

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Б1.В.ДВ.03.02 Основы научных исследований

Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия

Профиль образовательной программы Технический сервис в АПК

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Организация самостоятельной работы.....	3
2. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов.....	4
3. Методические рекомендации по подготовке к занятиям.....	13

1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы				
		подготовка курсового проекта (работы)	подготовка реферата/эссе	индивидуальные домашние задания (ИДЗ)	самостоятельно изучение вопросов (СИВ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1 Наука и ее формы в учебном процессе и производстве.		x		6	
2	Тема 2 Поиск, обработка и использование научной информации.		x		4	
3	Тема 3 Структурные элементы научного исследования.		x		4	
4	Тема 4 Теоретические исследования.		x		6	2
5	Тема 5 Экспериментальные исследования.		x		6	4
6	Тема 6 Методика статистической обработки экспериментальных данных		x		6	2
7	Тема 7 Теоретические и методические основы проведения многофакторных экспериментов.		x		6	2
8	Тема 8 Аналитическая и геометрическая интерпретация результатов многофакторных экспериментов		x		2	10

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ

2.1 Наименование вопроса

Понятие о науке. Характерные черты современной науки. Концепции научно-технического творчества. Особенности технологических процессов АПК.. Особенности эксплуатации машин и оборудования в сельском хозяйстве

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Задачи, выдвигаемые современным производством и практикой, настолько сложны, что их решение часто требует творческого поиска, исследовательских навыков. В связи с этим современный специалист должен владеть не только необходимой суммой фундаментальных и специальных знаний, но и определенными навыками творческого решения практических вопросов, умением использовать в своей работе все то новое, что появляется в науке и практике, постоянно совершенствовать свою квалификацию, быстро адаптироваться к условиям производства. Все эти качества необходимо воспитывать в вузе. И воспитываются они через активное участие студентов в научно-исследовательской работе.

Опыт современной высшей школы показывает, что в условиях научно-технической революции Научно-исследовательская работа студентов (НИРС) превратилась из средства развития творческих способностей наиболее успевающих и одаренных студентов в мощный рычаг повышения качества подготовки всех специалистов с высшим образованием и является важным методом воспитания, позволяет направлять научный и трудовой потенциал студентов на решение крупных экономических и социальных задач.

Современное понятие «научно-исследовательская работа студентов» включает в себя два взаимосвязанных элемента: обучение студентов элементам исследовательского труда, привитие им навыков этого труда; собственно научные исследования, проводимые студентами под руководством профессоров и преподавателей.

Система научно-исследовательской работы студентов является составной частью единой общественно-государственной системы НТТМ, созданной в стране.

Руководство НИРС является обязательным элементом деятельности профессоров и преподавателей вузов, сотрудников научно-исследовательских учреждений вузов и аспирантов. В каждом вузе организуется совет по НИРС, возглавляемый, как правило, ректором: на факультете - деканом. В связи с созданием общественно-государственной системы эти советы реорганизуются в советы НТТМ с сохранением за ними функций по руководству и организации НИРС.

Формы и методы привлечения студентов к научному творчеству условно подразделяются на научно-исследовательскую работу, включенную в/ учебный процесс и, следовательно, проводимую в учебное время в соответствии с учебными планами и учебными программами (включение элементов научных исследований в различные виды учебных занятий, специальные лекционные курсы по организации НИР, учебно-исследовательская работа (УИР), а также научно-исследовательскую работу, выполняемую студентами во внеучебное время).

Учебно-исследовательская работа (УИР) выполняется в отведенное расписанием занятий учебное время по специальному заданию в обязательном порядке каждым студентом под руководством преподавателя — научного руководителя. Основной задачей УИР является обучение студентов навыкам самостоятельной теоретической и экспериментальной работы, ознакомление с реальными условиями труда в лаборатории, в научном коллективе. В процессе выполнения учебных исследований будущие специалисты учатся пользоваться приборами и оборудованием, самостоятельно проводить эксперименты, применять свои знания при решении конкретных научных задач.

Методика постановки и проведения УИР определяется спецификой института, его научным и материально-техническим потенциалом, сложившимися традициями. На УИР в учебных планах в зависимости от специальности отводится 40...200 ч за счет часов совета вуза или предусматривается учебным планом.

Для проведения учебно-исследовательской работы студенты получают рабочее место в лаборатории, необходимые приборы и материалы. На них распространяются правила трудовой дисциплины и распорядка дня лабораторий и других научных подразделений. Тема работы и объем задания определяются индивидуально.

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.

2.2 Наименование вопроса

Виды тензорезисторов. Виды тензодатчиков. Условия применения тензодатчиков.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

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

Вторичные публикуемые издания. Вторичные непубликуемые документы.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Важное значение для работы с научной литературой принадлежит организации рабочего места. Прежде всего, рабочее место и инструмент, которым человек работает, должны быть привычны для него. Это сокращает до минимума время врабатываемости, появляется условный рефлекс на рабочее место. На рабочем месте не должны появляться какие-либо новые предметы (объекты), которые привлекают внимание к себе и отвлекают от работы. Желательно до начала работы продумать и оценить, что может потребоваться в процессе работы, чтобы потом не искать для себя повода прервать начатое дело.

При работе с литературными источниками необходимо уметь правильно читать, понимать и запоминать прочитанное.

Ученые выявили четыре основных способа обработки информации при чтении.

Это чтения: побуквенное, послоговое, по словам (просматривается первый слог первого слова и первые буквы второго слова, остальная же часть слова угадывается), по понятиям (из текста выбираются только отдельные ключевые слова, а затем синтезируется

мысль, содержащаяся в одном или нескольких предложениях). Чтение по понятиям характерно для людей, имеющих определенные навыки, большой запас знаний для понимания материала и хорошую память.

Емкостные датчики. Индуктивные преобразователи. Пьезоэлектрические преобразователи.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

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. . Последовательность и этапы экспериментальных исследований. Планирование и организация исследования. Выявления влияния отдельных факторов на результат эксперимента.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Научно-исследовательская работа выполняется в определенной последовательности. Вначале формулируется сама тема в результате общего ознакомления с проблемой, в рамках которой предстоит выполнить исследование и разрабатывается основной исходный предплановый документ - технико-экономическое обоснование (ТЭО) темы. Только при наличии такого обоснования возможно дальнейшее планирование и финансирование темы заказчиком. В первом разделе ТЭО темы указываются причины разработки (ее обоснование), приводится краткий литературный обзор, в котором описываются уже достигнутый уровень исследований и ранее полученные результаты. Особое внимание уделяется еще не решенным вопросам, обоснованию, актуальности и значимости работы для отрасли и народного хозяйства страны. Такой обзор позволяет наметить методы решения, задачи и этапы исследования, определить конечную цель выполнения темы. Сюда входят патентная проработка темы и определение целесообразности закупки лицензий.

На стадии составления ТЭО устанавливается область использования ожидаемых результатов НИР, возможность их практической реализации в данной отрасли, определяется предполагаемый (потенциальный) экономический эффект за период применения новой техники (зависящей от продолжительности разработки НИР и ОКР, этапов завершения и внедрения отдельных вопросов). Кроме экономического эффекта в ТЭО указываются предполагаемые социальные результаты (рост производительности труда, качества продукции, повышение уровня безопасности и производственной санитарии, обеспечение охраны природы и окружающей среды). В результате составления ТЭО делается вывод о целесообразности и необходимости выполнения НИР и ОКР. Технико-экономическое обоснование утверждается отраслевым министерством. После утверждения ТЭО конкретизируются цели и задачи исследования. Составляется библиографический список отечественной и зарубежной литературы, научно-технических отчетов по теме различных организаций соответствующего профиля, составляются аннотации литературных источников и в случае необходимости рефераты по теме, уясняются явления, процессы, предметы, которые должны охватить конкретное исследование, а также методы исследования (экспериментальные, теоретические и т.д.).

Целью теоретических исследований является изучение физической сущности предмета. В результате обосновывается физическая модель, разрабатываются математические модели и анализируются полученные таким образом предварительные результаты.

Перед организацией экспериментальных исследований разрабатываются задачи, выбираются методика и программы эксперимента. Его эффективность существенно зависит от выбора средств измерений. При решении этих задач необходимо руководствоваться инструкциями и ГОСТами.

Принимаемые методические решения формулируются в виде методических указаний на проведение эксперимента.

После разработки методик исследования составляется рабочий план, в котором указываются объем экспериментальных работ, методы, техника, трудоемкость и сроки.

После завершения теоретических и экспериментальных исследований проводится общий анализ полученных результатов, осуществляется сопоставление гипотезы с результатами эксперимента. В результате анализа расхождений уточняются теоретические модели. В случае необходимости проводятся дополнительные эксперименты. Затем формулируются научные и производственные выводы, составляется научно-технический отчет.

Следующим этапом разработки темы является внедрение результатов исследований в производство и определение их действительной экономической эффективности. Внедрение фундаментальных и прикладных научных исследований в производство осуществляется через разработки, проводимые, как правило, в опытно-конструкторских бюро, проектных организациях, опытных заводах и мастерских. Разработки оформляются в виде опытно-технологических или опытно-конструкторских работ, включающих формулировки темы; цели и задачи разработки; изучение литературы; подготовку к техническому проектированию экспериментального образца; техническое проектирование (разработка вариантов технического проекта с расчетами и разработкой чертежей); изготовление отдельных блоков, их объединение в систему; согласование технического проекта - и его технико-экономическое обоснование. После этого выполняется рабочее проектирование (детальная проработка проекта); изготавливается опытный образец; производится его опробование, доводка и регулировка; стендовые и производственные испытания. После этого осуществляется доработка опытного образца (анализ производственных испытаний, переделка и замена отдельных узлов).

