

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

В.В. Лянденбургский, В.В. Коновалов, А.В. Баженов

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Допущено УМО вузов РФ по образованию
в области транспортных машин и транспортно-технологических
комплексов в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Пенза 2013

УДК 629.113.004

ББК 39.(я73)

Л97

Рецензенты: кафедра «Эксплуатация машинно-тракторного парка» Пензенской государственной сельскохозяйственной академии (зав. кафедрой доктор технических наук, профессор К.З. Кухмазов); кандидат технических наук, доцент А.А. Грабовский (ПГУ)

Лянденбургский, В.В.

Л97 Основы научных исследований: учеб. пособие / В.В. Лянденбургский, В.В. Коновалов, А.В. Баженов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 396 с.
ISBN 978-5-9282-1001-4

Приведены известные положения планирования научных исследований и обработки полученных результатов. Представлены примеры статистической обработки данных и получения графического материала с использованием возможностей математического пакета компьютерной программы Mathcad. Изложены методика, даны примеры обработки результатов исследований и графического анализа данных модулями компьютерной программы Statistica. Приведен большой справочный материал.

Подготовлено на кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» и предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

ISBN 978-5-9282-1001-4

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Лянденбургский В.В., Коновалов В.В.,
Баженов А.В., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Издание предназначено для освоения методики и вопросов организации планирования экспериментальной работы молодыми учеными, аспирантами, соискателями и студентами, а также для получения ими навыков обработки опытных данных математическими пакетами **Mathcad** и **Statistica**.

Целью учебного пособия является обучение аспирантов и студентов навыкам планирования эксперимента, обработки опытных данных с использованием ЭВМ.

Пособие предлагает принципы основ научных исследований применительно к современным условиям развития автотранспортной отрасли. В нем показаны основные закономерности и перспективные направления развития научных исследований, закономерности распределения, принятия оперативных решений при планировании научных работ.

Отдельный подраздел пособия посвящен компьютерному обеспечению научных исследований.

Пособие систематизирует принципы обработки результатов однофакторных и многофакторных экспериментов применительно к современным условиям. Подробно рассмотрены отсеивающий эксперимент, планы обработки результатов исследований. Определены диаграммы значимости факторов, матрицы отсеивающих экспериментов.

Пособие состоит из пяти разделов и приложений, необходимых для выполнения экспериментов.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с рабочей программой изучаемого курса или решаемыми задачами в процессе исследований студенты выполняют расчеты с учетом приведенных примеров обработки данных. При необходимости проводится редактирование известных вариантов расчета.

Развитие научно-технического процесса сказывается на совершенствовании высшего образования. Это предъявляет новые возросшие требования к знаниям студентов, их творческому развитию, умению находить наиболее рациональные конструктивные, технологические, организационные и экономические решения; специалист должен хорошо ориентироваться при отборе научной информации; ставить и решать различные принципиально новые вопросы.

Выполнение поставленных задач возможно в случае вооружения молодых специалистов новейшими знаниями в области научных исследований. Это обязывает высшую школу широко привлекать студентов к проведению научных исследований. Таким образом, научная подготовка студентов в вузах – одна из главнейших программ обучения.

Важным этапом обучения в высшей школе являются программы курса "Основы научных исследований", в которых рассматриваются методология и методы научных исследований, а также способы их организации.

Изучение предмета "Основы научных исследований" обязывает всех студентов освоить элементы методики научных исследований, что способствует развитию рационального творческого мышления; организации их оптимальной мыслительной деятельности. За период обучения студент должен выполнить те или иные научные исследования в различных формах учебного процесса под руководством одного руководителя.

Приведенные примеры при описании методики планирования эксперимента выполнены с помощью математического пакета Mathcad с принятыми в нем обозначениями. Однако стиль оформления максимально приближен к общепринятой форме представления расчетов. В связи с этим выполненные и распечатанные электронные версии расчетов могут непосредственно использоваться в тексте отчета или диссертации. Каждый расчет является самостоятельной программой (файлом) и может производить неоднократные вычисления при изменении исходных данных. Условные обозначения Mathcad приведены в прил.7.

При работе с Mathcad на большей части экрана расположена математическая область (для выполнения расчетов). При этом курсор синего цвета. Для создания текстовой области используется панель инструментов (Вставка – Текстовая область; Insert – Text Region). Курсор в данном

случае красного цвета и видно обрамление границ текстовой области. При стирании всех текстовых символов автоматически исчезает и сама текстовая область.

При выполнении расчетов в начале (открывая текстовый регион) указываются название и единицы измерения рассчитываемого показателя, двоеточие. На следующей строчке (математическая область) приводится расчетная формула с буквенными обозначениями исходных данных и расчетного показателя. Следует обратить внимание на используемый вид знака равенства (двоеточие, совмещенное со знаком «равно»). Он имеет логический смысл: «равно отсюда и далее». Применение другого знака дает на мониторе указание ошибки (выделение формулы красным цветом и отсутствие численного значения вычисляемого показателя). Знаки препинания в математической области нежелательны. В правой части страницы ставится результат расчета (буквенное обозначение рассчитываемого показателя и знак «равно»). Цифровое значение проставляется автоматически).

При планировании эксперимента зашифрованные значения факторов изменяются, как правило, в интервале от «-1» до «+1». Имеются версии Mathcad, позволяющие обеспечить указанный интервал значений при построении графиков, ряд версий позволяет задавать их произвольно. Часть версий программы Mathcad принудительно задает интервал от «0» до «10», (как в представленных примерах Mathcad-2001 страдает данным недостатком).

Используемые термины, функциональные зависимости и методы анализа данных (регрессионный, дисперсионный и корреляционный) рассмотрены в первом разделе. Методика получения данных с применением модулей программы Statistica дана во втором разделе. Статистические функции программы Excel приведены в прил.7.

В результате изучения теоретического курса и выполнения исследований при проведении лабораторных работ студент должен не только освоить методологию и методику научных исследований, но и уметь отбирать и анализировать необходимую информацию, формулировать цель и задачи, разрабатывать теоретические предпосылки, планировать и проводить эксперимент, отрабатывать результаты измерений и оценивать погрешности и наблюдения, сопоставлять результаты эксперимента с теоретическими предпосылками и формулировать выводы научного исследования; составлять отчет, доклад или статью по результатам научного исследования.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство», изучающих курс «Основы научных исследований» и выполняющих исследования в данной области.

1. НАУКА И НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

1.1. Понятие науки и классификация наук

Понятие науки

Понятие «наука» имеет несколько основных значений. Во-первых, под наукой понимается сфера человеческой деятельности, направленной на выработку и систематизацию новых знаний о природе, обществе, мышлении и познании окружающего мира. Во втором значении наука выступает как результат этой деятельности – это система полученных научных знаний. В-третьих, наука понимается как одна из форм общественного сознания: социальный институт. В последнем значении она представляет собой систему взаимосвязей между научными организациями и членами научного сообщества, а также включает системы научной информации, норм и ценностей науки и т.п.

Непосредственные цели науки – получение знаний об объективном и о субъективном мире, достижение объективной истины.

Задачи науки:

- 1) сбор, описание, анализ, обобщение и объяснение фактов;
- 2) обнаружение законов природы, общества, мышления и познания;
- 3) систематизация полученных знаний;
- 4) объяснение сущности явлений и процессов;
- 5) прогнозирование событий, явлений и процессов;
- 6) установление направлений и форм практического использования полученных знаний.

Науку можно рассматривать как систему, состоящую из теории; методологии, методики и техники исследований; практики внедрения полученных результатов.

Если науку рассматривать с точки зрения взаимодействия субъекта и объекта познания, то она включает в себя следующие элементы:

- 1) объект (предмет) – то, что изучает конкретная наука, на что направлено научное познание;
- 2) субъект – конкретный исследователь, научный работник, специалист научной организации, организация;
- 3) научную деятельность субъектов, применяющих определенные приемы, операции, методы для постижения объективной истины и обнаружения законов действительности.

Характерные черты современной науки

Первая – связь с производством.

Наука стала непосредственной производительной силой. Около 30 % научных достижений служат производству. В то же время наука работает и на себя (фундаментальные исследования, поисковые работы и т.д.), хотя,

как показывает опыт, данное направление развивается недостаточно, особенно в области проблем автомобильного транспорта. Значительно большее внимание в области технической эксплуатации должно уделяться прогностическим и поисковым работам.

Вторая – массовость современной науки.

Наряду с увеличением численности научных учреждений и сотрудников существенно возрастают капитальные вложения в науку, особенно в передовых западных странах. Несмотря на трудности в этом отношении, связанные с переходным периодом к рыночной экономике в жизни России, в бюджетах страны, принимаемых в последнее время, наблюдается устойчивая тенденция увеличения вложений в фундаментальные исследования, имеющие государственное значение.

Третья – дробление, специализация, взаимодействие и взаимопроникновение наук.

Это означает, что на базе фундаментальных наук – философии, математики, экономики, физики, химии и т.д. – образуются специальные научные дисциплины (биофизика, биохимия, теория автомобиля, техническая эксплуатация автомобилей, транспортная логистика и т.д.), которые создаются как на основе смежных наук, так и далеких друг от друга научных дисциплин.

Четвертая – системный подход к изучению объектов исследования.

Это означает, что исследуемый объект рассматривается как некоторое сложное целое, состоящее из отдельных систем, подсистем и элементов. В зависимости от цели и задач исследования наблюдатель может изучать свойства объекта как единого целого, так и его составных частей. Причем в целом объект может обладать такими свойствами, которые не присущи в отдельности ни одной из его составляющих.

Пятая – резкое ускорение темпов научно-технического прогресса (НТП).

Это предъявляет большие требования к науке, поскольку она представляет собой первую фазу НТП и фактически формирует основы для развития процесса в целом. В условиях НТП основные направления научных исследований сводят к определению момента перехода на новые качественные этапы развития, а также определению конкретных форм и методов, позволяющих перейти на эти новые этапы развития.

Шестая – перевод научной деятельности на хозрасчет и самоокупаемость и в ряде случаев непосредственное участие в процессах производственно-коммерческой деятельности.

