,13x_4 + 45,2083x_3 - 37,5229z_2 + 23,1658x_2 - 19,0708z_4 - 19,6574z_3 - 9,0094x_2z_3 - 9,27434z_2x_4 + 1,43465x_1x_2 + 1,65431z_2x_3, \quad 2)$$

где: $x_1 = 2 (X_1 - 0,5); \quad x_2 = 0,0306122 (X_2 - 27,3333);$

$z_2 = 1,96006 (x_{22} - 0,237337x_2 - 0,575594);$

$$\begin{aligned}
 x_3 &= 3.33333 (X_3 - 12); & z_3 &= 1,5 (x_{23} - 0,666667); \\
 x_4 &= 0,02 (X_4 - 50); & z_4 &= 1,875 (x_{24} - 0,466667); \\
 u_4 &= 3,72024 (x_{34} - 0,808x_4); & v_4 &= 7,59549 (x_{44} - 1,08571x_{24} + 0,1296).
 \end{aligned}$$

Таблица 1

Критерии качества полученной математической модели

Анализ адекватности модели	
Остаточная дисперсия	21,1084
Дисперсия воспроизводимости	20,1
Расчетное значение F-критерия	1,05017
Уровень значимости F-критерия для адекватности 0,05 для степеней свободы V1 = 97; V2 = 108	
Табличное значение F-критерия для адекватности	1,3844
Табличное значение F-критерия (при отсутствии повторных опытов)	1,02681
Стандартная ошибка оценки	4,59439
Скоррект. с учетом степеней свободы	4,80072
Модель	адекватна
Прим.: Дисперсия воспроизводимости задана пользователем	
Анализ информативности модели	
Доля рассеивания объясняемая моделью	0,999997
Введено регрессоров (эффектов)	11
Коэффициент множественной корреляции	0,999999
(скоррект. с учетом степеней свободы)	0,999998
F отношение для R	3,29697·106
Уровень значимости F-критерия для информативности 0,01 для степеней свободы V1 = 10; V2 = 97	
Табличное значение F-критерия для информативности	2,50915
Модель	информативна
Критерий Бокса и Веца для информативности	больше 49
Информативность модели	очень высокая

2.12 Лабораторная работа №12 (2 часа).

Тема: «Построение криволинейной модели»

2.12.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки построение криволинейной модели.

2.12.2 Задачи работы:

1. Рассмотреть решение задачи.
2. Определить среднеквадратического уравнения.
3. Определить уравнения регрессии.

2.12.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Методические указание, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.12.4 Описание (ход) работы:

Решение задачи

Для заданной таблицы данных:

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	7.628	6.153	5.519	5.602	5.47	5.012	5.075	4.964	4.902	5.128

С помощью функции `genfit` – системы MathCad провести нелинейную регрессию общего вида для $f(x)=ax+b/x$; $f1(x)=ax^2+bx+c$; $f3(x)=ae^{-bx}+ab$

Под нелинейной регрессией общего вида подразумевается нахождение вектора P параметров произвольной функции $F(x, u1, u2, ..., un)$, при котором обеспечивается минимальная среднеквадратичная погрешность приближения “облака” исходных точек. Для проведения нелинейной регрессии общего вида используется функция `genfit(X, Y, S, F1)`. Она возвращает вектор P параметров функции F , дающий минимальную среднеквадратичную погрешность приближения функцией $F(x, u1, u2, ..., un)$ исходных данных. F должен быть вектором с символьными элементами, причем они должны содержать аналитические выражения для исходной функции и ее производных по всем параметрам. Вектор S должен содержать начальные значения элементов вектора P , необходимые для решения системы нелинейных уравнений регрессии итерационным методом.

При решении этой задачи возникают две проблемы. Прежде всего, надо вычислить значения производных по переменным a и b . Это может быть сделано с помощью символьных операций, что наглядно показывает пользу от таких операций. Вторая проблема связана с необходимостью применения функции `genfit` в ее стандартном виде. Поэтому пришлось заменить параметр a на $u1$, а параметр b на $u2$ и т. д..