Успешное выполнение перечисленных этапов работы дает возможность представить образец к государственным испытаниям, в результате которых образец

запускается в серийное производство. Разработчики при этом осуществляют контроль и дают консультации.

Внедрение завершается оформлением акта экономической эффективности результатов исследования.

Распределение вероятностей случайных ошибок измерений. Характеристики систематических ошибок. Формирование математических моделей технологических процессов и средств их механизации. . Одиночная значимость. Абсолютная значимость

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Подготовка исследуемого объекта и создание экспериментальной установки - важные шаги реализации программы исследований, после которых наступает основной период проведения самой экспериментальной работы. Такой период, казалось бы, характеризуется чисто эмпирическими признаками: изменением управляемых условий, включением и выключением приборов и различных механизмов, фиксированием тех или иных свойств, эффектов и т.п. В ходе эксперимента как бы уменьшается роль теории. Но на самом деле наоборот - без теоретического знания невозможны постановка промежуточных задач и их решение.

Экспериментальная установка - овеществленное, материализованное знание. Роль теории в ходе эксперимента предполагает выяснение механизма формирования объекта познания и взаимодействия субъекта, приборов и объекта, измерения, наблюдения и регистрации экспериментальных данных.

Теоретические предпосылки могут содействовать получению позитивных сведений о мире, научному открытию либо мешать, уводить поиск в сторону от верного пути - все зависит от того, верны или не верны данные предпосылки. Иногда ученые в силу объективных или субъективных обстоятельств руководствуются ложными предпосылками, что, естественно, не способствует объективному отражению действительности. Например, ложное истолкование научных проблем кибернетики и генетики привело к существенному отставанию в данных отраслях знания.

В истории естествознания прослеживается тенденция развития процесса познания от качественного изучения объекта или явления к установлению их количественных параметров и выявлению общих закономерностей, выраженных в строгой математической форме. Строгость и точность экспериментальных сведений при этом зависит от совершенства методов измерений и чувствительности разрешающей способности и точности измерительной техники.

Современный эксперимент характеризуется высокой точностью измерений. Можно назвать несколько путей повышения точности: 1) введение новых эталонов; 2) применение чувствительных приборов; 3) учет всех условий, влияющих на объект; 4) сочетание разных видов измерений; 5) автоматизация процесса измерений.

Оптимальное сочетание данных путей определяется субъективным свойством естествоиспытателя и в большой степени зависит от степени совершенства экспериментальной техники.

Организация постоянного взаимодействия наблюдения, измерения и количественного описания в процессе эксперимента опосредуется теоретическими знаниями, включающими философское представление о картине мира, гипотезы и т.д.

Теоретические знания в ходе эксперимента лежат в основе: - формирования сложного объекта исследований; - перегруппировки элементов объекта, скрытых от непосредственного наблюдения; - фиксации и регистрации экспериментальных данных; - интерпретации полученных данных и их сопоставления с теоретическими.

При реализации данных процессов естествоиспытатель постоянно сверяет свои действия и результаты с теоретическими посылками. Когда эксперимент находится в завершающейся стадии и собраны основные экспериментальные результаты,

теоретическая работа не прекращается - она направлена на обработку результатов эксперимента.

Групповая дисперсия. Однофакторный дисперсионный анализ. Доля Выборка. . Доля Столбцы Доля Взаимодействие. Последовательность и этапы экспериментальных исследований. Место эксперимента

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

После получения первых экспериментальных результатов процедура эксперимента продолжается. Во-первых, как правило, разовый эксперимент не дает окончательного ответа на поставленный вопрос. Во-вторых, полученные экспериментальные результаты нуждаются в логической доработке, превращающей их в научный факт, т.е. в то, в истинности чего не возникает сомнений.

Представление о фактах как проявлениях действительности, непосредственно фиксируемых в формах чувственного отражения, сложилось в науке на ранней стадии зарождения естествознания. Практика современного естествознания показывает, что не все факты непосредственно воспринимаются, чаще всего факты не являются тем, что бросается сразу в глаза и может быть зафиксировано всеми, кто обладает нормальным зрением.

Факты в естествознании не просто собираются, а активно формируются естествоиспытателем, что отнюдь не снижает их объективности. В равной мере и теория, несмотря на проявление творческой активности субъекта, не утрачивает своей объективности, если она истинна.

Отдельные экспериментальные данные, полученные на начальной стадии эмпирического исследования, сами по себе не становятся фактами науки. В них могут содержаться ошибки, связанные с некорректной постановкой эксперимента, неправильными показаниями измерительных приборов, отклонениями в функционировании органов чувств и т.п. Поэтому в естествознании, как правило, проводится не один, а серия экспериментов. Уточняются и проверяются результаты эксперимента, собираются недостающие сведения, проводятся дополнительные эксперименты.

Затем полученные в серии экспериментов данные подвергаются математической обработке. При кажущейся простоте получения и обработки первичных экспериментальных данных, т.е. результатов наблюдений и измерений, математическая обработка,

обладая определенной спецификой, производится в рамках строгой теории ошибок, на основании которой количественно определяется достоверность окончательных результатов. Сколь бы точными ни были наблюдения и измерения, погрешности неизбежны, и задача естествоиспытателя заключается в том, чтобы приблизить экспериментальные данные к объективным значениям определяемых величин, т.е. уменьшить интервал неточности. Для этого каждый исследователь должен иметь представление обо всех ошибках, встречающихся в практике экспериментального исследования. Современная теория ошибок вооружает экспериментаторов надежными средствами корректировки экспериментальных данных.

Статистическая обработка — не только эффективное средство уточнения экспериментальных данных, отсеивания случайных ошибок, но и первый шаг обобщения их в процессе формирования научного факта.

Разумеется, статистическая обработка — необходимая, но не достаточная операция при переходе от эмпирических данных к естественнонаучным фактам. После уточнения экспериментальных результатов начинается следующая стадия — сравнение и обработка.

Если в результате сравнения и обобщения готовится материал для последующих обобщений, то в науке фиксируется новое явление. Однако это не означает завершения процесса формирования научного факта. Вновь зафиксированное

явление становится научным фактом после его интерпретации. Таким образом, научный факт, полученный в эксперименте, представляет собой результат обобщения совокупности выводов, основанных на наблюдениях и измерениях характеристик исследуемого объекта при предсказании их в виде гипотезы.

Разработка компьютерной модели.. Компьютерное моделирование, прогон программ. . Цели и задачи моделирования . Эффективность моделирования. Система нормальных линейных уравнений. Критическое значение критерия Стьюдента. . Построение криволинейной модели.. Решение статистических задач с помощью Microsoft Excel. Интервальные оценки коэффициентов регрессионного уравнения.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Современный этап научных исследований характеризуется тем, что наряду с классическим натурным экспериментом все шире применяется вычислительный эксперимент, проводимый на математической модели с помощью ЭВМ. Проведение вычислительного эксперимента значительно дешевле и мобильнее, чем проведение аналогичного натурного, и в ряде случаев вычислительный эксперимент является единственным возможным инструментом исследователя.

Математический аппарат теории планирования и обработки результатов экспериментов в полной мере может быть применен как к натурным, так и к вычислительным экспериментам. В данной контрольно-курсовой работе под проводимым экспериментом будем понимать эксперимент на математической модели, выполненный при помощи ЭВМ.

Основная задача теории планирования и обработки результатов экспериментов – это построение статистической модели изучаемого процесса в виде $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$, где X – факторы, Y – функция отклика. Полученную функцию отклика можно использовать для оптимизации изучаемых процессов, то есть определять значения факторов, при которых явление или процесс будет протекать наиболее эффективно.

Объект исследования – одноцилиндровый четырехтактный дизельный двигатель ТМЗ-450Д.

Предмет исследования – процесс функционирования двигателя.

Цель исследования – анализ влияния одного из параметров двигателя на показатели его работы и получение соответствующей функциональной зависимости

Для проверки адекватности модели определим абсолютные ΔY_j и относительные погрешности ε_j в каждом из опытов.

$$\Delta Y_j = Y_{jp} - Y_j; \varepsilon_j = \frac{\Delta Y_j}{Y_j},$$

где Y_{jp} – расчетное значение функции (отклика) в j -ой точке.

Просматривая значения этих погрешностей, исследователь может легко понять, какова погрешность предсказания в точках, где проводились опыты, устраивают его или нет подобные ошибки. Таким образом, путем сопоставления фактических значений отклика с предсказанными по уравнению регрессии можно получить достаточно надежное свидетельство о точностных характеристиках модели.

С помощью анализа работоспособности регрессионной модели выясним практическую возможность ее использования для решения какой-либо задачи. Это анализ будем проводить, вычисляя коэффициент детерминации (квадрат корреляционного отношения). Коэффициент детерминации R^2 вычисляется по формуле:

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{jp} - \hat{Y})^2}{\sum_{j=1}^n (Y_j - \hat{Y})^2}$$

где $\hat{Y} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_j$ – общее среднее значение функции отклика.

$$\hat{Y} = \frac{1}{11} \cdot 19436,266 = 1766,93327.$$

Для уравнения регрессии $Y = a_0 + a_1X$:

$$R^2 = \frac{5001978,27246}{6231222,66188} \approx 0,87$$

Для уравнения регрессии $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$:

$$R^2 = \frac{5732724,84892}{6231222,66188} \approx 0,92$$

Т.к. в уравнениях регрессии $R^2 \geq 0,75$ оба уравнения принято считать работоспособными. В уравнении регрессии вида $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$

$R^2 \approx 0,92$, а в уравнении регрессии вида $Y = a_0 + a_1X$ $R^2 \approx 0,87$. Из этого следует, что в уравнении вида $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$ найденное значение регрессии лучше объясняет вариацию в значениях Y ($N >> (d+1)$), чем в уравнении вида $Y = a_0 + a_1X$.

Поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях. Поиск оптимального решения многофакторной задачи. Поиск области оптимума. Множественная регрессия . Остаточная дистерсия. Дробный факторный план.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Excel позволяет решать задачи оптимального управления, общий вид которых представлен формулами 1-5.

$$F = f(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n) \rightarrow \max(\min, Const), (1)$$

$$g_i(x_j) \leq (=, \geq) b_i, (2)$$

$$d_j \leq x_j \leq D_j, (3)$$

$$i = \overline{1, m}, (4)$$

$$j = \overline{1, n}, (5)$$

где x_j может принимать либо действительные, либо целочисленные, либо булевые значения.

Формула 1 определяет целевую функцию, формула 2 определяет ограничения, а формула 3 определяет граничные условия. В зависимости от вида функции f в формуле 1 задача может относиться либо к классу задач линейного или нелинейного программирования. В зависимости от того, являются ли x_j целыми и булевыми или действительными величинами задача может относиться к задачам целочисленного программирования или нет.

Для решения таких задач в Excel предусмотрена надстройка «Поиск решения», которую можно вызвать из меню «Сервис». Если пункта меню «Поиск решения» нет, то нужно вернуться к установке Excel и установить эту надстройку.

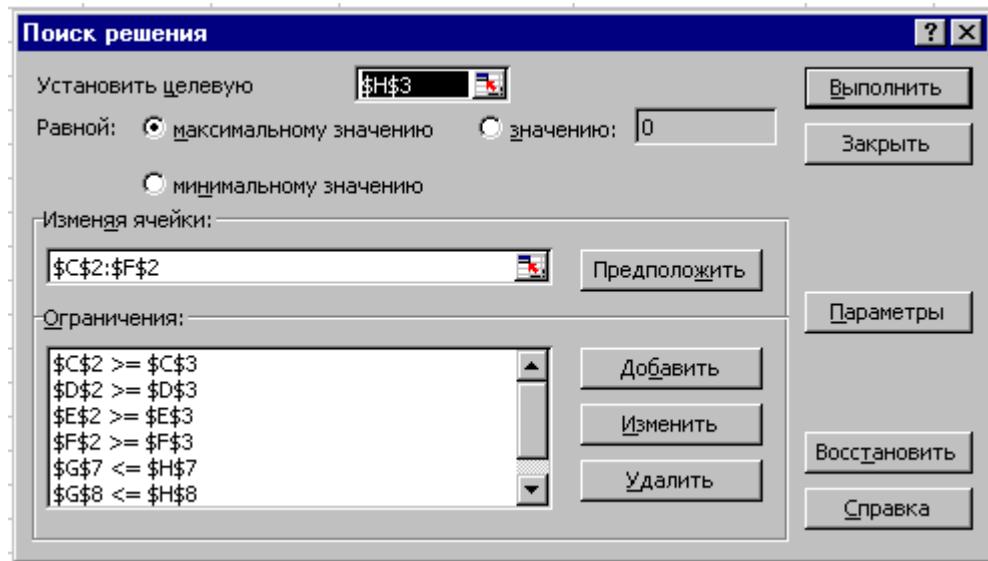


Рис.1.Окно диалога надстройки «Поиск решения»

После выбора пункта меню появится диалог надстройки «Поиск решения». Подробную справку по этому диалогу можно получить в справочной системе Excel по ключевым словам «надстройка поиска решения, прерывание»(см.рис.2). Появится следующее окно справки.

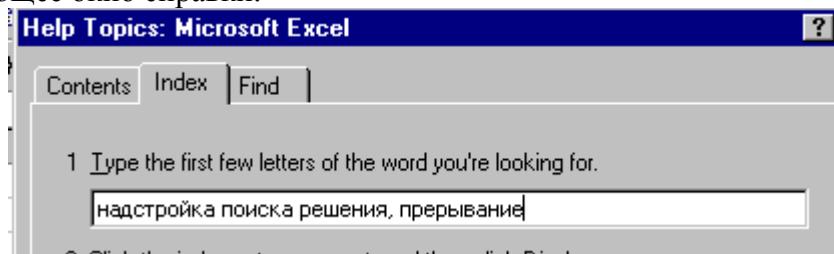


Рис.2. Поиск информации в Excel по ключевым словам

Постановка задачи и оптимизация модели с помощью процедуры поиска решения

1 В меню Сервис выберите команду Поиск решения. Если команда Поиск решения отсутствует в меню Сервис, установите соответствующую надстройку. Инструкции

2 В поле Установить целевую ячейку введите адрес или имя ячейки, в которой находится формула оптимизируемой модели.

3 Чтобы максимизировать значение целевой ячейки путем изменения значений влияющих ячеек, установите переключатель в положение максимальному значению. Чтобы минимизировать значение целевой ячейки путем изменения значений влияющих ячеек, установите переключатель в положение минимальному значению. Чтобы установить значение в целевой ячейке равным некоторому числу путем изменения значений влияющих ячеек, установите переключатель в положение значению и введите в соответствующее поле требуемое число.

4 В поле Изменяя ячейки введите имена или адреса изменяемых ячеек, разделяя их запятыми. Изменяемые ячейки должны быть прямо или косвенно связаны с целевой ячейкой. Допускается установка до 200 изменяемых ячеек. Чтобы автоматически найти все ячейки, влияющие на формулу модели, нажмите кнопку Предположить.

5 В поле Ограничения введите все ограничения, накладываемые на поиск решения.

6 Нажмите кнопку Выполнить.

7 Чтобы сохранить найденное решение, установите переключатель в диалоговом окне Результаты поиска решения в положение Сохранить найденное решение. Чтобы восстановить исходные данные, установите переключатель в положение Восстановить исходные значения.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ

3.1 Тема 1 - Наука и ее формы в учебном процессе и производстве.

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах.

(ЛР - 1) При проведении испытаний различают такие основные показатели качества работы, которые характеризуют другую основную группу агротехнической оценки:

1) при испытании почвообрабатывающих машин определяют возможность получения необходимого качества возделывания почвы, т. е.:

- А) степень рыхления почвы;
- Б) глубина возделывания и ее равномерность;
- В) ширина захвата;
- Г) гребнистость полученной поверхности;
- Д) степень уничтожения сорняков и их заделки в почву;
- Е) степень заделки;
- Ж) скорость движения агрегата;
- З) тяговое сопротивление машины;

2) при испытаниях посевных и посадочных машин определяют два положения, - в какой мере они удовлетворяют исходным требованиям и удовлетворяет ли данная конструкция машины хозяйственно-экономическим требованиям, при этом контролируют такие показатели:

- А) скорость движения агрегата;
- Б) равномерность глубины заделки семя (рассады);
- В) норму высева и посадки;
- Г) ширину основных и стыковых междурядий;

Д) кроме того, для сажалок - положение корневой системы, зона смачивания, прорастание рассады, прямолинейность рядков;

3) при испытании зерноуборочных машин ставится цель обнаружить, в какой мере машина собрала урожай и в какой мере собранный урожай удовлетворительно обработан, то есть контролируются такие показатели:

- А) потеря за жаткой и подборщиком скошенных валков;
- Б) общие затраты;
- В) пропускная способность;
- Г) полнота обмолота;
- Д) общее количество примесей;
- Ж) повреждение зерна и количество зерна в отходах.

4) при испытании машин для заготовки кормов контролируют:

- А) засоренность почвой собранной массы;
- Б) высоту среза травы;
- В) потери кормов;
- Г) размер, масса и целостность деформированных стеблей;
- Д) качество вязания тюков;

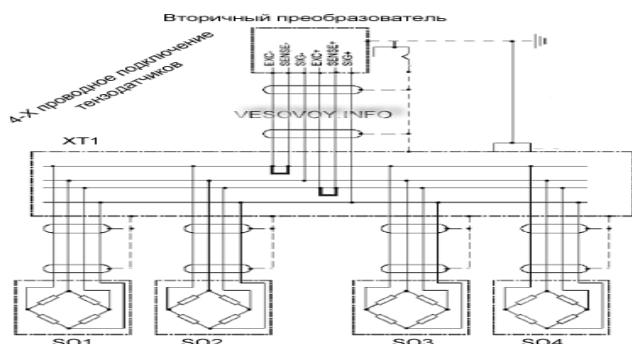
Ж) качество измельчения и полнота дробления стеблей;

5) при испытании машин для уборки корнеклубнеплодов определяют:

- А) глубину хода исполняющих органов;
- Б) потери корнеклубнеплодов;
- В) характер повреждения по видам, то есть сильно и малоповрежденные;
- Г) место обрезки ботвы;
- Д) потери ботвы;
- Е) количество вызревших корнеклубнеплодов в собранной ботве и ворохе.

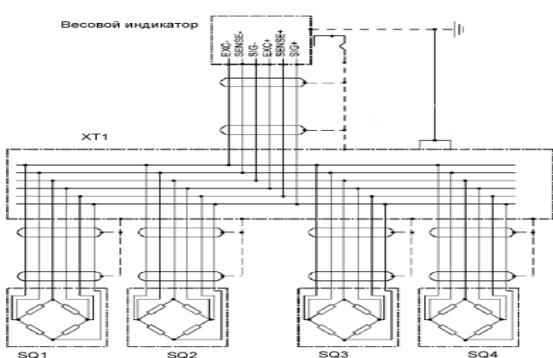
(ЛР - 2) Существует два варианта схем подключения тензодатчиков веса к весовому терминалу или индикатору. Это 4- х проводная и 6-ти проводная схемы. Далее рассмотрим отличие этих двух схем подключения, достоинства и недостатки каждой.