Это означает создание в стране такой ситуации, когда научная деятельность в сферах, не связанных непосредственно с интересами государства, должна оправдывать себя в финансовом отношении, становится прибыльной и рентабельной. В условиях рыночной экономики это является мощным стимулом ускоренного внедрения достижений науки в общественное

производство путем создания и широкого распространения новой техники и новых технологий (например, персональный компьютер, синтезирующий достижения многих наук, был создан и продолжает развиваться с нарастающей интенсивностью прежде всего для удовлетворения требований рынка – усложнения компьютерных игр).

Седьмая – наличие различных источников финансирования:

- бюджетное финансирование (правительственные, межотраслевые, отраслевые и т.д. Федеральные научно-технические программы, региональный бюджет, бюджет местного самоуправления и т.д.);
- внебюджетное финансирование (целевые средства специальных фондов);
- частное инвестирование юридических лиц на основе льготных налогов, ценообразования, аренды;
- частное инвестирование физическими лицами (личные сбережения, льготные займы и т.п.);
- зарубежное инвестирование (целевые займы мирового банка, Европейского банка реконструкции и развития и др.);
- международная помощь и научно-техническое сотрудничество (помощь ЮНЕСКО в области транспорта, международное научно-техническое сотрудничество, помощь и безвозмездный обмен результатами научных исследований в рамках сотрудничества городов-столиц и др.).

Согласно принятым в последние периоды постановлением, продукция научной организации является товаром. Для эффективной деятельности научной организации утверждаются следующие экономические нормативы:

- плата за основные производственные фонды (ОПФ), трудовые, природные ресурсы;
- отчисления от расчетной прибыли (доход) в государственный бюджет;
- отчисления от расчетной прибыли, а также от амортизации, предназначенной на полное восстановление основных фондов, в централизованный фонд развития производства, науки и техники и резервы министерства;
- образование фонда научно-технического и социального развития;
- образование фонда материального поощрения и общего фонда заработной платы для научных организаций, применяющих форму хозяйственного расчета, основанную на нормативном распределении прибыли;
- образование фонда валютных отчислений. Государственные бюджетные ассигнования для фундаментальных исследований, которые не могут давать экономической отдачи в ближайшее время или являются необходимой частью духовного и социального развития общества, выделяются исходя из важности конкретной научно-исследовательской темы.

Классификация наук

Наибольшую известность получила классификация наук, данная Ф. Энгельсом в «Диалектике природы». Исходя из развития движущейся материи от низшего к высшему, он выделил механику, физику, химию, биологию, социальные науки. На этом же принципе субординации форм движения материи основана классификация наук Б.М. Кедрова. Он различал шесть основных форм движения материи: субатомно-физическую, химическую, молекулярно-физическую, геологическую, биологическую и социальную.

В настоящее время в зависимости от сферы, предмета и метода познания различают науки:

- 1) о природе – естественные;
- 2) об обществе – гуманитарные и социальные;
- 3) о мышлении и познании – логика, гносеология, эпистемология и др.

В Классификаторе направлений и специальностей высшего профессионального образования с перечнем магистерских программ (специализаций), разработанных научно-методическими советами – отделениями УМО по направлениям образования, выделены:

1) естественные науки и математика (механика, физика, химия, биология, почвоведение, география, гидрометеорология, геология, экология и др.);

2) гуманитарные и социально-экономические науки (культурология, теология, филология, философия, лингвистика, журналистика, книговедение, история, политология, психология, социальная работа, социология, регионоведение, менеджмент, экономика, искусство, физическая культура, коммерция, агроэкономика, статистика, искусство, юриспруденция и др.);

3) технические науки (строительство, полиграфия, телекоммуникации, металлургия, горное дело, электроника и микроэлектроника, геодезия, радиотехника, архитектура и др.);

4) сельскохозяйственные науки (агрономия, зоотехника, ветеринария, агроинженерия, лесное дело, рыболовство и др.).

Обратим внимание на то, что в этом Классификаторе технические и сельскохозяйственные науки выделены в отдельные группы, а математика не отнесена к естественным наукам.

Некоторые ученые не считают философию наукой (только наукой) либо ставят ее в один ряд с естественными, техническими и общественными науками. Это объясняется тем, что она рассматривается ими как мировоззрение, знание о мире в целом, методология познания либо как наука всех наук. Философия, по их мнению, не направлена на собирание, анализ и обобщение фактов, обнаружение законов движения действительности, она лишь пользуется достижениями конкретных наук. Оставив в стороне спор о соотношении философии и науки, отметим, что философия все же является наукой, обладающей своим предметом и методами исследования всеобщих законов и характеристик всего бесконечного в пространстве и времени объективного материального мира.

В Номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Министерством науки и технологий РФ 25 января 2000 г., указаны следующие отрасли науки: физико-математические, химические, биологические, геолого-минералогические, технические, сельскохозяйственные, исторические, экономические, философские, филологические, географические, юридические, педагогические, медицинские, фармацевтические, ветеринарные, искусствоведение, архитектура, психологические, социологические, политические, культурология и науки о земле. Каждая из названных групп наук может быть подвергнута дальнейшему членению.

Существуют и другие классификации наук. Например, в зависимости от связи с практикой науки делят на фундаментальные (теоретические), которые выясняют основные законы объективного и субъективного мира и прямо не ориентированы на практику, и прикладные, которые направлены на решение технических, производственных, социально-технических проблем.

Оригинальную классификацию наук предложил Л.Г. Джахая. Разделив науки о природе, обществе и познании на теоретические и прикладные, он внутри этой классификации выделил философию, основные науки и отпочковавшиеся от них частные науки. Например, к основным теоретическим наукам об обществе он отнес историю, политэкономия, правоведение, этику, искусствоведение, языкознание. Эти науки имеют более дробное деление, например, история делится на этнографию, археологию и всемирную историю. Государствоведению как основной прикладной науке корреспондируют политика, управленческое дело, судопроизводство, криминалистика, военное дело, архивное дело. Кроме того, он дал классификацию так называемых «стыковых» наук:

промежуточные науки, возникшие на границе двух соседствующих наук (например, математическая логика, физическая химия);

комплексные науки, которые образовались путем соединения принципов и методов двух отдаленных друг от друга наук (например, геофизика, экономическая география);

скрещенные науки, которые образовались путем скрещивания ряда теоретических наук (например, океанология, кибернетика, науковедение).

В статистических сборниках обычно выделяют следующие секторы науки: академический, отраслевой, вузовский и заводской.

1.1.1. Научное исследование

Формой существования и развития науки является научное исследование. В ст. 2 Федерального закона РФ от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике» дано следующее определение: научная (научно-исследовательская) деятельность – это деятельность, направленная на получение и применение новых знаний. Научное исследование – это деятельность, направленная на всестороннее изучение

объекта, процесса или явления, их структуры и связей, а также получение и внедрение в практику полезных для человека результатов. Его объектом являются материальная или идеальная системы, а предметом – структура системы, взаимодействие ее элементов, различные свойства, закономерности развития и т.д.

Научные исследования классифицируются по различным основаниям.

По источнику финансирования различают научные исследования бюджетные, хоздоговорные и нефинансируемые. Бюджетные исследования финансируются из средств бюджета РФ или бюджетов субъектов РФ. Хоздоговорные исследования финансируются организациями-заказчиками по хозяйственным договорам. Нефинансируемые исследования могут выполняться по инициативе ученого, индивидуальному плану преподавателя.

В нормативных правовых актах о науке научные исследования делят по целевому назначению на фундаментальные, прикладные, поисковые и разработки.

В Федеральном законе от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике» даны понятия фундаментальных и прикладных научных исследований.

Фундаментальные научные исследования – это экспериментальная или теоретическая деятельность, направленная на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, окружающей природной среды. Например, к числу фундаментальных можно отнести исследования о закономерностях становления и функционирования правового государства или о мировых, региональных и российских тенденциях преступности.

Прикладные научные исследования – это исследования, направленные преимущественно на применение новых знаний для достижения практических целей и решения конкретных задач. Иными словами, они направлены на решение проблем использования научных знаний, полученных в результате фундаментальных исследований, в практической деятельности людей. Например, как прикладные можно рассматривать работы о тактике и методике расследования отдельных видов преступлений или о предупреждении преступлений на отдельных территориях или предприятиях.

Научные исследования в сфере юридических наук зачастую представляют собой сочетание двух названных видов и поэтому их следует именовать теоретико-прикладными.

Поисковыми называют научные исследования, направленные на определение перспективности работы над темой, отыскание путей решения научных задач.

Разработкой называют исследование, которое направлено на внедрение в практику результатов конкретных фундаментальных и прикладных исследований.

По длительности научные исследования можно разделить на долгосрочные, краткосрочные и экспресс-исследования.

В зависимости от форм и методов исследования некоторые авторы выделяют экспериментальное, методическое, описательное, экспериментально-аналитическое, историко-биографическое исследования и исследования смешанного типа.

В теории познания выделяют два уровня исследования: теоретический и эмпирический.

Теоретический уровень исследования характеризуется преобладанием логических методов познания. На этом уровне полученные факты исследуются, обрабатываются с помощью логических понятий, умозаключений, законов и других форм мышления.

Здесь исследуемые объекты мысленно анализируются, обобщаются, постигаются их сущность, внутренние связи, законы развития. На этом уровне познание с помощью органов чувств (эмпирия) может присутствовать, но оно является подчиненным.

Структурными компонентами теоретического познания являются проблема, гипотеза и теория.

Проблема – это сложная теоретическая или практическая задача, способы решения которой не известны или известны не полностью. Различают проблемы неразвитые (предпроблемы) и развитые.

Неразвитые проблемы характеризуются следующими чертами: 1) они возникли на базе определенной теории, концепции; 2) это трудные, нестандартные задачи; 3) их решение направлено на устранение возникшего в познании противоречия; 4) пути решения проблемы не известны.

Развитые проблемы имеют более или менее конкретные указания на пути их решения.

Гипотеза есть требующие проверки и доказывания предположения о причине, которая вызывает определенное следствие, о структуре исследуемых объектов и характере внутренних и внешних связей структурных элементов.