Пример использования метода в среде MathCad:

I СПОСОБ (Для функции – $f1(x)=ax^2+bx+c$)

1) Вводим ре- ORIGIN := 1 результаты измерений величин X и Y :

$$X := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \end{pmatrix}$$

$$Y := \begin{pmatrix} 7.628 \\ 6.153 \\ 5.519 \\ 5.602 \\ 5.47 \\ 5.012 \\ 5.075 \\ 4.964 \\ 4.902 \\ 5.128 \end{pmatrix}$$

2) Выбрав функцию приближения

$$F(x, a, b, c) := a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

где a, b - искомые коэффициенты регрессии,

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

3) найдем частные производные этой функции по коэффициентам регрессии:

по a : по b : по c : 1

Введем вектор, элементами которого являются функция приближения и её производные, переобозначив коэффициенты регрессии $u_1=a$, $u_2=b$, $u_3=c$: вектор $F1$ должен быть вектором с символьными элементами, причем они должны содержать аналитические выражения для исходной функции и ее производных по всем параметрам.

$$F1(x, u) := \begin{pmatrix} u_1 \cdot x^2 + u_2 \cdot x + u_3 \\ x^2 \\ x \\ 1 \end{pmatrix}$$

4) Вводим вектор с начальными приближениями коэффициентов регрессии (вектор S должен содержать начальные значения элементов вектора u):

$$S := \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

5) С помощью функции $\text{genfit}(X, Y, S, F1)$, найдем значения коэффициентов регрессии a, b , где X и Y - векторы экспериментальных данных,

S - вектор с начальными приближениями коэффициентов регрессии,

$F1$ - вектор $F1(x, u)$

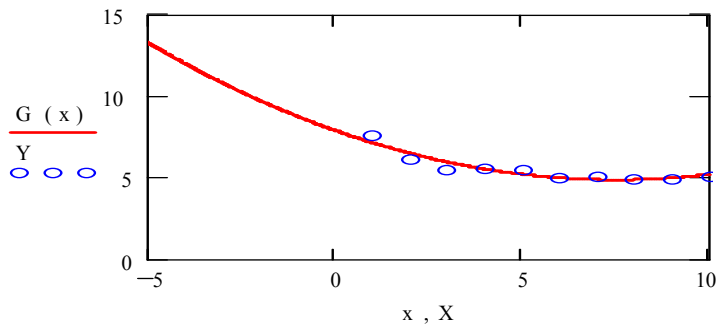
$$P := \text{genfit}(X, Y, S, F1)$$

$$P = \begin{pmatrix} 0.054 \\ -0.81 \\ 7.931 \end{pmatrix}$$

6) Подставляя найденные значения коэффициентов регрессии в первый элемент вектора $F1(x, u)$, определите искомую функцию приближения экспериментальных данных

(уравнение регрессии): $G(x) := F1(x, P)_1$

7) Построим ли регрессии и график экспериментальных данных:



II СПОСОБ (Для этой же функции – $f_2(x)=ax+bx+c$)

1) Найдем параметров a, b по следующей системе нормальных уравнений:

ORIGIN := 1

$n := 10$

$$a \cdot n + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i + c \cdot \sum_{i=1}^n (X_i)^2 = \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n (X_i)^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n (X_i)^3 = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Y_i)$$

$$a \cdot \sum_{i=1}^n (X_i)^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n (X_i)^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n (X_i)^4 = \sum_{i=1}^n [Y_i \cdot (X_i)^2]$$

2) Чтобы решить эту систему относительно параметров a, b и c , нужно предварительно рассчитать суммы:

$$\sum_{i=1}^n X_i = 55; \quad \sum_{i=1}^n (X_i)^2 = 385; \quad \sum_{i=1}^n Y_i = 55.453$$

$$\sum_{i=1}^n (X_i)^3 = 3.025 \times 10^3; \quad \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Y_i) = 286.956$$

$$\sum_{i=1}^n (X_i)^4 = 2.533 \times 10^4; \quad \sum_{i=1}^n [Y_i \cdot (X_i)^2] = 1.965 \times 10^3$$

3) Составим систему нормальных уравнений:

$$a \cdot 10 + b \cdot 55 + c \cdot 385 = 55.453$$

$$a \cdot 55 + b \cdot 385 + c \cdot 3.025 \cdot 10^3 = 286.956$$

$$a \cdot 385 + b \cdot 3.025 \cdot 10^3 + c \cdot 2.533 \cdot 10^4 = 1.965 \cdot 10^3$$