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 XT1, 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.



(ЛР - 3) 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 $n_{\text{дв}}$.

Часовой расход топлива G_T , кг/ч, вычисляют по формулам

$$G_T = 3,6 \frac{m_T}{t}, \quad G_T = 3,6 \frac{V_T \rho}{t},$$

где m_T - масса топлива, израсходованного двигателем самоходной сельскохозяйственной машины или трактора за время измерения, г;
 t - время измерения, с;

V_T - объем топлива, израсходованного двигателем самоходной сельскохозяйственной машины или трактора за время измерения, см³;
 ρ - плотность топлива при стандартной температуре, г/см³.

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

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

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

$$N_M = 10^{-3} Rv + N_{\text{вом}},$$

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

- для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом от трактора на рабочие органы

$$N_M = 10^{-3} Rv + N_r,$$

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

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 самоподвижение 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 $G_{T.C}$ известным методом.

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

(ЛР - 4) 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 бремени, чем то, которым располагает исследователь между сменами состояний объекта или когда современный уровень знаний недостаточен для проникновения в существование 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 этот эксперимента широко распространен в естественных науках.

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.

3.2 Тема 2 - Поиск, обработка и использование научной информации.

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах.

Важное значение для работы с научной литературой принадлежит организации рабочего места. Прежде всего, рабочее место и инструмент, которым человек работает, должны быть привычны для него. Это сокращает до минимума время врабатываемости, появляется условный рефлекс на рабочее место. На рабочем месте не должны появляться какие-либо новые предметы (объекты), которые привлекают внимание к себе и отвлекают от работы. Желательно до начала работы продумать и оценить, что может потребоваться в процессе работы, чтобы потом не искать для себя повода прервать начатое дело.

При работе с литературными источниками необходимо уметь правильно читать, понимать и запоминать прочитанное.

Ученые выявили четыре основных способа обработки информации при чтении.

Это чтения: побуквенное, послоговое, по словам (просматривается первый слог первого слова и первые буквы второго слова, остальная же часть слова угадывается), по понятиям (из текста выбираются только отдельные ключевые слова, а затем синтезируется мысль, содержащаяся в одном или нескольких предложениях). Чтение по понятиям характерно для людей, имеющих определенные навыки, большой запас знаний для понимания материала и хорошую память.

Для понимания сложного текста необходимо не только быть внимательным при чтении, иметь знания и уметь их применять, но и владеть определенными мыслительными приемами. Один из них заключается в необходимости воспринимать не отдельные слова, а предложения и даже целые группы предложений, т. е. абзацы. При этом используется так называемая антиципация - смысловая догадка. Быстро читающий человек обычно по нескольким буквам угадывает слово, по нескольким словам — фразу, по нескольким фразам — смысл целого абзаца.

Необходимо стремиться, именно так читать изучаемый материал. Для этого можно использовать так называемый дифференциальный алгоритм. В соответствии, с которым обработка каждого абзаца начинается с выявления ключевых слов, несущих основную смысловую нагрузку, после чего строятся смысловые ряды, т. е. происходит сжатие текста путем выделения ключевых слов и образования на их основе лаконичных выражений (это как бы просеивание текста, в итоге которого остаются зерна смысла). После сжатия текста происходит процесс его качественного преобразования, в результате которого в обрабатываемом сообщении выявляется только истинное значение его содержания.

При обучении быстрому чтению ставится задача воспитания новых привычек, которые ускоряют чтение. Первый путь повышения скорости чтения — выявление скрытых резервов мозга, активизация процессов мышления при чтении. Один из путей решения этой задачи - использование алгоритмов.

3.3 Тема 3 - Структурные элементы научного исследования.

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах.

(ЛР - 5) Дисперсионный анализ следует применять тогда, когда известно (установлено), что распределение результативного признака является нормальным.

Для проверки следует провести расчеты ассимметрии и эксцесса по следующим формулам: $A = \Sigma (x_i - \bar{x})^3 / n\sigma^3$ $m_A = \sqrt{6}/n$

$$E = (\Sigma (x_i - \bar{x})^4 / n\sigma^4) - 3 \quad m_E = 2\sqrt{6}/n,$$

где A и E — ассимметрия и эксцесс, а m_A и m_E — их ошибки репрезентативности. После подстановки значений не должно оказаться так, чтобы ассимметрия 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.

(В SPSS эта возможность представлена так: *Данные – Выбор регистров – Случайный образец регистров (радиокнопка) – Образец... (кнопка)*).

(ЛР - 6) Однофакторный дисперсионный анализ. 1. Решение задач однофакторного дисперсионного анализа. Дисперсионный анализ позволяет исследовать различие между группами данных, определять, носят ли эти расхождения случайный характер или вызваны конкретными обстоятельствами. Например, если продажи фирмы в одном из регионов снизились, то с помощью дисперсионного анализа можно выяснить, случайно ли снижение оборотов в этом регионе по сравнению с остальными, и при необходимости произвести организационные изменения. При выполнении эксперимента в разных условиях дисперсионный анализ поможет определить, насколько влияют внешние факторы на измерения, или отклонения носят случайный характер. Если на производстве для улучшения качества продукции изменяют режим процессов, то дисперсионный анализ позволяет оценить результаты воздействия данного фактора.

На этом примере мы покажем, как выполнять дисперсионный анализ экспериментальных данных.

Задание 1. Имеются четыре партии сырья для текстильной промышленности. Из каждой партии отобрано по пять образцов и проведены испытания на определение величины разрывной нагрузки. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица 11.2

Номер партии	Разрывная нагрузка (кг/см ²)				
1	200	140	170	145	165
2	190	150	210	150	150
3	230	190	200	190	200
4	150	170	150	170	180

Необходимо выяснить, существенно ли влияние различных партий сырья на величину разрывной нагрузки. Данная задача сводится к проверке выдвигаемой нулевой гипотезы $H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_m$ о равенстве математических ожиданий, осуществляющейся в дисперсионном анализе. т.е. нужно проверить гипотезу о том, что на уровне значимости $\alpha = 0,05$ (с надежностью 0,95) различие между партиями сырья не оказывает существенное влияние на величину разрывной нагрузки.

Лист2 (Sheet2), чтобы перейти на другой рабочий лист.

- Введите данные для дисперсионного анализа, изображенные на рис.1.
- Преобразуйте данные в числовую формат. Для этого выберите команду меню Формат • Ячейки. На экране появится окно формат ячеек (Рис.2). Выберите Числовой формат и введенные данные преобразуются к виду, показанному на рис. 3
- Выберите команду меню Сервис • Анализ данных (Tools * Data Analysis). На экране появится окно Анализ данных (Data Analysis) (Рис.4).
- Щелкните мышью на строке Однофакторный дисперсионный анализ (Anova: Single Factor) в списке Инструменты анализа (Analysis Tools).
- Нажмите кнопку OK, чтобы закрыть окно Анализ данных (Data Analysis). На экране появится окно Однофакторный дисперсионный анализ для проведения дисперсионного анализа данных.

• Откройте табличный процессор Microsoft Excel. Щелкните мышью на ярлыке

3.4 Тема 4 - Теоретические исследования.

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах. **(ЛР - 7)** 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 турнов 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, существенно 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 экспертом посыпается 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 высыпается анкета с необходимыми инструкциями для их заполнения. Сообщением экспертам о включении их в экспертизу заканчивается работа по подбору экспертов.

(ЛР - 8) Метод дисперсионного анализа для связанных выборок применяется в тех случаях, когда исследуется влияние разных градаций фактора или разных условий на одну и ту же выборку испытуемых. Градаций фактора должно быть не менее трех.

В данном случае различия между испытуемыми - возможный самостоятельный источник различий. Однофакторный дисперсионный анализ для связанных выборок позволит определить, что перевешивает - тенденция, выраженная кривой изменения фактора, или индивидуальные различия между испытуемыми. Фактор индивидуальных различий может оказаться более значимым, чем фактор изменения экспериментальных условий.

Пример 2. Группа из 5 испытуемых была обследована с помощью трех экспериментальных заданий, направленных на изучение интеллектуальной, настойчивости (Сидоренко Е. В., 1984). Каждому испытуемому индивидуально предъявлялись последовательно три одинаковые анаграммы: четырехбуквенная, пятибуквенная и шестибуквенная. Можно ли считать, что фактор длины анаграммы влияет на длительность попыток ее решения?

Таблица 2. Длительность решения анаграмм (сек)

Код испытуемого	Условие 1. четырехбуквенная анаграмма	Условие 2. Пятибуквенная анаграмма	Условие 3. шестибуквенная анаграмма	Суммы по испытуемым
1	5	235	7	247
2	7	604	20	631
3	2	93	5	100
4	2	171	8	181
5	35	141	7	183
суммы	51	1244	47	1342

Сформулируем гипотезы. Наборов гипотез в данном случае два.

Набор А. $H_0(A)$: Различия в длительности попыток решения анаграмм разной длины являются не более выражеными, чем различия, обусловленные случайными причинами. $H_1(A)$: Различия в длительности попыток решения анаграмм разной длины являются более выражеными, чем различия, обусловленные случайными причинами.

Набор Б. $H_0(B)$: Индивидуальные различия между испытуемыми являются не более выражеными, чем различия, обусловленные случайными причинами. $H_1(B)$: Индивидуальные различия между испытуемыми являются более выражеными, чем различия, обусловленные случайными причинами.