Научная гипотеза должна отвечать следующим требованиям:

1) релевантности, т.е. относимости к фактам, на которые она опирается;

2) проверяемости опытным путем, сопоставляемости с данными наблюдения или эксперимента (исключение составляют непроверяемые гипотезы);

3) совместимости с существующим научным знанием;

4) обладания объяснительной силой, т.е. из гипотезы должно выводиться некоторое количество подтверждающих ее фактов, следствий. Больше объяснительной силой будет обладать та гипотеза, из которой выводится наибольшее количество фактов;

5) простоты, т.е. она не должна содержать никаких произвольных допущений, субъективистских наслоений.

Различают гипотезы описательные, объяснительные и прогнозные.

Описательная гипотеза – это предположение о существенных свойствах объектов, характере связей между отдельными элементами изучаемого объекта.

Объяснительная гипотеза – это предположение о причинно-следственных зависимостях.

Прогнозная гипотеза – это предположение о тенденциях и закономерностях развития объекта исследования.

Теория – это логически организованное знание, концептуальная система знаний, которая адекватно и целостно отражает определенную область действительности. Она обладает следующими свойствами:

1. Теория представляет собой одну из форм рациональной мыслительной деятельности.

2. Теория – это целостная система достоверных знаний.

3. Теория не только описывает совокупность фактов, но и объясняет их, т.е. выявляет происхождение и развитие явлений и процессов, их внутренние и внешние связи, причинные и иные зависимости и т.д.

4. Все содержащиеся в теории положения и выводы обоснованы, доказаны.

Теории классифицируют по предмету исследования. По этому основанию различают социальные, математические, физические, химические, психологические, этические и прочие теории. Существуют и другие классификации теорий.

В современной методологии науки выделяют следующие структурные элементы теории:

1) исходные основания (понятия, законы, аксиомы, принципы и т.д.);

2) идеализированный объект, т.е. теоретическую модель какой-то части действительности, существенных свойств и связей изучаемых явлений и предметов;

3) логику теории – совокупность определенных правил и способов доказывания;

4) философские установки и социальные ценности;

5) совокупность законов и положений, выведенных в качестве следствий из данной теории.

Структуру теории образуют понятия, суждения, законы, научные положения, учения, идеи и другие элементы.

Понятие – это мысль, отражающая существенные и необходимые признаки определенного множества предметов или явлений.

Категория – общее, фундаментальное понятие, отражающее наиболее существенные свойства и отношения предметов и явлений. Категории

бывают философскими, общенаучными и относящимися к отдельной отрасли науки. Примеры категорий в юридических науках: право, правонарушение, юридическая ответственность, государство, государственный строй, преступность.

Научный термин – это слово или сочетание слов, обозначающее понятие, применяемое в науке.

Совокупность понятий (терминов), которые используются в определенной науке, образует ее понятийный аппарат.

Суждение – это мысль, в которой утверждается или отрицается что-либо. Например, при квалификации преступления может быть высказано суждение, что К. совершил преступление, предусмотренное определенной статьей УК, или высказывание может быть отрицательным: действия К. не подпадают под признаки какого-либо состава преступления.

Принцип – это руководящая идея, основное исходное положение теории. Принципы бывают теоретическими и методологическими. При этом нельзя не учитывать методологические принципы диалектического материализма: относиться к действительности как к объективной реальности; отличать существенные признаки изучаемого объекта от второстепенных; рассматривать предметы и явления в непрерывном изменении и др.

Аксиома – это положение, которое является исходным, не доказываемым и из которого по установленным правилам выводятся другие положения. Например, в настоящее время следует признать аксиоматическими утверждения о том, что нет преступления без указания на то в законе, незнание закона не освобождает от ответственности за его нарушение, обвиняемый не обязан доказывать свою невиновность.

Закон – это объективная, существенная, внутренняя, необходимая и устойчивая связь между явлениями, процессами. Законы могут быть классифицированы по различным основаниям. Так, по основным сферам реальности можно выделить законы природы, общества, мышления и познания; по объему действия – всеобщие, общие и частные.

Закономерность – это: 1) совокупность действия многих законов; 2) система существенных, необходимых общих связей, каждая из которых составляет отдельный закон. Так, существуют определенные закономерности движения преступности в мировом масштабе: 1) ее абсолютный и относительный рост; 2) отставание социального контроля над нею.

Положение – научное утверждение, сформулированная мысль.

Учение – совокупность теоретических положений о какой-либо области явлений действительности.

Идея – это: 1) новое интуитивное объяснение события или явления; 2) определяющее стержневое положение в теории.

Концепция – это система теоретических взглядов, объединенных научной идеей (научными идеями).

Эмпирический уровень исследования характеризуется преобладанием чувственного познания (изучения внешнего мира посредством органов чувств). На этом уровне формы теоретического познания присутствуют, но имеют подчиненное значение.

Взаимодействие эмпирического и теоретического уровней исследования заключается в том, что: 1) совокупность фактов составляет практическую основу теории или гипотезы; 2) факты могут подтверждать теорию или опровергать ее; 3) научный факт всегда пронизан теорией, поскольку он не может быть сформулирован без системы понятий, истолкован без теоретических представлений; 4) эмпирическое исследование в современной науке предопределяется, направляется теорией.

Структуру эмпирического уровня исследования составляют факты, эмпирические обобщения и законы (зависимости).

Понятие «*факт*» употребляется в нескольких значениях: 1) объективное событие, результат, относящийся к объективной реальности (факт действительности) либо к сфере сознания и познания (факт сознания); 2) знание о каком-либо событии, явлении, достоверность которого доказана (истина); 3) предложение, фиксирующее знание, полученное в ходе наблюдений и экспериментов.

Эмпирическое обобщение – это система определенных научных фактов.

Эмпирические законы отражают регулярность в явлениях, устойчивость в отношениях между наблюдаемыми явлениями. Эти законы теоретическим знанием не являются. В отличие от теоретических законов, которые раскрывают существенные связи действительности, эмпирические законы отражают более поверхностный уровень зависимостей.

1.1.2. Этапы научно-исследовательской работы

Для успеха научного исследования его необходимо правильно организовать, спланировать и выполнять в определенной последовательности. Эти планы и последовательность действий зависят от вида, объекта и целей научного исследования. Так, если оно проводится на технические темы, то вначале разрабатывается основной предплановый документ – технико-экономическое обоснование, а затем осуществляются теоретические и экспериментальные исследования, составляется научно-технический отчет и результаты работы внедряются в производство.

Научное исследование включает в себя ряд этапов:

1. Состояние вопроса исследования.
2. Теоретические исследования.
3. Экспериментальные исследования.
4. Анализ и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований.

5. Расчет экономической эффективности и опытная апробация предлагаемых разработок.

Состояние вопроса исследования

В ходе реализации данного этапа проводится патентно-лицензионный поиск, обзор и анализ НИР, НИОКР, монографий, статей и т.д. по рассматриваемой проблеме. В результате формируются основные выводы и определяются цель и задачи исследования. Кроме того, в завершение данного этапа разрабатывается общая методика исследования.

Общая методика исследований представляет собой набор методов, способствующих последовательному, наиболее эффективному осуществлению научного исследования.

Теоретические исследования

На данном этапе проводятся:

- формирование рабочей гипотезы исследования;
- обоснование, выбор и формирование целевой функции;
- анализ и выбор влияющих факторов;
- обоснование и выбор математического аппарата;
- аналитическое сравнение альтернатив развития исследуемого процесса.

Экспериментальные исследования

На данном этапе разрабатывается методика экспериментальных исследований, монтируется экспериментальная установка, разрабатываются учетные анкеты, осуществляется сбор экспериментальных данных, обосновывается необходимость применения средств измерения, проверяется их точность, определяется количественное число опытных точек, намечаются критерии и методики обработки опытных данных.

Анализ и обобщение результатов исследований

На данном этапе проводится обработка полученного экспериментального материала, сравнение его с результатами теоретических исследований. По результатам анализа формируются новые научные положения, выводы, заключения и предложения.

Расчет экономической эффективности и опытная апробация предлагаемых разработок

На данном этапе проводится расчет экономической эффективности предложенных разработок или полученных результатов. Расчет экономической эффективности целесообразно проводить с государственных или общехозяйственных позиций, с учетом социального эффекта (улучшение качества бытового обслуживания населения, качества перевозок пассажиров и т.д.).

1.2. Методология научных исследований

1.2.1. Понятия метода и методологии научных исследований

Метод научного исследования – это способ познания объективной действительности. Способ представляет собой определенную последовательность действий, приемов, операций. В зависимости от содержания изучаемых объектов различают методы естествознания и методы социально-гуманитарного исследования.

Методы исследования классифицируют по отраслям науки: математические, биологические, медицинские, социально-экономические, правовые и т.д.

В зависимости от уровня познания выделяют методы эмпирического, теоретического и метатеоретического уровней.

К методам эмпирического уровня относят наблюдение, описание, сравнение, счет, измерение, анкетный опрос, собеседование, тестирование, эксперимент, моделирование и т.д. К методам теоретического уровня причисляют аксиоматический, гипотетический (гипотетико-дедуктивный), формализацию, абстрагирование, общелогические методы (анализ, синтез, индукцию, дедукцию, аналогию) и др. Методами метатеоретического уровня являются диалектический, метафизический, герменевтический и др. Некоторые ученые к этому уровню относят метод системного анализа, а другие его включают в число общелогических методов.

В зависимости от сферы применения и степени общности различают методы:

- 1) всеобщие (философские), действующие во всех науках и на всех этапах познания;
- 2) общенаучные, которые могут применяться в гуманитарных, естественных и технических науках;
- 3) частные – для родственных наук;
- 4) специальные – для конкретной науки, области научного познания.

От рассматриваемого понятия метода следует отграничивать понятия техники, процедуры и методики научного исследования.

Под техникой исследования понимают совокупность специальных приемов для использования того или иного метода, а под процедурой исследования – определенную последовательность действий, способ организации исследования.

Методика – это совокупность способов и приемов познания.

Любое научное исследование осуществляется определенными приемами и способами, по определенным правилам. Учение о системе этих приемов, способов и правил называют методологией. Впрочем, понятие «методология» в литературе употребляется в двух значениях:

- 1) совокупность методов, применяемых в какой-либо сфере деятельности (науке, политике и т.д.);
- 2) учение о научном методе познания.