4) Решая эту систему относительно коэффициентов a , b и c , найдем их значение:

$$\underline{A} := \begin{pmatrix} 10 & 55 & 385 \\ 55 & 385 & 3.025 \cdot 10^3 \\ 385 & 3.025 \cdot 10^3 & 2.533 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \quad \underline{B} := \begin{pmatrix} 55.453 \\ 286.956 \\ 1.965 \cdot 10^6 \end{pmatrix}$$

$$\underline{X1} := \underline{A}^{-1} \cdot \underline{B}$$

$$\underline{A}^{-1} = \begin{pmatrix} 1.389 & -0.528 & 0.042 \\ -0.528 & 0.243 & -0.021 \\ 0.042 & -0.021 & 1.905 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

$$\underline{X1} = \begin{pmatrix} 7.94 \\ -0.815 \\ 0.054 \end{pmatrix}$$

5) Отсюда эмпирическое уравнение параболы второго порядка таково:

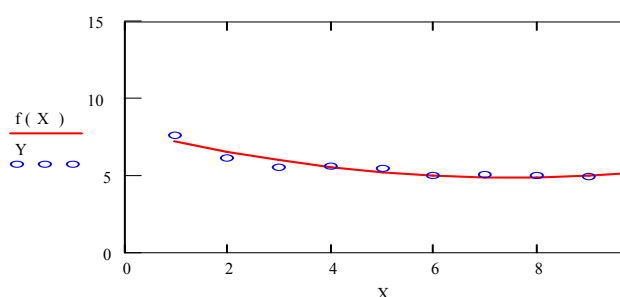
$$f(X) := 0.054 \cdot X^2 - 0.815 \cdot X + 7.94$$

6) Подставляя в это уравнение вместо x значения независимой переменной X ,

	1
1	7.179
2	6.526
3	5.981
4	5.544
5	5.215
6	4.994
7	4.881
8	4.876
9	4.979
10	5.19

можно рассчитать ожидаемые величины:

7) Эти величины хорошо согласуются с фактическими данными, это можно увидеть на (более плавно идущей) линии регрессии:



Определение среднеквадратического уравнения

8) Найдем среднеквадратическое уравнение. СКО характеризует разброс любого результата из ряда наблюдений относительно среднего результата анализа:

$$Sko := \sum_{i=1}^n (G(X_i) - Y_i) \quad Sko = 0.677$$

Для функции $f2(x)=ax+b/x$;

1) Для функции приближения (с теми же результатами измерений величин X и Y)

ORIGIN := 1

$$F(x, a, b) := a \cdot x + \frac{b}{x} \quad a \cdot x + \frac{b}{x}$$

где a, b - искомые коэффициенты регрессии,

2) Найдем частные производные этой функции по коэффициентам регрессии:
по a:

$$x \quad \text{по } b: \quad \frac{1}{x}$$

$$F1(x, u) := \begin{pmatrix} u_1 & u_2 \\ x & \frac{1}{x} \end{pmatrix} \quad S := \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

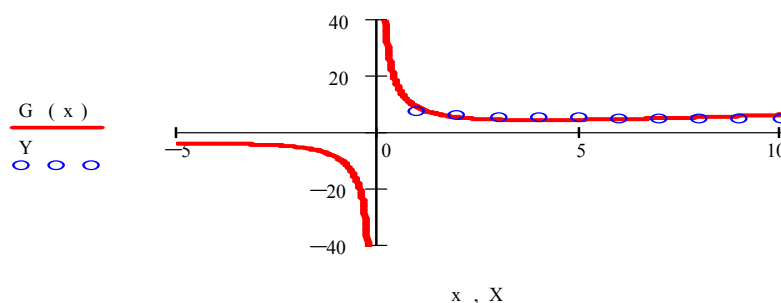
3) Найдем значения коэффициентов регрессии a, b:

$P := \text{genfit}(X, Y, S, F1)$

$$P = \begin{pmatrix} 0.527 \\ 8.39 \end{pmatrix}$$

Определение уравнения регрессии

4) Уравнение регрессии: $G(x) := F1(x, P)_1$



Для функции $f3(x)=ae^{-bx}+ab$

Для функции приближения (с теми же результатами измерений величин X и Y)

ORIGIN := 1

F(x,a,b) := a·e^{-b·x} + a·b где a, b - искомые коэффициенты регрессии,

$$a \cdot e^{-b \cdot x} + a \cdot b$$

1) Найдем частные производные этой функции по коэффициентам регрессии:

по a: $e^{(-b) \cdot x} + b$

по b: $(-a) \cdot x \cdot e^{(-b) \cdot x} + a$

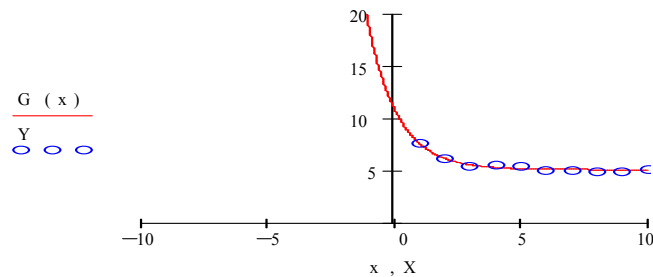
$$F1(x,u) := \begin{pmatrix} u_1 \cdot e^{-u_2 \cdot x} + u_1 \cdot u_2 \\ e^{-u_2 \cdot x} + u_2 \\ -u_1 \cdot x \cdot e^{-u_2 \cdot x} + u_1 \end{pmatrix} \quad \underline{S} := \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

2) Найдем значения коэффициентов регрессии a, b:

$$P := \text{genfit}(X, Y, S, F1) \quad P = \begin{pmatrix} 6 \\ 0.849 \end{pmatrix}$$

3) Уравнение регрессии:

$$\underline{G}(x) := F1(x, P)_1$$



2.13 Лабораторная работа №13 (2 часа).

Тема: «Регрессионная статистика»

2.13.1 Цель работы: Освоить методику регрессионной статистики

2.13.2 Задачи работы:

1. Найти частные уравнения регрессии.
2. Рассмотреть парные регрессии регрессии.

2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Методические указания, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.13.4 Описание (ход) работы:

Частные уравнения регрессии

На основе линейного уравнения множественной регрессии

$$\hat{y} = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_k \cdot x_k + \varepsilon$$

могут быть найдены частные уравнения регрессии:

$$\begin{cases} y_{x_1/x_2, x_3, \dots, x_k} = f(x_1), \\ y_{x_2/x_1, x_3, \dots, x_k} = f(x_2), \\ \dots, \\ y_{x_k/x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}} = f(x_k), \end{cases}$$

т. е. уравнения регрессии, которые связывают результативный признак с соответствующими факторами x при закреплении других учитываемых во множественной регрессии факторов на среднем уровне. Частные уравнения регрессии при соответствующих средних значениях факторов имеют следующий вид:

$$\begin{cases} y_{x_1/x_2, x_3, \dots, x_k} = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot \overline{x_2} + b_3 \cdot \overline{x_3} + \dots + b_k \cdot \overline{x_k} + \varepsilon, \\ y_{x_2/x_1, x_3, \dots, x_k} = a + b_1 \cdot \overline{x_1} + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot \overline{x_3} + \dots + b_k \cdot \overline{x_k} + \varepsilon, \\ \dots, \\ y_{x_k/x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}} = a + b_1 \cdot \overline{x_1} + b_2 \cdot \overline{x_2} + b_3 \cdot \overline{x_3} + \dots + b_k \cdot x_k + \varepsilon. \end{cases}$$

При подстановке в эти уравнения средних значений соответствующих факторов они принимают вид парных уравнений регрессии, то есть имеем:

$$\begin{cases} \hat{y}_{x_1/x_2, x_3, \dots, x_k} = A_1 + b_1 \cdot x_1, \\ \hat{y}_{x_2/x_1, x_3, \dots, x_k} = A_2 + b_2 \cdot x_2, \\ \dots, \\ \hat{y}_{x_k/x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}} = A_k + b_k \cdot x_k, \end{cases}$$