Последовательность операций в однофакторном дисперсионном анализе для связанных выборок:

1. подсчитаем $SS_{\text{факт}}$ - вариативность признака, обусловленную действием исследуемого фактора по формуле (1).

$$SS_{\text{факт}} = \frac{\sum T_c^2}{n} - \frac{(\sum x_i)^2}{N} = \frac{(51^2 + 1244^2 + 47^2)}{5} - \frac{1342^2}{15} = 190405,$$

где T_c – сумма индивидуальных значений по каждому из условий (столбцов). Для нашего примера 51, 1244, 47 (см. табл. 2); c – количество условий (градаций) фактора ($=3$); n – количество испытуемых в каждой группе ($=5$); N – общее количество индивидуальных значений ($=15$); $(\sum x_i)^2$ - квадрат общей суммы индивидуальных значений ($=1342^2$)

2. подсчитаем $SS_{\text{исп}}$ - вариативность признака, обусловленную индивидуальными значениями испытуемых.

$$SS_{\text{исп}} = \frac{\sum T_u^2}{c} - \frac{(\sum x_i)^2}{N} = \frac{(247^2 + 631^2 + 100^2 + 181^2 + 183^2)}{3} - \frac{1342^2}{15} = 58409$$

где T_u – сумма индивидуальных значений по каждому испытуемому. Для нашего примера 247, 631, 100, 181, 183 (см. табл. 2); c – количество условий (градаций) фактора ($=3$); N – общее количество индивидуальных значений ($=15$);

3. подсчитаем $SS_{\text{общ}}$ – общую вариативность признака по формуле (2):

$$SS_{\text{общ}} = \frac{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N} = \frac{5^2 + 7^2 + 2^2 + 2^2 + 35^2 + 235^2 + 604^2 + 93^2 \dots + 8^2 + 7^2 - 1342^2}{15} = 359642$$

4. подсчитаем случайную (остаточную) величину $SS_{\text{сл}}$, обусловленную неучтенными факторами по формуле (3):

$$SS_{\text{сл}} = SS_{\text{общ}} - SS_{\text{факт}} - SS_{\text{исп}} = 359642 - 190405 - 58409 = 110828$$

5. число степеней свободы равно (4):

$$k_{\phi_{\text{акт}}} = k_1 = c - 1 = 3 - 1 = 2; \quad k_{\text{исп}} = k_3 = n - 1 = 5 - 1 = 4;$$

$$k_{\phi_{\text{общ}}} = N - 1 = 15 - 1 = 14; \quad k_{\text{сн}} = k_2 = k_{\phi_{\text{общ}}} - k_{\phi_{\text{акт}}} - k_{\text{исп}} = 14 - 2 - 4 = 8$$

6. «средний квадрат» или математическое ожидание суммы квадратов, усредненная величина соответствующих сумм квадратов SS равна (5):

$$MS_{\phi_{\text{акт}}} = \frac{SS_{\phi_{\text{акт}}}}{k_{\phi_{\text{акт}}}} = \frac{190405}{2} = 95202,2; \quad MS_{\text{исп}} = \frac{SS_{\text{исп}}}{k_{\text{исп}}} = \frac{58409}{4} = 14602,2$$

$$MS_{\text{сн}} = \frac{SS_{\text{сн}}}{k_{\text{сн}}} = \frac{110827}{8} = 13853,4$$

7. значение статистики критерия $F_{\text{эмп}}$ рассчитаем по формуле (6):

$$F_{\text{эмп_факт}} = \frac{MS_{\phi_{\text{акт}}}}{MS_{\text{сн}}} = \frac{95202,5}{13853,4} = 6,872 \quad ; \quad F_{\text{эмп_исп}} = \frac{MS_{\text{исп}}}{MS_{\text{сн}}} = \frac{14602,5}{13853,4} = 1,054$$

8. определим $F_{\text{крит}}$ по статистическим таблицам Приложения 3 для $df_1=k_1=2$ и $df_2=k_2=8$ табличное значение статистики $F_{\text{крит_факт}}=4,46$, и для $df_3=k_3=4$ и $df_2=k_2=8$ $F_{\text{крит_исп}}=3,84$

9. $F_{\text{эмп_факт}} > F_{\text{крит_факт}}$ ($6,872 > 4,46$), следовательно принимается альтернативная гипотеза.

10. $F_{\text{эмп_исп}} < F_{\text{крит_исп}}$ ($1,054 < 3,84$), следовательно принимается нулевая гипотеза.

Вывод: различия в объеме воспроизведения слов в разных условиях являются более выраженным, чем различия, обусловленные случайными причинами ($p < 0,05$). Индивидуальные различия между испытуемыми являются не более выраженным, чем различия, обусловленные случайными причинами.

3.5 Тема 5 - Экспериментальные исследования.

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах.

(ЛР-9) Кроме функций в табличном процессоре есть набор инструментов для углубленного анализа данных, которые объединены общим названием *Пакет анализа*. Одним из них является инструмент *Описательная статистика*, который вычисляет следующие статистические характеристики: среднее, стандартную ошибку (среднего), медиану, моду, стандартное отклонение, дисперсию выборки, эксцесс, асимметричность, интервал, минимум, максимум, сумму, наибольшее, наименьшее, счет, уровень надежности.

Пример. Даны выборки зарплат основных групп работников банка: администрации (менеджеров), персонала по работе с клиентами, технических служб. Полученные данные приведены в таблице:

Администрация	Персонал по работе с клиентами	Технические работники
4500	2100	3200
4000	2100	3000
3700	2000	2500
3000	2000	2000
2500	2000	1900
	1900	1800
	1800	
	1800	

Требуется вычислить основные статистические характеристики в группах данных.

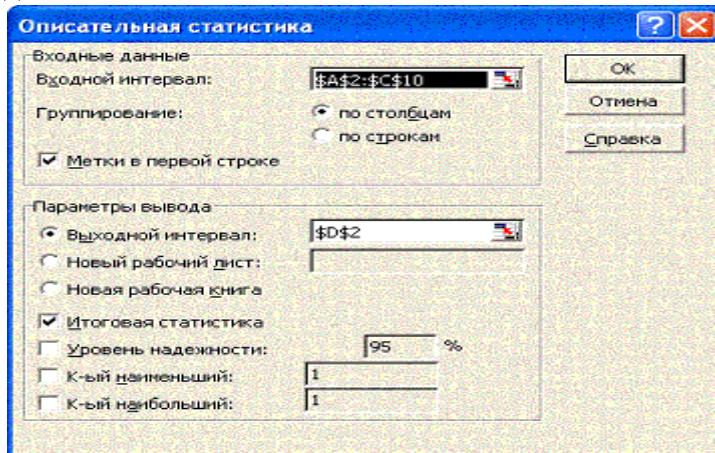
Решение

1. Подготовьте исходные данные для вычислений на рабочем листе (См. рис.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Описательная статистика зарплат работников банка									
1									
2	Администрация	Персонал по работе с клиентами	Технический персонал		Администрация	Персонал по работе с клиентами		Технический персонал	
3	4500	2100	3200						
4	4000	2100	3000	Среднее	3540	Среднее	1962,5	Среднее	2400
5	3700	2000	2500	Стандартная ошибка	355,8089375	Стандартная ошибка	41,9927715	Стандартная ошибка	243,584345
6	3000	2000	2000	Медиана	3700	Медиана	2000	Медиана	2250
7	2500	2000	1900	Мода	#Н/Д	Мода	2000	Мода	#Н/Д
8			Стандартное отклонение	795,6129712		Стандартное отклонение	118,773494	Стандартное отклонение	598,657356
9			Дисперсия выборки	633000		Дисперсия выборки	14107,1429	Дисперсия выборки	356000
10			Экспесс	-1,29384635		Экспесс	-1,2292902	Экспесс	-2,0688676
11			Асимметричность	-0,24502455		Асимметричность	-0,3943257	Асимметричность	0,45760553
12			Интервал	2000		Интервал	300	Интервал	1400
13			Минимум	2500		Минимум	1800	Минимум	1800
14			Максимум	4500		Максимум	2100	Максимум	3200
15			Сумма	17700		Сумма	15700	Сумма	14400
16			Счет	5		Счет	8	Счет	6

2. Проведите статистическую обработку, для чего выполните команду меню *Сервис - Анализ данных*. В появившемся списке выберите инструмент *Описательная статистика*.

3. В открывшемся окне диалога (См.рис.) в поле *Входной интервал* укажите исходный диапазон (A2:C10).



В рабочем поле *Выходной диапазон* укажите ссылку на ячейку, где будет помещаться верхняя левая ячейка таблицы результатов. В разделе *Группирование* установите переключатель *По столбцам* (исходные данные сгруппированы по столбцам). Установите флажок *Метки* в первой строке (в результирующую таблицу будут помещены надписи столбцов исходной таблицы). Установите флажок в поле *Итоговая статистика*. Щелкните *OK*. В указанном диапазоне для каждого столбца исходной таблицы будут выведены соответствующие статистические результаты (см. рис.).

Кроме рассмотренных ранее статистических характеристик в полученной таблице есть еще четыре: - минимум – значение минимального элемента выборки; - максимум – значение максимального элемента выборки; - сумма – сумма значений всех элементов выборки; - счет – количество элементов выборки.

(ЛР - 10) Термин «динамический» в данном случае характеризует каждый момент времени t в отдельности, а не весь период, для которого строится модель. Модель является динамической, если в данный момент времени она учитывает значения входящих в нее переменных, относящиеся как к текущему, так и к предыдущим моментам времени, т. е. если эта модель отражает динамику исследуемых переменных в каждый момент времени.