Каждая наука имеет свою методологию. Существуют следующие уровни методологии:

1. Всеобщая методология, которая является универсальной по отношению ко всем наукам и в содержание которой входят философские и общенаучные методы познания.

2. Частная методология научных исследований для группы родственных наук.

3. Методология научных исследований конкретной науки, в содержание которой включаются философские, общенаучные, частные и специальные методы познания.

1.2.2. Философские и общенаучные методы научного исследования

Среди **всеобщих (философских) методов** наиболее известными являются диалектический и метафизический. Эти методы могут быть связаны с различными философскими системами. Так, диалектический метод у К. Маркса был соединен с материализмом, а у Г.В.Ф. Гегеля – с идеализмом.

При изучении предметов и явлений диалектика рекомендует исходить из следующих принципов:

1. Рассматривать изучаемые объекты в свете диалектических законов:

- а) единства и борьбы противоположностей;
- б) перехода количественных изменений в качественные;
- в) отрицания отрицания.

2. Описывать, объяснять и прогнозировать изучаемые явления и процессы, опираясь на философские категории: общего, особенного и единичного; содержания и формы; сущности и явления; возможности и действительности; необходимого и случайного; причины и следствия.

3. Относиться к объекту исследования как к объективной реальности.

4. Рассматривать исследуемые предметы и явления: а) всесторонне; б) во всеобщей связи и взаимозависимости; в) в непрерывном изменении, развитии; г) конкретно-исторически.

5. Проверять полученные знания на практике.

Все **общенаучные методы** для анализа целесообразно распределить на три группы: общелогические, теоретические и эмпирические.

Общелогическими методами являются анализ, синтез, индукция, дедукция, аналогия.

Анализ – это расчленение, разложение объекта исследования на составные части. Он лежит в основе аналитического метода исследования. Разновидностями анализа являются классификация и периодизация.

Синтез – это соединение отдельных сторон, частей объекта исследования в единое целое.

Индукция – это движение мысли (познания) от фактов, отдельных случаев к общему положению. Индуктивные умозаключения «наводят» на мысль, на общее.

Дедукция – это выведение единичного, частного из какого-либо общего положения; движение мысли (познания) от общих утверждений к утверждениям об отдельных предметах или явлениях. Посредством дедуктивных умозаключений «выводят» определенную мысль из других мыслей.

Аналогия – это способ получения знаний о предметах и явлениях на основании того, что они имеют сходство с другими; рассуждение, в котором из сходства изучаемых объектов в некоторых признаках делается заключение об их сходстве и в других признаках.

К методам *теоретического уровня* причисляют аксиоматический, гипотетический, формализацию, абстрагирование, обобщение, восхождение от абстрактного к конкретному, исторический, метод системного анализа.

Аксиоматический метод – способ исследования, который состоит в том, что некоторые утверждения (аксиомы, постулаты) принимаются без доказательств и затем по определенным логическим правилам из них выводятся остальные знания.

Гипотетический метод – способ исследования с помощью научной гипотезы, т.е. предположения о причине, которая вызывает данное следствие, или о существовании некоторого явления или предмета.

Разновидностью этого метода является гипотетико-дедуктивный способ исследования, сущность которого состоит в создании системы дедуктивно связанных между собой гипотез, из которых выводятся утверждения об эмпирических фактах.

В структуру гипотетико-дедуктивного метода входит:

- 1) выдвижение догадки (предположения) о причинах и закономерностях изучаемых явлений и предметов;
- 2) отбор из множества догадок наиболее вероятной, правдоподобной;
- 3) выведение из отобранного предположения (посылки) следствия (заключения) с помощью дедукции;
- 4) экспериментальная проверка выведенных из гипотезы следствий.

Формализация – отображение явления или предмета в знаковой форме какого-либо искусственного языка (например логики, математики, химии) и изучение этого явления или предмета путем операций с соответствующими знаками. Использование искусственного формализованного языка в научном исследовании позволяет устранить такие недостатки естественного языка, как многозначность, неточность, неопределенность. При формализации вместо рассуждений об объектах исследования оперируют со знаками (формулами). Путем операций с формулами искусственных языков можно получать новые формулы, доказывать истинность какого-либо положения.

Формализация является основой для алгоритмизации и программирования, без которых не может обойтись компьютеризация знания и процесса исследования.

Абстрагирование – мысленное отвлечение от некоторых свойств и отношений изучаемого предмета и выделение интересующих исследователя свойств и отношений. Обычно при абстрагировании второстепенные свойства и связи исследуемого объекта отделяются от существенных свойств и связей.

Виды абстрагирования: отождествление, т.е. выделение общих свойств и отношений изучаемых предметов, установление тождественного в них, абстрагирование от различий между ними, объединение предметов в особый класс; изолирование, т.е. выделение некоторых свойств и отношений, которые рассматриваются как самостоятельные предметы исследования. В теории выделяют и другие виды абстракции: потенциальной осуществимости, актуальной бесконечности.

Обобщение – установление общих свойств и отношений предметов и явлений; определение общего понятия, в котором отражены существенные, основные признаки предметов или явлений данного класса. Вместе с тем обобщение может выражаться в выделении не существенных, а любых признаков предмета или явления. Этот метод научного исследования опирается на философские категории общего, особенного и единичного.

Исторический метод заключается в выявлении исторических фактов и на этой основе в таком мысленном воссоздании исторического процесса, при котором раскрывается логика его движения. Он предполагает изучение возникновения и развития объектов исследования в хронологической последовательности.

Восхождение от абстрактного к конкретному как метод научного познания состоит в том, что исследователь вначале находит главную связь изучаемого предмета (явления), затем, прослеживая, как она видоизменяется в различных условиях, открывает новые связи и таким путем отображает во всей полноте его сущность.

Системный метод заключается в исследовании системы (т.е. определенной совокупности материальных или идеальных объектов), связей её компонентов и их связей с внешней средой. При этом выясняется, что эти взаимосвязи и взаимодействия приводят к возникновению новых свойств системы, которые отсутствуют у составляющих её объектов.

К методам эмпирического уровня относятся наблюдение, описание, счет, измерение, сравнение, эксперимент, моделирование.

Наблюдение – это способ познания, основанный на непосредственном восприятии свойств предметов и явлений при помощи органов чувств. В результате наблюдения исследователь получает знания о внешних свойствах и отношениях предметов и явлений.

В зависимости от положения исследователя по отношению к объекту изучения различают простое и включенное наблюдение. Первое состоит в наблюдении со стороны, когда исследователь – постороннее по отношению к объекту лицо, не являющееся участником деятельности наблюдаемых. Второе характеризуется тем, что исследователь открыто или инкогнито включается в группу, её деятельность в качестве участника. Например, в первом случае он со стороны наблюдает за соблюдением пешеходами правил дорожного движения при переходе улицы, а во втором случае сам включается в число участников движения, в отдельных моментах провоцируя их на нарушения.

Если наблюдение проводилось в естественной обстановке, то его называют полевым, а если условия окружающей среды, ситуация были специально созданы исследователем, то оно будет считаться лабораторным. Результаты наблюдения могут фиксироваться в протоколах, дневниках, карточках, на киноплёнках и другими способами.

Описание – это фиксация признаков исследуемого объекта, которые устанавливаются, например, путем наблюдения или измерения. Описание бывает: 1) непосредственным, когда исследователь непосредственно воспринимает и указывает признаки объекта; 2) опосредованным, когда исследователь отмечает признаки объекта, которые воспринимались другими лицами (например характеристики НЛО).

Счет – это определение количественных соотношений объектов исследования или параметров, характеризующих их свойства. Количественный метод широко применяется в транспортной статистике.

Измерение – это определение численного значения некоторой величины путем сравнения её с эталоном. Измерение применяется для определения расстояния между предметами; скорости движения транспортных средств, человека или иных объектов; длительности тех или иных явлений и процессов; температуры, размера, веса и т.п.

Сравнение – это сопоставление признаков, присущих двум или нескольким объектам, установление различия между ними или нахождение в них общего.

Различают следующие разновидности сравнительного метода: метод сходства, метод различия, метод контрольной группы.

При использовании метода сходства устанавливаются, в частности, повторяющиеся свойства в разных государствах или его регионах.

При использовании метода различий определяются те характеристики, которые встречаются в одних государствах, регионах и не обнаруживаются в других.

Метод контрольной группы основан на сравнении результатов изучения основной (экспериментальной) и контрольной групп, которые уравнены по всем признакам, кроме изучаемого.

Эксперимент – это искусственное воспроизведение явления, процесса в заданных условиях, в ходе которого проверяется выдвигаемая гипотеза.

Эксперименты могут быть классифицированы по различным основаниям:

по отраслям научных исследований – физические, биологические, химические, социальные и т.д.;

по характеру взаимодействия средства исследования с объектом – обычные (экспериментальные средства непосредственно взаимодействуют с исследуемым объектом) и модельные (модель замещает объект исследования). Последние делятся на мысленные (умственные, воображаемые) и материальные (реальные).

Приведенная классификация не является исчерпывающей.

Моделирование – это получение знаний об объекте исследования с помощью его заменителей – аналога, модели. Под моделью понимается мысленно представляемый или материально существующий аналог объекта. На основании сходства модели и моделируемого объекта выводы о ней по аналогии переносятся на этот объект.

В теории моделирования различают:

1) идеальные (мысленные, символические) модели, например, в виде рисунков, записей, знаков, математической интерпретации;

2) материальные (натурные, вещественные) модели, например, макеты, муляжи, предметы-аналоги для опытов при экспертизах, реконструкция внешнего облика человека по методу М.М. Герасимова.

Метод моделирования применяется ученым-юристом в том случае, когда он в результате исследования предлагает включить в закон новую норму права или изменить содержание уже существующей. Любая норма права, регулирующая поведение людей, есть формально-определенная его модель, закрепленная в официальном акте.

Моделирование помогает при поиске наиболее эффективных схем организации государственного аппарата, административно-территориального устройства и др.

1.2.3. Частные и специальные методы научного исследования

Помимо общенаучных методов применяются *частные методы* исследования различных явлений. Они называются частными потому, что используются в родственных науках, обладают специфическими особенностями, зависящими от объекта и условий познания.

Специальные методы исследования используются только в одной отрасли научного знания либо их применение ограничивается несколькими узкими областями знания.