где

$$\begin{cases} A_1 = a + b_2 \cdot \overline{x_2} + b_3 \cdot \overline{x_3} + \dots + b_k \cdot \overline{x_k}, \\ A_2 = a + b_1 \cdot \overline{x_1} + b_3 \cdot \overline{x_3} + \dots + b_k \cdot \overline{x_k}, \\ \dots\dots\dots, \\ A_k = a + b_1 \cdot \overline{x_1} + b_2 \cdot \overline{x_2} + b_3 \cdot \overline{x_3} + \dots + b_{k-1} \cdot \overline{x_{k-1}}. \end{cases}$$

Парные регрессия регрессии

В отличие от парной регрессии частные уравнения регрессии характеризуют изолированное влияние фактора на результат, ибо другие факторы закреплены на неизменном уровне. Эффекты влияния других факторов присоединены в них к свободному члену уравнения множественной регрессии. Это позволяет на основе частных уравнений регрессии определять частные коэффициенты эластичности:

$$E_{y_{xi}} = b_i \cdot \frac{x_i}{y_{x_i/x_1 x_2 \dots x_{i-1} x_{i+1} \dots x_k}},$$

где \hat{b}_i - коэффициенты регрессии для фактора x_i в уравнении множественной регрессии; $y_{x_1/x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k}$ - частное уравнение регрессии.

2.14 Лабораторная работа №14 (2 часа).

Тема: «Дисперсионный анализ»

2.14.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки дисперсионного анализа.

2.14.2 Задачи работы:

1. Изучить общие положения дисперсионного анализа .
2. Изучить методику однофакторного дисперсионного анализа.
3. Общая дисперсия.

2.14.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указания, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.14.4 Описание (ход) работы:

Общие положения

Если результаты N наблюдений изучаемого показателя, сгруппировать по какому-либо группировочному признаку и вычислить средние значения результатов в каждой группе, то возникает вопрос - существенно ли различаются средние значения показателя выделенных групп между собой или, что равносильно, существенно ли влияние группировочного признака на изучаемый показатель.

Ответить на поставленный вопрос можно, сравнивая попарно эти средние значения, то есть, проверяя статистическую гипотезу о равенстве генеральных средних (математических ожиданий показателя) этих групп.

Учитывая, что число групп может быть значительно более двух, поэтому при парном сравнении будет использоваться лишь незначительная часть информации содержащейся в общей выборке. Поэтому для ответа на этот вопрос английским статистиком Р. Фишером в начале двадцатого столетия предложен метод дисперсионного анализа, позволяющий решать вопрос о значимости влияния группировочного признака на изучаемый показатель, используя информацию о нем, содержащуюся во всей выборке.

На практике дисперсионный анализ применяют в случае, когда требуется установить, статистически значимо ли влияет некоторый качественный фактор F , взятый в качестве группировочного признака, на изучаемый показатель X .

Основная идея дисперсионного анализа состоит в сравнении факторной дисперсии (межгрупповой дисперсии), порождаемой воздействием фактора и характеризующей различие средних значений групп, и остаточной дисперсии (внутригрупповой дисперсии), обусловленной случайными причинами. Если различие между этими дисперсиями значимо, то фактор F оказывает существенное влияние на X , то есть средние значения X в группах различаются также значимо.

Если установлено значимое влияние фактора на показатель X , и требуется установить, какой из уровней фактора оказывает наибольшее воздействие, то производят дополнительно парное сравнение средних значений групп.

Дисперсионный анализ используют и для проверки однородности нескольких совокупностей, то есть проверяют гипотезу о равенстве генеральных дисперсий показателя во всех группах. Признаком количественной и качественной однородности групп является равенство дисперсий в этих группах и наличие признака нормальности распределения, то есть коэффициент вариации не должен превышать величины 0,33. Сравнить результаты влияния некоторого фактора правомерно, только в однородных группах.

Дисперсионный анализ предполагает исследование влияния и нескольких факторов (многофакторный дисперсионный анализ) на изучаемый показатель, однако при числе факторов более трех процедура анализа влияния факторов и их различных взаимодействий становится громоздкой и мало продуктивной по сравнению с регрессионным анализом.