При исследовании многих процессов нередко приходится моделировать ситуации, когда значение результативного признака в текущий момент времени t формируется под воздействием ряда факторов, действовавших в прошлые моменты времени. Например, на

выручку от реализации или прибыль компании текущего периода могут оказывать влияние расходы на рекламу или проведение маркетинговых исследований, сделанные компанией в предшествующие моменты времени. Величину t , характеризующую запаздывание в воздействии фактора на результат, называют в лагом, а временные ряды самих факторных переменных, сдвинутые на один или более моментов времени, — лаговыми переменными.

Моделирование таких процессов осуществляется с применением моделей, содержащих не только текущие, но и лаговые значения факторных переменных. Эти модели называются моделями с распределенным лагом. Модель вида

$$y_t = a + b_0 \cdot x_t + b_1 \cdot x_{t-1} + b_2 \cdot x_{t-2} + b_3 \cdot x_{t-3} + \varepsilon_t$$

является примером модели с распределенным лагом.

Наряду с лаговыми значениями независимых, или факторных, переменных на величину зависимой текущего периода могут оказывать влияние ее значения в прошлые моменты или периоды времени. Эти процессы обычно описывают с помощью моделей регрессии, содержащих в качестве факторов лаговые значения зависимой переменной, которые называются моделями авторегрессии. Модель вида

$$y_t = a + b_0 \cdot x_t + c_1 \cdot y_{t-1} + \varepsilon_t$$

относится к моделям авторегрессии.

Построение моделей с распределенным лагом и моделей авторегрессии имеет свою специфику.

3.6 Тема 6 - Методика статистической обработки экспериментальных данных

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах.

(ЛР - 11) Если общая дисперсия статистически значимо превосходит остаточную, то гипотеза об адекватности принимается, иначе остаточная дисперсия незначимо отличается от общей дисперсии и, следовательно, гипотезу нет оснований, принять.

Если же при включении в модель дополнительного фактора коэффициент детерминации увеличивается не существенно, а исправленная остаточная дисперсия снижается не существенно и данные показатели практически мало отличаются друг от друга, то включаемый в анализ фактор X_{k+1} не улучшает модель и практически является лишним фактором. Так, если для регрессии, включающей пять факторов, коэффициент детерминации составил 0,857, и включение шестого фактора дало коэффициент детерминации 0,858, то вряд ли целесообразно дополнительно включать в модель этот фактор.

По величине парных коэффициентов корреляции обнаруживается лишь явная коллинеарность факторов. Наибольшие трудности в использовании аппарата множественной регрессии возникают при наличии *мультиколлинеарности* факторов, когда более чем два фактора связаны между собой линейной зависимостью, т. е. имеет место совокупное воздействие факторов друг на друга. Наличие мультиколлинеарности факторов может означать, что некоторые факторы будут всегда действовать в унисон. В результате вариация в исходных данных перестает быть полностью независимой, и нельзя оценить воздействие каждого фактора в отдельности. Чем сильнее мультиколлинеарность факторов, тем менее надежна оценка распределения суммы объясненной вариации по отдельным факторам с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

Если рассматривается математическая модель в виде уравнения множественной регрессии $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_k \cdot x_k + \varepsilon$, построенной методом наименьших квадратов (МНК), то предполагается следующее равенство

$$D_i = D_{\hat{\sigma}} + D_{\tilde{\sigma}\hat{\sigma}},$$

где $D_{\hat{\sigma}}$ — общая дисперсия результативного признака;

$D_{\hat{\sigma}}$ — факторная (объясненная) дисперсия;

$D_{\tilde{\sigma}\hat{\sigma}}$ — остаточная дисперсия.

В свою очередь, при независимости факторов друг от друга выполнимо равенство

$$D_{\hat{\sigma}} = D_{x_1} + D_{x_2} + \dots + D_{x_k}$$

где $D_{x_1}, D_{x_2}, \dots, D_{x_k}$ — дисперсии, обусловленные влиянием соответствующих факторов.

Для оценки мультиколлинеарности факторов может использоваться *определитель матрицы парных коэффициентов корреляции между факторами*.

Если бы факторы были не коррелированы между собой, то матрица парных коэффициентов корреляции между факторами была бы единичной матрицей, поскольку все недиагональные элементы $r_{x_i x_j} = 0$ ($x_i \neq x_j$) были бы равны нулю. Так, для включающего три объясняющих переменных уравнения $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$ матрица коэффициентов корреляции между факторами имела бы определитель, равный единице.

$$Det|R| = \begin{vmatrix} r_{x_1 x_1} & r_{x_1 x_2} & r_{x_1 x_3} \\ r_{x_2 x_1} & r_{x_2 x_2} & r_{x_2 x_3} \\ r_{x_3 x_1} & r_{x_3 x_2} & r_{x_3 x_3} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 1,$$

так как $r_{x_1 x_1} = r_{x_2 x_2} = r_{x_3 x_3} = 1$, è $r_{x_1 x_2} = r_{x_2 x_3} = r_{x_3 x_1} = 0$.

Если же, наоборот, между факторами существует полная линейная зависимость и все коэффициенты корреляции равны единице, то определитель такой матрицы равен нулю:

$$Det|R| = \begin{vmatrix} r_{x_1 x_1} & r_{x_1 x_2} & r_{x_1 x_3} \\ r_{x_2 x_1} & r_{x_2 x_2} & r_{x_2 x_3} \\ r_{x_3 x_1} & r_{x_3 x_2} & r_{x_3 x_3} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Чем ближе к нулю определитель матрицы межфакторной корреляции, тем сильнее мультиколлинеарность факторов и ненадежнее результаты множественной регрессии. И, наоборот, чем ближе к единице определитель матрицы межфакторной корреляции, тем меньше мультиколлинеарность факторов.

Оценка значимости мультиколлинеарности факторов может быть проведена методом проверки гипотезы о независимости переменных

$$H_0 : Det|R| = 1. \quad \text{Доказано, что величина } \chi^2_{\hat{\sigma}\hat{\sigma}\hat{\sigma}\hat{\sigma}} = \left[n - 1 - \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot k + 5) \cdot Lg(Det|R|) \right]$$

имеет приближенное распределение «хи-квадрат» χ^2 с $\frac{1}{2} \cdot n \cdot (n - 1)$ степенями

свободы. Если фактическое значение (наблюдаемое) $\chi^2_{\text{об} \ddot{\text{e}} \text{д}}$ превосходит табличное (критическое) $\chi^2_{\text{об} \ddot{\text{e}} \text{д}} > \chi^2_{\text{кр}}$, то гипотеза H_0 отклоняется. Это означает, что $\text{Det}|R| \neq 1$, недиагональные ненулевые коэффициенты корреляции указывают на коллинеарность факторов. Мультиколлинеарность считается доказанной.

Через коэффициенты множественной детерминации можно найти переменные, ответственные за мультиколлинеарность факторов. Для этого в качестве зависимой переменной рассматривается каждый из факторов. Чем ближе значение коэффициента множественной детерминации к единице, тем сильнее проявляется мультиколлинеарность факторов. Сравнивая между собой коэффициенты множественной детерминации факторов ($R^2_{x_1/x_2x_3\dots x_k}; R^2_{x_2/x_1x_3\dots x_k}; \dots \text{ и т.д.}$), можно выделить переменные, ответственные за мультиколлинеарность, следовательно, можно решать проблему отбора факторов, оставляя в уравнении факторы с минимальной величиной коэффициента множественной детерминации.

Существует ряд подходов преодоления сильной межфакторной корреляции. Самый простой путь устранения мультиколлинеарности состоит в исключении из модели одного или нескольких факторов. Другой подход связан с преобразованием факторов, при котором уменьшается корреляция между ними. Например, при построении модели на основе рядов динамики переходят от первоначальных данных к первым разностям уровней $\Delta t = y_t - y_{t-1}$, чтобы исключить влияние тенденции, или используются такие методы, которые сводят к нулю межфакторную корреляцию, т. е. переходят от исходных переменных к их линейным комбинациям, не коррелированных друг с другом (метод главных компонент).

Параметры уравнения множественной регрессии оцениваются, как и в парной регрессии, методом наименьших квадратов (МНК). При его применении строится система нормальных уравнений, решение которой и позволяет получить оценки параметров регрессии.

Например, если число факторов равно 3, то система нормальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} b_0 + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 &= \bar{y} \\ b_0 \cdot \bar{x}_1 + b_1 \cdot \bar{x}_1^2 + b_2 \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 &= \bar{x}_1 \cdot y \\ b_0 \cdot \bar{x}_2 + b_1 \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + b_2 \cdot \bar{x}_2^2 + b_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 &= \bar{x}_2 \cdot y \\ b_0 \cdot \bar{x}_3 + b_1 \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 + b_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3^2 &= \bar{x}_3 \cdot y. \end{aligned}$$

При построении многофакторной модели производится расчет и так называемых

стандартизированных Бета-коэффициентов по формуле $\beta_i = b_i \cdot \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_y}$, которые позволяют

сравнивать факторы по степени их влияния на параметр оптимизации.

Коэффициенты чистой регрессии в уравнениях множественной связи являются величинами именованными и имеют те же единицы измерения, в которых выражена соответствующая переменная (фактор). Это делает их несравнимыми.

Для того, чтобы сделать коэффициенты чистой регрессии непосредственно сравнимыми, все переменные множественного уравнения регрессии выражаются в долях среднего квадратического отклонения.