Рассмотрим наиболее распространенные частные методы.

Изучение документов (документальный метод). Документ – это объект исследования, содержащий информацию на любом материальном носителе (бумаге, магнитной ленте, дискете и др.) при помощи какой-либо знаковой системы.

Существуют различные классификации документов.

По общей значимости документы можно разделить на официальные и неофициальные. Официальные документы имеют «служебный» характер, поскольку они составлены государственными и муниципальными органами и учреждениями, коммерческими и некоммерческими организациями. К неофициальным относятся в основном личные документы, касающиеся жизни и деятельности лица или группы лиц (письма, автобиографии, мемуары, речи, дневники и пр.).

По характеру знаковых средств фиксации информации документы делят на текстовые и нетекстовые. В текстовых документах информация закреплена посредством письменных знаков (букв), а в нетекстовых документах – с помощью неречевых знаков. К последним можно отнести кино-, видео-, фото- и фонодокументы, картины, рисунки, карты, чертежи, ноты и др.

Документы, какими бы достоверными они на первый взгляд ни казались, требуют к себе критического отношения, поскольку содержащиеся в них сведения могут быть неверными, неполными. Поэтому документ следует проанализировать, ответив на следующие вопросы:

- а) что он представляет собой по виду и форме?
- б) какова подлинность текста?
- в) кто его автор?
- г) время, место и обстоятельства возникновения документа?
- д) какова достоверность содержащихся в нем сведений?
- е) насколько полна закреплённая в документе информация?
- ж) каковы цели создания документа?

При изучении документов может быть использован количественный метод, называемый контент-анализом. Его суть заключается в выделении в изучаемом документе определенных признаков (единиц анализа), подсчете их количества и определении частоты употребления таких признаков в общем объеме имеющейся информации или в общем количестве изученных документов. Индикаторами, т.е. конкретными указателями на присутствие единиц анализа в документе, могут быть: 1) употребленные в тексте понятия, события, наименования, имена собственные, устойчивые словосочетания; 2) предложения (утверждения, вопросы, оценки и т.п.); 3) совокупность высказываний на определенную тему.

Для количественного анализа составляют вопросник, содержащий набор вопросов на определенную тему, ответы на которые могут быть получены из документов.

Методы опроса. Опрос может проводиться заочно путем распространения, сбора и обработки анкет (анкетирования) либо очно в форме беседы с опрашиваемым (интервьюирования).

Первый метод опроса требует разработки анкеты. Обычно она состоит из следующих частей:

- 1) преамбулы (вводной части), в которой указывается, кто проводит опрос, с какой целью, дается инструкция по заполнению анкеты и её возврату, гарантия анонимности и высказывается благодарность за ответы;
- 2) паспортники (демографической части), содержащей вопросы по социально-демографической характеристике респондентов. Иногда эти вопросы помещают в конце анкеты;
- 3) контактных вопросов, позволяющих заинтересовать респондента и ввести его в изучаемую проблему;
- 4) основных вопросов, с помощью которых собирают ту информацию, ради которой проводят исследование;
- 5) заключительных вопросов, предоставляющих возможность опрашиваемому свободно высказаться по теме исследования.

Помимо перечисленных, в анкету могут быть включены контрольные вопросы и вопросы-фильтры. Первые применяются для проверки правдивости ответов, а также для уточнения и дополнения сведений, получаемых из ответов на основные вопросы. Вторые предназначены для проверки того, относится ли респондент к группе людей, подлежащих опросу, компетентен ли он.

Имеет значение порядок расположения вопросов. Они должны располагаться в логической последовательности. Социологи рекомендуют в начале анкеты ставить простые вопросы, в середине – сложные, трудные, деликатные. Затем сложность вопросов убывает. В анкете не должно быть ненужных или наводящих вопросов.

Следует продумать содержание, форму и порядок не только вопросов, но и ответов на них. В зависимости от формы ответов различают вопросы закрытые, открытые и полузакрытые. Закрытые вопросы бывают:

- а) с альтернативными ответами типа «да – нет» (иногда с добавлением «не знаю»);
- б) со шкальными ответами, например, для оценки интенсивности какого-либо явления в баллах;
- в) с ответами-меню, из списка которых можно выбрать один или несколько ответов.

Открытые вопросы не содержат ответов, и респондент может дать любой, какой пожелает.

Полузакрытые вопросы имеют неполный перечень ответов, и опрашиваемый может ответить на них в строке «другое (иное)».

Для проверки правильности составления анкеты проводится пробный (пилотажный) опрос. Он состоит в том, что анкета размножается в небольшом количестве и распространяется среди специально подобранных типичных респондентов. Если окажется, что, например, многие отказались ответить на вопросы анкеты либо среди опрошенных большой процент ответивших «не знаю (затрудняюсь ответить)» или вообще отсутствуют ответы на вопросы, то придется пересмотреть формулировки этих вопросов и ответов либо исключить их.

После пилотажа можно приступить к массовому опросу. Анкеты могут быть разосланы по почте (количество возвратившихся анкет около 30 %) или непосредственно розданы респондентам (возвращается около 90 %).

Опрос может быть сплошным или выборочным. Выборочный метод применяют тогда, когда обследуемый контингент превышает 500 человек. Его суть состоит в том, что вместо всей массы людей, называемой генеральной совокупностью, обследуют только выделенную по определенным правилам её часть, составляющую выборочную совокупность. Полученные результаты распространяют на генеральную совокупность.

Выборки бывают вероятностными и целенаправленными.

При вероятностной выборке каждый элемент генеральной совокупности должен иметь равную вероятность попасть в выборочную совокупность. Такая выборка может быть простой случайной, механической, серийной, гнездовой и др. Примерами простой случайной выборки являются жеребьевка, лотерейный метод. Механическая выборка состоит в том, что все элементы генеральной совокупности сводят в единый список, из которого через равные интервалы отбирают нужное число респондентов. При серийной выборке генеральная совокупность разбивается на однородные части (серии) по определенному признаку. Из каждой серии отбирается количество элементов пропорционально общему числу элементов в ней. Особенность гнездовой выборки в том, что отбираются группы опрашиваемых с последующим их сплошным опросом.

При целенаправленной выборке не применяются правила теории вероятности. Существуют следующие её виды: стихийная (например почтовый опрос), основного массива (опрашивают 60–70 % от генеральной совокупности), квотная (в качестве квот выступают данные о признаках элементов генеральной совокупности, например образование, возраст).

Выборка должна быть репрезентативной, т.е. выборочная совокупность должна воспроизводить характеристики генеральной совокупности, достаточно верно отражать содержание и закономерности изучаемого явления. Разность между данными генеральной и выборочной совокупности называется ошибкой выборки. По мнению социологов, повышенная надежность исследования допускает ошибку выборки до 3 %, обыкновенная – от 3 до 10 %, приближенная – от 10 до 20 %, ориентировочная – от 20 до 40 %.

Интервью – это беседа интервьюера с респондентом по определенному плану. Интервью может проводить сам исследователь или его помощники. Интервьюер, пользуясь вопросником, планом, бланком или карточкой, задает вопросы, направляет беседу, фиксирует ответы опрашиваемых.

Интервьюирование может быть стандартизированным или свободным.

Стандартизированное (формальное) интервью осуществляется по закрытым вопросам, и интервьюеру остается лишь пометить ответ подчеркиванием, крестиком либо записать его в балльной системе (1, 2, 3 и т.д.).

Свободное интервью – это беседа с респондентом по определенному кругу вопросов, по которым ему предоставляется свобода ответов.

По процедуре проведения различают интервью:

панельное, т.е. многократное с одними и теми же лицами по одним и тем же вопросам через определенные промежутки времени;

клиническое, т.е. длительное, глубокое;

фокусированное, т.е. кратковременное по какому-либо конкретному вопросу.

Метод экспертных оценок. Он заключается в изучении мнения специалистов, обладающих глубокими знаниями и практическим опытом в определенной сфере. В качестве экспертов отбираются как научные, так и практические работники (не более 20–30 человек). Для определения их компетентности применяются следующие способы:

1) эвристический (интуитивные оценки, даваемые самими экспертами друг другу);

2) статистический (оценки, полученные путем анализа суждений экспертов по изучаемому вопросу);

3) тестовый (оценки, полученные путем тестовых испытаний экспертов);

4) документальный (оценки, полученные путем изучения материалов, характеризующих экспертов);

5) комбинированный (оценки, полученные с помощью нескольких из перечисленных способов).

Опрос экспертов может быть индивидуальным или групповым, очным или заочным. Индивидуальный опрос проводится путем анкетирования или интервьюирования. Групповой опрос возможен в форме «круглого стола», в ходе которого происходит обмен мнениями между специалистами.

При проведении исследований используются и другие методы: социометрии, тестов, биографический, психологический и логико-математический.

Собранный с помощью рассмотренных способов эмпирический материал требуется обобщить и проанализировать. Для этого применяются различные методы сводки, группировки и статистического анализа.

Статистическая сводка состоит в том, что содержащиеся в анкетах, карточках и других материалах сведения систематизируются, сводятся в статистические совокупности и обозначаются обобщающими показателями (абсолютными числами, процентами и т.д.).

Группировка заключается в расчленении статистических показателей на качественно однородные группы по существенным признакам, например, по возрастным интервалам. Существует три основных вида группировок:

- 1) типологическая (например, деление ДТП на категории по характеру и степени их общественной опасности);
- 2) структурная (например, динамическая группировка удельного веса ДТП за десять лет);
- 3) аналитическая (например, группировка данных, показывающих зависимость различных ДТП от состояния алкогольного или наркотического опьянения виновных).

Для измерения статистических связей между признаками изучаемого явления применяется корреляционный анализ. Корреляционной связью называется такая форма причинной связи, при которой причина порождает следствие не однозначно, а лишь с определенной долей вероятности. Количественная мера связи называется коэффициентом корреляции.

Методы установления статистических связей между признаками явления основаны на принципах: 1) совместного появления событий и 2) ковариации. Первый гласит, что постоянное парное появление признаков А и Б дает основание предполагать о наличии связи между ними. Например, если ДТП чаще совершаются лицами, находившимися в нетрезвом состоянии, чем трезвыми, то можно заключить, что это правонарушение связано с признаком «нетрезвое состояние». Принцип ковариации означает, что если для двух рядов количественных данных изменения в одном из них соответствуют изменениям в другом, есть основание предположить о наличии связи между этими рядами. Например, такая связь наблюдается между изменением возраста водителей и уровнем их профессиональной квалификации.