Однофакторный дисперсионный анализ

Для уяснения идей метода рассмотрим простейший случай однофакторного дисперсионного анализа.

Допустим, всю выборку наблюдений за показателем X разбили на K групп, используя некоторый группировочный признак F . При этом можно выделить групповые, внутригрупповую, межгрупповую и общую дисперсии.

Групповой дисперсией (дисперсией группы) называют среднее арифметическое квадратов отклонения значений изучаемого признака от среднего значения признака данной группы:

$$D_{\text{гр}}(j) = \frac{\sum_{i=1}^{M_j} n_i \cdot (x_i - \bar{x}_j)^2}{N_j},$$

где $D_{\text{гр}}(j)$ – дисперсия j -ой группы; n_i – частота повторений значения x_i в выборке;

M_j – число подгрупп отличных значений x_i ;

$$N_j = \sum_{i=1}^{M_j} n_i \text{ – объем } j\text{-ой группы;}$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^{M_j} n_i \cdot x_i}{N_j} \text{ – среднее значение } j\text{-ой группы.}$$

Внутригрупповой (остаточной) дисперсией называют среднюю арифметическую групповых дисперсий, взвешенную по объемам групп:

$$D_{\text{вн. гр}} = \frac{\sum_{j=1}^K N_j \cdot D_{\text{гр}}(j)}{N},$$

где K – число групп;

$$N = \sum_{j=1}^K N_j \text{ – объем всей выборки.}$$

Межгрупповой (факторной) дисперсией называют дисперсию групповых средних относительно общей средней:

$$D_{\text{меж гр}} = \frac{\sum_{j=1}^K N_j \cdot (\bar{x}_j - \bar{x}_0)^2}{N}$$

$$\text{где } \bar{x}_0 = \frac{\sum_{j=1}^K N_j \cdot \bar{x}_j}{N} \text{ – общая средняя выборки.}$$

Общей дисперсия

Общей дисперсией называют дисперсию значений всей совокупности относительно общей средней:

$$D_{\text{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_0)^2}{N}$$

Из теоремы разложения дисперсий следует, что если совокупность состоит из нескольких групп, то общая дисперсия равна сумме внутригрупповой и межгрупповой дисперсий:

$$D_{\text{общ}} = D_{\text{межгр}} + D_{\text{внгр}}.$$

Следовательно, всю вариацию изучаемого признака можно представить в виде суммы вариации, обусловленной изменением фактора, которую характеризует межгрупповая или факторная дисперсия, и вариации, связанной со случайными причинами, которую характеризуют дисперсии групп или внутригрупповая дисперсия, то есть остаточная дисперсия.

Таким образом, проверка гипотезы о равенстве нескольких (более двух) средних нормальных, совокупностей, принадлежащих различным группам с неизвестными, но одинаковыми дисперсиями, сводится к сравнению факторной и остаточной дисперсий по критерию Фишера.

2.15 Лабораторная работа №15 (2 часа).

Тема: «Поиск оптимального решения однофакторной задачи»

2.15.1 Цель работы: Освоить методику и получить практические навыки оптимального решения однофакторной задачи

2.15.2 Задачи работы:

1. Поиск оптимального уровня.
2. Поиск критерия Стьюдента.
3. Анализ решения.

2.15.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

. Методические указание, нетбук, программное обеспечение Microsoft Office Word, 2007, Microsoft Office Excel 2003, Microsoft Office Power Point 2003

2.15.4 Описание (ход) работы:

Поиск оптимального уровня

Полученная модель позволяет найти оптимальный уровень затрат обеспечивающий максимальный уровень рентабельности. Для этого можно воспользоваться средствами Excel меню Сервис / Поиск решения.

Открыв Лист Книги Excel, и выбрав в качестве целевой ячейки \$H\$2, занесем в нее формулу $=13,418 + 4,939 \cdot x - 0,21 \cdot x^2$. Активизируем «Равной максимальному значению». В качестве интервала изменяемых значений ячеек укажем \$H\$4 и введем в нее начальное значение поиска равное 5. Нажав кнопку «Выполнить» получим решение (рис. 1 и 2).