Уравнение регрессии в стандартизованном виде представляется следующим образом:

$$\frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} = \beta_1 \cdot \frac{x_1 - \bar{x}_1}{\sigma_{x_1}} + \beta_2 \cdot \frac{x_2 - \bar{x}_2}{\sigma_{x_2}} + \dots + \beta_k \cdot \frac{x_k - \bar{x}_k}{\sigma_{x_k}} + \varepsilon$$

$$\text{Или } \frac{y}{\sigma_y} = \alpha + \beta_1 \cdot \frac{x_1}{\sigma_{x_1}} + \beta_2 \cdot \frac{x_2}{\sigma_{x_2}} + \dots + \beta_k \cdot \frac{x_k}{\sigma_{x_k}} + \varepsilon.$$

Стандартизованные коэффициенты регрессии показывают, на сколько средних квадратических отклонений изменится в среднем результативный признак, если соответствующий фактор x , изменится на одно среднее квадратическое отклонение при неизменном среднем уровне других факторов. В силу того, что все переменные заданы как центрированные и нормированные, стандартизованные коэффициенты регрессии β_i сравнимы между собой. Сравнивая, их друг с другом, можно ранжировать факторы по силе их воздействия на результативный признак. В этом основное достоинство стандартизованных коэффициентов регрессии в отличие от коэффициентов «чистой» регрессии, которые несравнимы между собой.

(ЛР - 12) В таблице 30 представлен статистический анализ коэффициентов регрессии

Таблица 30 – Анализ коэффициентов регрессии

$a_0 = 13,42$	$Sa_0 = 0,92$	$T_0 = 14,53$	$\beta_0 = 1,48$
$a_1 = 4,94$	$Sa_1 = 0,24$	$T_1 = 20,67$	$\beta_1 = 3,13$
$a_2 = -0,21$	$Sa_2 = 0,013$	$T_2 = 16,45$	$\beta_2 = -2,49$

Бета-коэффициенты вычисляют по формуле $\beta_i = a_i \cdot \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_y}$, которые позволяют сравнивать факторы по степени их влияния на параметр оптимизации.

Критическое значение критерия Стьюдента для 5-процентного уровня значимости и числа наблюдений $N = 10$ $t_{kp}(\alpha = 0,05; N = 10) = 1,83$.

Таким образом, математическая модель со всеми статистически значимыми коэффициентами имеет вид

$$y = 13,42 + 4,94 \cdot x - 0,21 \cdot x^2$$

Результаты расчета по модели и результаты наблюдений представлены в таблице 31

Таблица 31 – Результаты расчёта модели

N	x	y	y_p	$ABS(y - y_p)$	$(y - y_p)^2$
1	0	14	13,42	0,58	0,34
2	2	22	22,45	0,45	0,21
3	4	29	29,81	0,81	0,65
4	6	35	35,48	0,48	0,23
5	8	40	39,47	0,53	0,28
6	10	44	41,78	2,22	4,92
7	12	42	42,41	0,41	0,17
8	14	40	41,35	1,35	1,83
9	16	38	38,62	0,62	0,38
10	18	35	34,20	0,80	0,64
Средне е	9	33,9	33,9	0,83	0,97

Остаточная дисперсия равна 0,97, при этом исправленная остаточная дисперсия $S_{ocm}^2 = 0,97 \cdot \frac{10}{10-3} = 1,386$ и остаточное среднее квадратическое отклонение $S_{ocm} = \sqrt{S_{ocm}^2} = 1,177$.

Вычислим наблюдаемое значение критерия Фишера $F_h = \frac{S_o^2}{S_{ocm}^2} = \frac{91,433}{1,386} = 65,5$.

Затем, из таблицы критических точек распределения Фишера для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы для общей (верхней) дисперсии $k_0 = 9$, и числа степеней свободы для остаточной (нижней) дисперсии $k_2 = 10 - 3 = 7$, находим критическое значение $F_k (\alpha = 0,05; k_0 = 9; k_2 = 7) = 3,68$.

Так как наблюдаемое значение $F_h = 68,1$ больше критического

$F_k (\alpha = 0,05; k_0 = 9; k_2 = 7) = 3,68$, то гипотеза об адекватности математической модели принимается. То есть, так как общая дисперсия статистически значимо превосходит остаточную, то гипотеза об адекватности принимается.

Коэффициент детерминации равен:

$$K_D = \left(1 - \frac{0,97}{82,29} \right) \cdot 100 = 98,8 \%$$

Построенная математическая модель на 99 процентов объясняет вариацию рентабельности изменением затрат ресурсов.

Результаты наблюдений и результаты расчета по модели коррелируют между собой с коэффициентом корреляции равным 0,994. Средняя разница результатов расчета и результатов наблюдения по абсолютной величине равна 0,8254 и в процентах к среднему 2,53%.

Используя математическую модель, можно определить оптимальный объем затрат, обеспечивающий максимальную рентабельность. Можно показать, что при равенстве нулю первой производной функции рентабельности от затрат, будет максимум. Приравняв нулю первую производную, получим уравнение

$$y'_x = (13,42 + 4,94 \cdot x - 0,21 \cdot x^2)'_x = 4,94 - 2 \cdot 0,21 \cdot x = 0, \quad \text{из} \quad \text{которого}$$

$$x_{onm} = \frac{4,94}{2 \cdot 0,21} = 11,76 \quad \text{условных единиц.}$$

При этом оптимальная рентабельность затрат составит $y_{onm} = 13,42 + 4,94 \cdot 11,76 - 0,21 \cdot 11,76^2 \approx 42,5 \%$.

3.7 Тема 7 - Теоретические и методические основы проведения многофакторных экспериментов

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах.

(ЛР - 13) 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:

$$\begin{cases} y_{x_1/x_2, x_3, \dots, x_k} = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k + \varepsilon, \\ y_{x_2/x_1, x_3, \dots, x_k} = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k + \varepsilon, \\ \dots, \\ y_{x_k/x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}} = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot x_k + \varepsilon. \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} A_1 = a + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k, \\ A_2 = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k, \\ \dots, \\ A_k = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_{k-1} \cdot \bar{x}_{k-1}. \end{cases}$$

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 b_i - коэффициенты регрессии для фактора x_i в уравнении множественной регрессии;

$y_{x_i/x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k}$ - частное уравнение регрессии.

(ЛР 14) Методику однофакторного дисперсионного анализа продемонстрируем на следующем примере. Методом дисперсионного анализа необходимо оценить влияние вида предшественника (предшественники: черный пар, пласт трав и кукуруза) на урожайность (в ц/га) яровой пшеницы. В таблице 2 представлены результаты обследования эксперимента. Установить существенность влияния фактора при уровне значимости 0,05.

Таблица 8 – Результаты эксперимента

Вид предшественника	Повторности			
	1	2	3	4
Черный пар	10, 4	10, 6	9,4	11,2
Пласт трав	9,8	10, 3	8,4	8,7
Кукуруза	8,4	7,3	7,9	7,5

1. Определим среднюю урожайность в различных группах, то есть групповые средние:

$$\bar{x}_{ep.1} = \frac{10,4 + 10,6 + 9,4 + 11,2}{4} = 10,4; \quad \bar{x}_{ep.2} = \frac{9,8 + 10,3 + 8,4 + 8,7}{4} = 9,3;$$

$$\bar{x}_{ep.3} = \frac{8,4 + 7,3 + 7,9 + 7,5}{4} = 7,78. \quad \text{Естественно, средний уровень урожайности в}$$

группах будет различным. Задача сводится к тому, чтобы с надежностью 0,95 проверить основную гипотезу о равенстве генеральных средних в группах по выборочным средним, полученным в эксперименте.

2. Определим дисперсии в группах:

$$D_{ep.1} = \frac{(10,4 - 10,4)^2 + (10,6 - 10,4)^2 + (9,4 - 10,4)^2 + (11,2 - 10,4)^2}{4} = 0,42;$$

$$D_{ep.2} = \frac{(9,8 - 9,3)^2 + (10,3 - 9,3)^2 + (8,4 - 9,3)^2 + (8,7 - 9,3)^2}{4} = 0,6;$$

$$D_{ep.3} = \frac{(8,4 - 7,78)^2 + (7,3 - 7,78)^2 + (7,9 - 7,78)^2 + (7,5 - 7,78)^2}{4} = 0,18.$$

Если нет уверенности в справедливости гипотезы о равенстве групповых дисперсий, то следует проверить ее, например, по критерию Кочрена. В качестве критерия Кочрена для проверки основной гипотезы о равенстве генеральных дисперсий нормальных совокупностей по выборкам одинакового объема принимается отношение максимальной исправленной дисперсии к сумме всех исправленных дисперсий. Для этого определим исправленные дисперсии групп по формуле:

$$S_{ep.j}^2 = D_{ep.j} \cdot \frac{n}{n-1}, \quad S_{ep.1}^2 = 0,42 \cdot \frac{4}{4-1} = 0,56;$$

$$S_{ep.2}^2 = 0,6 \cdot \frac{4}{4-1} = 0,8; \quad S_{ep.3}^2 = 0,18 \cdot \frac{4}{4-1} = 0,24.$$

Основная гипотеза о равенстве дисперсий формулируется так:

$$H_0 : M(S_{ep.1}^2) = M(S_{ep.2}^2) = M(S_{ep.3}^2),$$

где $M(S_{ep.j}^2)$ - генеральная дисперсия j -ой группы.

Тогда наблюдаемое значение критерия Кохрена равно

$$G_H = \frac{S_{\max}^2}{S_{ep.1}^2 + S_{ep.2}^2 + S_{ep.3}^2} = \frac{0,8}{0,56 + 0,8 + 0,24} = 0,5.$$

По таблице критических значений критерия Кохрена для числа групп $K = 3$, числа степеней свободы $m = n - 1 = 3$ и уровня значимости $\alpha = 1 - \gamma = 1 - 0,95 = 0,05$ находим $G_{kp}(\alpha = 0,05; m = 3; k = 3) = 0,7977$.