1.3. Подготовительный этап научно-исследовательской работы

1.3.1. Выбор темы научного исследования

Тема научно-исследовательской работы может быть отнесена к определенному научному направлению или к научной проблеме. Под научным направлением понимается наука, комплекс наук или научных проблем, в области которых ведутся исследования.

Научная проблема – это совокупность сложных теоретических и (или) практических задач; совокупность тем научно-исследовательской работы. Проблема может быть отраслевой, межотраслевой, глобальной.

Научная тема – это сложная, требующая решения задача. Темы могут быть теоретическими, практическими и смешанными.

Теоретические темы разрабатываются преимущественно с использованием литературных источников. Практические темы разрабатываются на основе изучения, обобщения и анализа фактического материала. Смешанные темы сочетают в себе теоретический и практический аспекты исследования.

Тема научно-исследовательской работы, в свою очередь, может охватывать некоторый круг вопросов. Под научным вопросом понимается мелкая задача, относящаяся к определенной теме.

Считается, что правильный выбор темы работы наполовину обеспечивает успешное ее выполнение.

Темы курсовых и выпускных квалификационных работ (дипломных сочинений, магистерских диссертаций) определяются кафедрами. Тематика должна соответствовать программам курсов учебных дисциплин и учебным планам. При ее составлении целесообразно учитывать сложившиеся на кафедрах научные направления и возможность обеспечения студентов квалифицированным научным руководством. Желательно добиваться того, чтобы темы обладали актуальностью, новизной, практической и теоретической значимостью.

Темы выпускных квалификационных работ должны доводиться до сведения студентов в начале последнего года обучения, но не позднее, чем за полгода до начала итоговой аттестации. Студентам предоставляется право выбора темы вплоть до предложения своей с необходимым обоснованием ее разработки. При выборе темы рекомендуется учитывать ее актуальность, новизну, теоретическую и практическую значимость, соответствие профилю работы после окончания вуза, наличие или отсутствие литературы и практических материалов, наработки самого студента по теме в виде курсовых работ и научных докладов, а также интерес студента к выбранной теме, его субъективные возможности провести необходимые исследования.

Выбор темы могут облегчить консультации с преподавателями и профессорами, ознакомление с литературой по избранной специальности, пересмотр уже известных положений и выводов под новым углом зрения.

После выбора темы письменной работы студенту необходимо встретиться с предполагаемым научным руководителем и получить его согласие на руководство ее выполнением. Для закрепления за ним выбранной темы дипломной работы (магистерской диссертации) студент должен написать заявление по установленной вузом форме. Эта тема, а также научный руководитель утверждаются приказом ректора учебного заведения. По

отдельным частям работы, если, например, в ней будут рассматриваться междисциплинарные вопросы, относящиеся к различным отраслям права, дипломнику могут быть назначены научные консультанты. Научными руководителями (консультантами) назначаются, как правило, профессора и преподаватели, имеющие ученую степень или ученое звание, а в отдельных случаях опытные высококвалифицированные специалисты других организаций.

Научный руководитель:

- 1) выдает студенту задание на выполнение дипломной работы;
- 2) помогает студенту составить план работы;
- 3) рекомендует основную литературу, справочные и архивные материалы;
- 4) консультирует относительно выбора методов исследования, сбора, обобщения и анализа материалов практики, оформления работы;
- 5) контролирует выполнение задания;
- 6) проверяет выполненную работу, составляет на нее отзыв.

1.3.2. Планирование научно-исследовательской работы

Планирование научно-исследовательской работы имеет важное значение для ее рациональной организации.

Научно-исследовательские организации и образовательные учреждения разрабатывают планы работы на год на основе целевых комплексных программ, долгосрочных научных и научно-технических программ, хозяйственных договоров и заявок на исследования, представленных заказчиками.

Научная работа кафедр учебных заведений организуется и проводится в соответствии с планами работы на учебный год. Профессора, преподаватели и аспиранты выполняют научно-исследовательские работы по индивидуальным планам.

Планируется и научно-исследовательская работа студентов. Планы работы учебных заведений и кафедр могут содержать соответствующий раздел. По планам работают студенческие научные кружки и проблемные группы.

В научно-исследовательских и образовательных учреждениях по темам научно-исследовательских работ составляются рабочие программы и планы-графики их выполнения. При подготовке монографий, учебников, учебных пособий и лекций разрабатываются планы-проспекты этих работ.

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

Методологический раздел включает:

- 1) формулировку проблемы или темы;
- 2) определение объекта и предмета исследования;

- 3) определение цели и постановку задач исследования;
- 4) интерпретацию основных понятий;
- 5) формулировку рабочих гипотез.

Формулировка проблемы (темы) – это определение задачи, которая требует решения. Проблемы бывают социальными и научными. Социальная проблема – это противоречие в развитии общественной системы или отдельных ее элементов.

Научная (гносеологическая) проблема – это противоречие между знанием о потребностях общества и незнанием путей и средств их удовлетворения. Такие проблемы решаются путем создания теории, выработки практических рекомендаций. Например, научной проблемой является разработка теоретических основ борьбы с организованной преступностью.

Определение объекта и предмета исследования. Объект исследования – это то социальное явление (процесс), которое содержит противоречие и порождает проблемную ситуацию. Предмет исследования – это те наиболее значимые с точки зрения практики и Теории свойства, стороны, особенности объекта, которые подлежат изучению. Например, если тема научной работы посвящена уличной преступности, то объектом исследования является уличная преступность как негативное социальное явление и самостоятельный вид преступности, а предметом – основные ее свойства, причины и условия, личность уличного преступника, виктимологические факторы, способствующие совершению преступлений на улицах городов, и другие ее стороны.

Определение цели и задач исследования. Цель исследования – это общая его направленность на конечный результат. Задачи исследования – это то, что требует решения в процессе исследования; вопросы, на которые должен быть получен ответ.

Интерпретация основных понятий – это истолкование, разъяснение значения основных понятий. Существует теоретическая и эмпирическая интерпретация понятий. Теоретическое истолкование представляет собой логический анализ существенных свойств и отношений интерпретируемых понятий путем раскрытия их связей с другими понятиями.

Эмпирическая интерпретация – это определение эмпирических значений основных теоретических понятий, перевод их на язык наблюдаемых фактов. Эмпирически интерпретировать понятие – это значит найти такой показатель (индикатор, референт), который отражал бы определенный важный признак содержания понятия и который можно было бы измерить.

Формулировка рабочих гипотез. Гипотеза как научное предположение, выдвигаемое для объяснения каких-либо фактов, явлений и процессов, является важным инструментом успешного решения исследовательских задач. Программа исследования может быть ориентирована на одну или

несколько гипотез. Различают гипотезы описательные, объяснительные и прогнозные, основные и неосновные, первичные и вторичные, гипотезы-основания и гипотезы-следствия.

Процедурный раздел рабочей программы включает:

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

Конкретное научное исследование осуществляется по *принципиальному плану*, который строится в зависимости от количества информации об объекте исследования. Планы бывают разведывательными, аналитическими (описательными) и экспериментальными.

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

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

Экспериментальный план включает проведение научного эксперимента. Он применяется тогда, когда сформулированы научная проблема и объяснительная гипотеза. Цель плана – определение причинно-следственных связей в исследуемом объекте.

В процедурной части программы обосновывается выбор методов исследования, показывается связь данных методов с целями, задачами и гипотезами исследования. При выборе того или иного метода следует учитывать, что он должен быть: а) эффективным, т.е. обеспечивающим достижение поставленной цели и необходимую степень точности исследования; б) экономичным, т.е. позволяющим сэкономить время, силы и средства исследователя; в) простым, т.е. доступным исследователю соответствующей квалификации; г) безопасным для здоровья и жизни людей; д) допустимым с точки зрения морали и норм права; е) научным, т.е. имеющим прочную научную основу.

Студенты вузов не разрабатывают рабочие программы научных исследований, но планы подготовки учебных работ они обязаны составлять. План магистерской диссертации, дипломной или курсовой работы должен содержать введение, основную часть, разбитую на главы и параграфы (вопросы), и заключение. Он может быть простым или сложным. Простой план содержит перечень основных вопросов. В сложном плане каждая глава разбивается на параграфы. Иногда составляют комбинированный

план, где одни главы разбивают на параграфы, а другие оставляют без дополнительной рубрикации.

При составлении плана следует стремиться, чтобы: а) вопросы соответствовали выбранной теме и не выходили за ее пределы; б) вопросы темы располагались в логической последовательности; в) в него обязательно были включены вопросы темы, отражающие основные аспекты исследования; г) тема была исследована всесторонне.

План не является окончательным и в процессе исследования может меняться, т.к. могут быть найдены новые аспекты изучения объекта и решения научной задачи.

Чтобы упорядочить основные этапы научно-исследовательской работы в соответствии с планом (программой) исследования, календарными сроками, материальными затратами, составляется рабочий план (план-график) выполнения работ.

Студент должен уметь так выстроить логическую очередность выполнения работ, чтобы она в установленные сроки привела к достижению поставленной цели и решению научной задачи. В работе необходимо выделить главное, на чем следует сосредоточить внимание в данный момент, но вместе с тем нельзя упускать из поля зрения детали.

1.4. Сбор научной информации

1.4.1. Основные источники научной информации

Под источником информации понимается документ, содержащий какие-либо сведения. К документам относят различного рода издания, являющиеся основным источником научной информации. Издание – это документ, предназначенный для распространения содержащейся в нем информации, прошедший редакционно-издательскую обработку, полученный печатанием или тиснением, полиграфически самостоятельно оформленный, имеющий выходные сведения.

Источниками научной информации служат неопубликованные документы: диссертации, депонированные рукописи, отчеты о научно-исследовательских работах и опытно-конструкторских разработках, научные переводы, обзорно-аналитические материалы. В отличие от изданий эти документы не рассчитаны на широкое и многократное использование, находятся в виде рукописей либо тиражируются в небольшом количестве экземпляров средствами машинописи или ЭВМ.