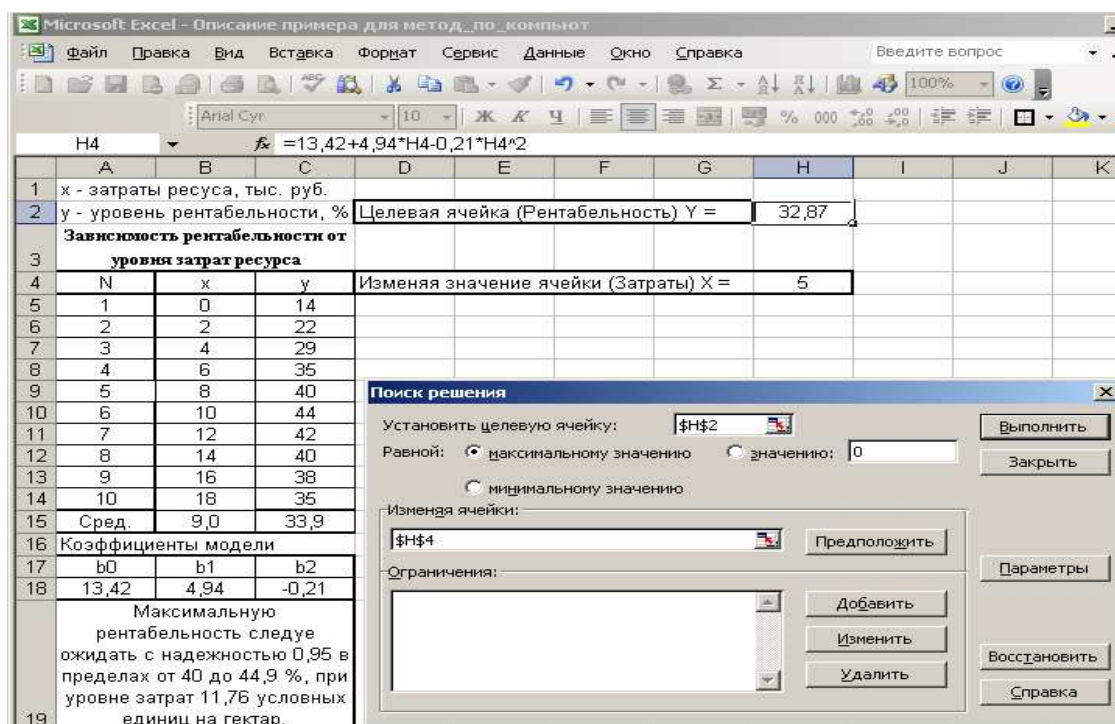


Рис. 1 – Результаты решения

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x - затраты ресурса, тыс. руб.									
2	y - уровень рентабельности, %			Целевая ячейка (Рентабельность) Y =				42,4719		
3	Зависимость рентабельности от уровня затрат ресурса									
4	N	x	y	Изменяя значение ячейки (Затраты) X =				11,7619		
5	1	0	14							
6	2	2	22							
7	3	4	29							
8	4	6	35							
9	5	8	40							
10	6	10	44							
11	7	12	42							
12	8	14	40							
13	9	16	38							
14	10	18	35							
15	Сред.	9,0	33,9							
16	Коэффициенты модели									
17	b0	b1	b2							
18	13,42	4,94	-0,21							
19	Максимальную рентабельность следует ожидать с надежностью 0,95 в пределах от 40 до 44,9 %, при уровне затрат 11,76 условных единиц на гектар.									

Результаты поиска решения

Поиск свелся к текущему решению. Все ограничения выполнены.

☒ Сохранить найденное решение
 ☐ Восстановить исходные значения

Тип отчета

Результаты

Устойчивость

Пределы

ОК

Отмена

Сохранить сценарий...

Справка

Рис. 2 – Результаты решения (продолжение)

Поиск критерия Стьюдента

Таким образом, с надежностью 95% можно ожидать, что при уровне затрат равном 11,762 рентабельность не выйдет за пределы $y = 13,418 + 4,939 \cdot x - 0,21 \cdot x^2 \pm t_{\gamma} \cdot S_{\text{инд}} \approx 42,472 \pm 2,31 \cdot 1,117$ (доверительный интервал).

Критерий Стьюдента t_{γ} можно определить с помощью функции Листа

80