Так как $G_H < G_{kp}$, то, хотя исправленные групповые дисперсии различны, нет оснований отвергнуть основную гипотезу о равенстве генеральных групповых дисперсий и, следовательно, об однородности выборок.

3. Так как выборки однородны, то внутригрупповую дисперсию вычислим как среднее арифметическое групповых дисперсий взвешенных по объему наблюдений в группах:

$$D_{vn.gr} = \frac{4 \cdot 0,42 + 4 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,18}{12} = 0,4.$$

4. Определим общую среднюю:

$$\bar{x} = \frac{4 \cdot 10,4 + 4 \cdot 9,3 + 4 \cdot 7,78}{12} = 9,16.$$

5. Определим межгрупповую дисперсию:

$$D_{mej.gr} = \frac{4 \cdot (10,4 - 9,16)^2 + 4 \cdot (9,3 - 9,16)^2 + 4 \cdot (7,78 - 9,16)^2}{12} = 1,154$$

6. Определим общую дисперсию:

$$D_{obi} = D_{mej.gr} + D_{vn.gr} = 1,154 + 0,4 = 1,554.$$

7. Определим исправленные дисперсии:

$$\text{Общую } S_{obi}^2 = D_{obi} \cdot \frac{N}{k_0} = 1,554 \cdot \frac{12}{12-1} = 1,695,$$

где число степеней свободы для общей дисперсии $k_0 = N - 1 = 12 - 1 = 11$;

$$\text{межгрупповую } S_{mej.gr}^2 = D_{mej.gr} \cdot \frac{N}{k_1} = 1,154 \cdot \frac{12}{3-1} = 6,924,$$

где число степеней свободы для межгрупповой дисперсии $k_1 = K - 1 = 3 - 1 = 2$;

$$\text{внутригрупповую } S_{vn.gr}^2 = D_{vn.gr} \cdot \frac{N}{k_2} = 0,4 \cdot \frac{12}{12-3} = 0,533,$$

где число степеней свободы для межгрупповой дисперсии $k_2 = N - K = k_0 - k_1 = 11 - 2 = 9$.

8. Определим наблюдаемое значение критерия Фишера

$$F_H = \frac{S_{\text{меж.гр}}^2}{S_{\text{вн.гр}}^2} = \frac{6,924}{0,533} = 12,983.$$

9. Для уровня значимости $\alpha = 0,05$, $k_1 = 2$ и $k_2 = 9$ критическое значение критерия Фишера берем из таблицы критических значений $F_{kp}(\alpha = 0,05; k = 2; k_2 = 9) = 4,26$.

Вывод: Так как наблюдаемое значение больше критического, то, нет основания, принять основную гипотезу о равенстве межгрупповой и внутригрупповой дисперсий. Следовательно, групповые средние статистически значимо отличаются друг от друга, то есть с вероятностью 0,95 можно быть уверенным, что различные виды предшественника оказывают различное влияние на уровень урожайности.

Количественная оценка тесноты связи уровня урожайности с изучаемым фактором (вид предшественника) может быть оценена корреляционным отношением

$$\eta = \sqrt{\frac{D_{\text{меж.гр}}}{D_{\text{общ}}}} = \sqrt{\frac{1,154}{1,554}} = \sqrt{0,743} = 0,86 \quad \text{или коэффициентом детерминации}$$

$$K_d = \eta^2 = \frac{D_{\text{меж.гр}}}{D_{\text{общ}}} = 1 - \frac{D_{\text{вн.гр}}}{D_{\text{общ}}} = 0,743.$$

Коэффициент детерминации умноженный на сто показывает, на сколько процентов вариация (изменение) уровня урожайности обусловлено изменением вида предшественника.

Это говорит о том, что на 74 процента вариация правонарушений связана с изменением типа места жительства.

3.8 Тема 8 - Аналитическая и геометрическая интерпретация результатов многофакторных экспериментов

При подготовке к занятиям внимание акцентировать необходимо на следующих вопросах.

(ЛР – 15) Алгоритм моделирования

1. Вычислить парные коэффициенты корреляции между результативным признаком и факторами.

2. Отобрать для включения в модель только те факторы, для которых парные коэффициенты корреляции статистически значимо отличаются от нуля.

3. Вычислить парные коэффициенты корреляции между отобранными факторами и выделить группы факторов значимо взаимосвязанных между собой (корреляционные плеяды) с тем, чтобы выбрать их представителя для включения его в математическую модель.

4. Построить полную математическую модель не ниже второго порядка, вычисляя коэффициенты методом наименьших квадратов.

5. Последовательно исключить факторы или их взаимодействия, при которых коэффициенты статистически незначимо (по критерию Стьюдента) отличаются от нуля. Исключение производить последовательно, начиная с самого незначимого фактора, при этом каждый раз производя пересчёт коэффициентов.

6. Пункт 5 повторить до получения адекватной модели при значимых коэффициентах. Адекватность математической модели производить по критерию Фишера. При этом надо иметь в виду, что качество модели определяет, прежде всего, её адекватность, даже при незначимых некоторых коэффициентах или низкой их значимости.

Одним из путей учета внутренней корреляции факторов является переход к совмещенным уравнениям регрессии, т. е. к уравнениям, которые отражают не только

влияние факторов, но и их взаимодействие. Так, если $y = f(x_1, x_2, x_3)$, то возможно построение следующего совмещенного уравнения:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \\ + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{iii} x_i^3 + \dots + \varepsilon$$

Рассматриваемое уравнение включает взаимодействие первого порядка и более высоких порядков (взаимодействие двух факторов). Возможно включение в модель и взаимодействий более высокого порядка, если будет доказана их статистическая значимость по F-критерию Фишера, например, $b_{123} = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ — взаимодействие третьего порядка и т. д. Как правило, взаимодействия третьего и более высоких порядков оказываются статистически незначимыми, совмещенные уравнения регрессии ограничиваются взаимодействиями первого и второго порядков. Но и эти взаимодействия могут оказаться несущественными, поэтому нецелесообразно полное включение в модель взаимодействий всех факторов и всех порядков. Взаимодействие факторов x_1 и x_3 означает, что на разных уровнях фактора x_3 влияние фактора x_1 на y будет неодинаково, т. е. оно зависит от значений фактора x_3 .

Совмещенные уравнения регрессии строятся, например, при исследовании эффекта влияния на урожайность разных видов удобрений (комбинаций азота и фосфора).

Отбор факторов, включаемых в регрессию, является одним из важнейших этапов построения математической модели. Подходы к отбору факторов на основе корреляции могут быть разные. Они приводят построение уравнения множественной регрессии соответственно к разным методикам. В зависимости от того, какая методика построения уравнения регрессии принята, меняется алгоритм ее решения на ЭВМ.

Наиболее широкое применение получили следующие *методы построения уравнения множественной регрессии*:

- метод исключения;
- метод включения;

Каждый из этих методов по-своему решает проблему отбора факторов, давая в целом близкие результаты — отсев факторов из полного его набора (метод исключения), дополнительное введение фактора (метод включения), исключение ранее введенного фактора (шаговый регрессионный анализ).

На первый взгляд может показаться, что матрица парных коэффициентов корреляции играет главную роль в отборе факторов. Вместе с тем вследствие взаимодействия факторов парные коэффициенты корреляции не могут в полной мере решать вопрос о целесообразности включения в модель того или иного фактора. Эту роль выполняют показатели частной корреляции, оценивающие в чистом виде тесноту связи фактора с результатом. Матрица частных коэффициентов корреляции наиболее широко используется в процедуре отсева факторов.

В общем виде при наличии k факторов для уравнения

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

Коэффициент чистой корреляции, измеряющий влияние на y фактора x_i при неизменном уровне других факторов, можно определить по формуле:

$$r_{yx_i / x_1 x_2 \dots x_{i-1} x_{i+1} \dots x_k} = \sqrt{1 - \frac{1 - R_{yx_1 x_2 \dots x_i \dots x_k}^2}{1 - R_{yx_i / x_1 x_2 \dots x_{i-1} x_{i+1} \dots x_k}^2}},$$

где $R^2_{yx_1 x_2 \dots x_i \dots x_k}$ - множественный коэффициент детерминации всего комплекса факторов с результатом;

$R^2_{yx_i / x_1 x_2 \dots x_{i-1} x_{i+1} \dots x_k}$ - тот же показатель детерминации, но без введения в модель фактора x_i .

При отборе факторов рекомендуется пользоваться следующим правилом: число включаемых факторов обычно в 6—7 раз меньше объема совокупности, по которой строится регрессия. Если это соотношение нарушено, то число степеней свободы остаточной вариации очень мало. Это приводит к тому, что параметры уравнения регрессии оказываются статистически незначимыми, а F - критерий меньше табличного значения.

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:

$$\begin{cases} y_{x_1 / x_2, x_3, \dots, x_k} = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k + \varepsilon, \\ y_{x_2 / x_1, x_3, \dots, x_k} = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k + \varepsilon, \\ \dots, \\ y_{x_k / x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}} = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k + \varepsilon. \end{cases}$$

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

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

где

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 = a + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k, \\ A_2 = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_k \cdot \bar{x}_k, \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots, \\ A_k = a + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_2 \cdot \bar{x}_2 + b_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + b_{k-1} \cdot \bar{x}_{k-1}. \end{array} \right.$$

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:

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

где b_i - коэффициенты регрессии для фактора x_i в уравнении множественной регрессии;

$\hat{y}_{x_i/x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k}$ - частное уравнение регрессии.