Все документальные источники научной информации делятся на первичные и вторичные. Первичные документы содержат исходную информацию, непосредственные результаты научных исследований (монографии, сборники научных трудов, авторефераты диссертаций и т.д.), а вторичные документы являются результатом аналитической и логической переработки первичных документов (справочные, информационные, библиографические и другие тому подобные издания).

Издания классифицируют по различным основаниям: по целевому назначению (официальное, научное, учебное, справочное и др.); степени аналитико-синтетической переработки информации (информационное, библиографическое, реферативное, обзорное); материальной конструкции (книжное, журнальное, листовое, газетное и т.д.); знаковой природе информации (текстовое, нотное, картографическое, изоиздание); объему (книга, брошюра, листовка); периодичности (непериодическое, сериальное, периодическое, продолжающееся); составу основного текста (моноиздание, сборник); структуре (серия, однотомное, многотомное, собрание сочинений, избранные сочинения).

Нас в первую очередь интересуют издания, из которых может быть почерпнута необходимая для научно-исследовательской работы информация. Это научные, учебные, справочные и информационные издания.

Виды научных изданий

Научным считается издание, содержащее результаты теоретических и (или) экспериментальных исследований, а также научно подготовленные к публикации памятники культуры и исторические документы. Научные издания делятся на следующие виды: монография, автореферат диссертации, препринт, сборник научных трудов, материалы научной конференции, тезисы докладов научной конференции, научно-популярное издание.

Монография – научное или научно-популярное книжное издание, содержащее полное и всестороннее исследование одной проблемы или темы и принадлежащее одному или нескольким авторам.

Автореферат диссертации – научное издание в виде брошюры, содержащее составленный автором реферат проведенного им исследования, представляемого на соискание ученой степени.

Препринт – научное издание, содержащее материалы предварительного характера, опубликованные до выхода в свет издания, в котором они могут быть помещены.

Сборник научных трудов – сборник, содержащий исследовательские материалы научных учреждений, учебных заведений или обществ.

Материалы научной конференции – научный непериодический сборник, содержащий итоги научной конференции (программы, доклады, рекомендации, решения).

Тезисы докладов (сообщений) научной конференции – научный непериодический сборник, содержащий опубликованные до начала конференции материалы предварительного характера (аннотации, рефераты докладов и (или) сообщений).

Научно-популярное издание – издание, содержащее сведения о теоретических и (или) экспериментальных исследованиях в области науки, культуры и техники, изложенные в форме, доступной читателю-неспециалисту.

Виды учебных изданий

Учебное издание – это издание, содержащее систематизированные сведения научного или прикладного характера, изложенные в форме, удобной для преподавания и изучения, и рассчитанное на учащихся разного возраста и степени обучения. Виды учебных изданий: учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие и др.

Учебник – учебное издание, содержащее систематическое изложение учебной дисциплины (ее раздела, части), соответствующее учебной программе и официально утвержденное в качестве данного вида издания.

Учебное пособие – учебное издание, дополняющее или частично (полностью) заменяющее учебник, официально утвержденное в качестве данного вида издания.

Учебно-методическое пособие – учебное издание, содержащее материалы по методике преподавания учебной дисциплины (ее раздела, части) или по методике воспитания.

Справочно-информационные издания

Справочное издание – издание, содержащее краткие сведения научного или прикладного характера, расположенные в порядке, удобном для их быстрого отыскания, не предназначенное для сплошного чтения. Это – словари, энциклопедии, справочники специалиста и др.

Информационное издание – издание, содержащее систематизированные сведения о документах (опубликованных, неопубликованных, непубликуемых) либо результат анализа и обобщения сведений, представленных в первоисточниках, выпускаемое организацией, осуществляющей научно-информационную деятельность, в том числе органами НТИ. Эти издания могут быть библиографическими, реферативными, обзорными.

Библиографическое издание – это информационное издание, содержащее упорядоченную совокупность библиографических записей (описаний). К таким изданиям относятся выпускаемые Российской книжной палатой государственные библиографические указатели Российской Федерации: «Книжная летопись», «Летопись журнальных статей», «Летопись газетных статей», «Летопись авторефератов диссертаций».

Реферативное издание – это информационное издание, содержащее упорядоченную совокупность библиографических записей, включающих рефераты. К ним относятся реферативные журналы, реферативные сборники, информационные листки и экспресс-информация.

Обзорное издание – это информационное издание, содержащее публикацию одного или нескольких обзоров, включающих результаты анализа и обобщения представленных в источниках сведений.

Издания могут быть непериодическими, периодическими и продолжающимися.

Непериодическое издание выходит однократно, и его продолжение заранее не предусмотрено. Это книги, брошюры, листовки. Книга – книжное издание объемом свыше 48 страниц. Брошюра – книжное издание объемом свыше четырех, но не более 48 страниц. Текстовое листовое издание объемом от одной до четырех страниц называется листовкой.

Периодические издания выходят через определенные промежутки времени, с постоянным для каждого года числом номеров (выпусков), не повторяющимися по содержанию, однотипно оформленными, нумерованными и (или) датированными выпусками, имеющими одинаковое заглавие. Это газеты, журналы, бюллетени, вестники.

Газета – периодическое газетное издание, выходящее через краткие промежутки времени, содержащее официальные материалы, оперативную информацию и статьи по актуальным общественно-политическим, научным, производственным и другим вопросам, а также литературные произведения и рекламу.

Журнал – это периодическое текстовое издание, содержащее статьи или рефераты по различным общественно-политическим, научным, производственным и другим вопросам, литературно-художественные произведения, имеющие постоянную рубрику, официально утвержденное в качестве данного вида издания.

Бюллетени и вестники могут быть периодическими или продолжающимися изданиями. Продолжающиеся издания выходят через неопределенные промежутки времени, по мере накопления материала, не повторяющимися по содержанию, однотипно оформленными и (или) датированными выпусками, имеющими общее заглавие.

Бюллетень (вестник) – это периодическое или продолжающееся издание, выпускаемое оперативно, содержащее краткие официальные материалы по вопросам, входящим в круг ведения выпускающей его организации.

В завершение краткой характеристики основных источников научной информации следует упомянуть небумажные, нетрадиционные источники: кинофильмы, видеофильмы, микрофильмы, магнитные и оптические диски и др.

1.4.2. Изучение литературы

Изучение литературы начинается с подбора и составления списка (картотеки) нормативных правовых актов, учебников, учебных пособий, монографий, журнальных и газетных статей, опубликованной юридической практики. Необходимо просмотреть в библиотеках систематические, алфавитные и предметные каталоги, каталоги авторефератов диссертаций, журнальных и газетных статей.

В алфавитном каталоге названия книг (карточки) расположены в алфавитном порядке, который определяется по первому слову библиографического описания издания (фамилии автора или названию издания, автор которого не указан).

В систематическом каталоге карточки расположены по отдельным отраслям знаний в порядке, определяемом библиографической классификацией. Разновидностью такого каталога является каталог новых поступлений, в котором содержатся названия книг, поступивших в библиотеку в течение последних месяцев.

В предметном каталоге названия книг размещены по определенным предметам (темам) исследования, отраженным в рубриках. Сами рубрики и названия книг в этом каталоге следуют друг за другом в алфавитном порядке.

Для подбора литературы полезно воспользоваться библиографическими и реферативными изданиями. Необходимо просмотреть юридические журналы, в частности последние номера за тот или иной год, в которых даны указатели материалов, опубликованных в журнале за год. Можно просмотреть постраничные ссылки на использованную литературу в монографиях, учебных пособиях и журнальных статьях. Нельзя упускать из вида сборники научных трудов вузов и научно-исследовательских учреждений, тезисы и материалы научно-практических конференций. Ценную информацию, особенно при изучении спорных вопросов темы, студент может получить из рецензий на работы ученых и преподавателей. Наконец, некоторые учебники, учебные пособия, учебные программы, планы семинаров и практических занятий по дисциплине, к которой имеет отношение выбранная студентом тема исследования, содержат списки нормативных актов, основной и дополнительной литературы.

Изучение специальной литературы (монографий, учебников, учебных пособий, сборников научных трудов и др.) рекомендуется проводить в определенной последовательности. Сначала следует ознакомиться с книгой в общих чертах. Необходимость этого этапа определяется тем, что вовсе не обязательно тратить время на прочтение каждой книги, возможно, вам понадобится лишь отдельная ее часть или даже просто конкретная информация. В этих целях может оказаться достаточным прочитать справочный аппарат издания, который включает: выходные сведения (заглавие, автор,

издающая организация, год издания, аннотация, выпускные данные и т.д.); оглавление или содержание; библиографические ссылки и списки; предисловие, вступительную статью, послесловие или заключение. Такое ознакомление с книгой поможет установить, целесообразно ли дальнейшее ее изучение.

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

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

Тщательная проработка текста заключается не только в полном его прочтении, но и в усвоении, осмыслении, детальном анализе прочитанного. При чтении литературы важно уточнить все те понятия и термины, которые могут быть неправильно или неоднозначно истолкованы. Для этого необходимо обратиться к словарям, справочникам и нормативным актам, в которых может быть дано их толкование. Вместе с тем в тексте следует выделить основные положения и выводы автора и доказательства, их обосновывающие.

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

Чтобы на конспектирование затратить меньше времени, прибегают к различного рода сокращениям: стандартным (гос., ж.д., обл. и т.д.), аббревиатурам (например ГОСТ, ГИБДД, ТУ и пр.), знакам-символам (например, к математическим: =, >, <, + и др.), указывают начальную букву слова (энциклопедический метод) либо вводят свои знаки.

Выписки из книг должны быть точными. Если требуется без искажений передать мысль автора, то прибегают к дословным выпискам-цитатам. В случае использования студентом в своей научной работе этих выписок необходимо точно записать источник заимствования, т.е. дать его библиографическое описание по ГОСТу и указать номера страниц, с которых они сделаны.

Если нет необходимости в тщательной проработке публикации, то можно составить ее план или реферат. Планом книги является ее оглавление.

ление. При реферировании в малом по объему тексте кратко излагаются основные положения и выводы, содержащиеся в публикации.

Некоторые читатели при работе с книгой делают всякого рода пометки на полях и выделения в тексте, обращая внимание на важные или спорные положения, выводы и аргументы. Однако «черкать» можно только свою книгу, а не библиотечную. Поэтому, работая с библиотечным изданием, прибегают к закладкам с надписями, которые помогают быстро найти нужную информацию.

Одним из способов сбора информации являются вырезки из газет и журналов. На каждой вырезке необходимо указать источник (название газеты или журнала, год, номер, дату выпуска), чтобы впоследствии можно было сделать ссылку на использованную публикацию. Для систематизации вырезок можно составить картотеку, список или просто разложить их по тематическим папкам.

Современный период характеризуется появлением огромного количества разнообразнейшей информации в различных областях знаний. Подсчитано, что ежегодно в мире появляется около 2-х миллионов изданий по различным областям науки и техники. Современный исследователь вынужден тратить на поиски необходимой информации до 30 % своего времени, причем следует отметить, что работа с литературой является средством, а не целью в научном исследовании. Производительность труда ученых и инженеров все в большей степени зависит от правильной организации научного труда, от уровня постановки системы научной информации. Общие законы распространения информации изучает возникшая в конце XX века наука – информатика (документалистика), изучающая структуру и свойства научной информации, а также ее теорию, историю, методику и организацию.

Рост числа научных документов практически исключает возможность ознакомления с ними путем непосредственного чтения или хотя бы просмотра. Информационный поиск проводят, используя поисковые образы документов, отражающие их краткое содержание (рефераты, аннотации, библиографические описания, заглавия).

Классификация источников информации

Научно-техническая информация в области эксплуатации автомобильного транспорта чаще всего появляется в виде публикаций в книгах, в научных и производственных журналах («Автотранспорт: эксплуатация, обслуживание, ремонт», «Автотранспортное предприятие», «Автомобильный и городской транспорт» и др.), в виде описаний изобретений (патентов и авторских свидетельств), в виде научных отчетов, диссертаций, материалов конференций и т.д. Такие источники информации принято называть первичными.

Собранная, обработанная и классифицированная первичная информация предлагается читателям в виде обобщающих источников: справочников, монографий, реферативных журналов, обзоров и т.д. Такую литературу принято называть вторичным источником информации.

Дальнейшее обобщение и систематика приводят к появлению третичных источников. Схема научно-технической информации приведена на рис. 1.1.

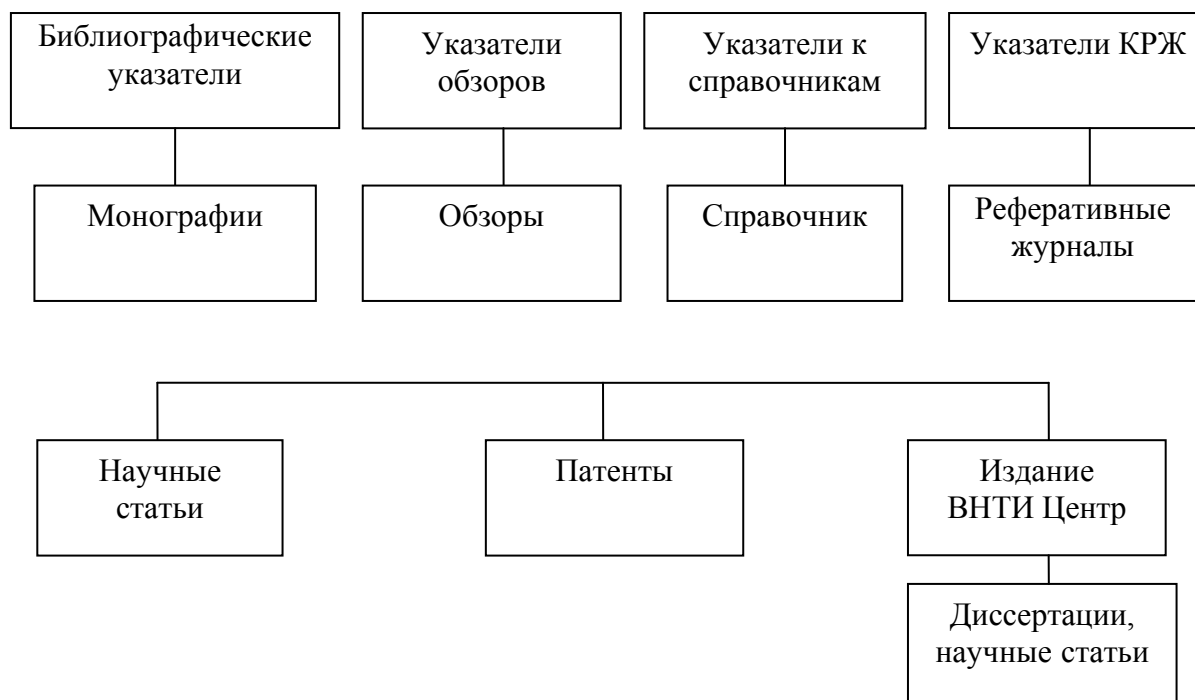


Рис. 1.1. Схема научно-технической информации

При рассмотрении данной системы снизу вверх можно проследить процесс обобщения информации. Поиск необходимой информации должен проводиться в обратном порядке.

Сбор, переработка и распространение научно-технической информации осуществляется всесоюзными центрами, главными из которых являются:

ВНИИТИ – Всероссийский институт научной и технической информации – головной институт системы (<http://www.viniti.ru/>). Освещает мировую и отечественную научно-техническую литературу.

ВНИИЦ – Всероссийский научно-технический информационный центр (<http://www.vntic.org.ru/>). Собирает и обрабатывает материалы по научным исследованиям, опытно-конструкторским работам и диссертациям.

ВНИИПИ – Всероссийский научно-исследовательский институт патентной информации. Накапливает фонды описаний и публикует информацию по советским и зарубежным изобретениям.

Переработанная информация доставляется к потребителю через систему республиканских, территориальных, областных, межотраслевых

центров научно-технической информации – ЦНТИ. Через эту же систему осуществляется и сбор информации.

В службах научно-технической информации нашей страны работает более 100 тыс. человек.

Рациональные приемы работы с литературой

Приступая к работе с литературой, начинающие исследователи должны решить ряд вопросов: как планировать поиск необходимого материала, как фиксировать прочитанный материал, как организовать его хранение и т.д.

При этом следует помнить, что работа с литературой - всего лишь подготовительный этап к основной деятельности и поэтому должен быть закончен как можно скорее.

Литературный поиск

Во-первых, следует отметить, что каждый научный или инженерно-технический работник обязан систематически следить за новейшей литературой по специальности, иначе неизбежна потеря квалификации.

Во-вторых, необходимо указать, что поиск интересующей информации рационально начинать с третичных и вторичных источников, т.е. с реферативных и справочных материалов. Причем лучше это делать в хронологической последовательности, т.е. от истоков до наших дней или, наоборот, начать с последних достижений в этой области, а к ранним работам обратиться только в случае крайней необходимости. Как показывает опыт, второй способ более рационален, т.е. позволяет получить выигрыш во времени с незначительной потерей качества.

Литературный поиск необходимо проводить по определенному плану, который, в общем виде, можно представить так:

1. Общая информация о проблеме с привлечением энциклопедий, справочников, учебников.

2. Использование найденных в пункте 1 ссылок на литературные источники для дальнейшего ознакомления с проблемой.

3. Поиск обзоров и монографий (монография - научный труд, полно и всесторонне исследующий какую-либо проблему).

4. Систематический поиск с помощью указателей реферативных журналов.

5. Ознакомление с рефератами.

6. Ознакомление с первичной информацией.

В зависимости от конкретных условий некоторые пункты данной методики могут отсутствовать. При работе с текущей литературой можно рекомендовать не полный просмотр журнала, а ограничиться чтением заголовков статей или их рефератами, которые помещаются в конце журнала.

Фиксирование прочитанного материала

При работе с научно-технической литературой у исследователя возникает необходимость сохранить впрок интересующие его материалы или сведения. Форма таких записей и техника их использования могут быть самыми разнообразными, наиболее часто используются следующие приемы:

1. Записи в виде дословной выдержки из текста с указанием источника информации.
2. Записи в свободном изложении с точным сохранением содержания источника и авторства.
3. Составление плана или конспекта прочитанного произведения.
4. Дословные записи с собственными комментариями.
5. Записи собственных соображений по прочитанному материалу и т.д.

Подобные записи могут делаться в общих тетрадях, на чистых листах бумаги произвольного формата, перфокартах, библиографических картах и т.д.

Что касается первого способа, то по мере накопления материала он оказывается неперспективным, т.к. невозможно систематизировать материал и затруднителен его поиск.

Наиболее удобным является способ записи на стандартных карточках размером 125×75 мм или 148×105мм. Последний формат более удобен, т.к. позволяет, кроме библиографических сведений, разместить краткую аннотацию или цитату.

Образцы заполнения подобных карточек представлены на рис. 1.2, 1.3.

Ф.И.О. и звание автора (или группы авторов)
Полное наименование произведения
Место издания
Наименование издательства, год издания
Объем в страницах

Рис. 1.2. Образец заполнения библиографической карточки

Поле для классификации	Источник или место издания
Дата прочтения	Ф.И.О. автора, заголовок статьи
Текстовый материал	

Рис. 1.3. Образец заполнения карточки произвольного формата

Учитывая современные требования к форме библиографических ссылок, при заполнении карточек необходимо записать все фамилии и инициалы всех авторов, название работы, название журнала, год издания, том, номер выпуска, страницы (от-до), на которых помещена работа.

Для книг необходимо указать авторов, название, место издания, издательство, год издания, общее число страниц по ГОСТ 7.1–2003.

Примеры оформления библиографических записей

КНИГИ, ОДНОТОМНЫЕ ИЗДАНИЯ

Записи под заголовком, содержащие имя лица

Книги с одним автором:

Кондраков, Н.П. Бухгалтерский учет: учеб. пособие / Н.П. Кондраков. – М. : Инфра-М, 1997. – 560 с.

Никитин, Н. \Н. Курс теоретической механики: учеб. для вузов / Н.Н. Никитин. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003. – 719 с.: ил.

Книги с двумя авторами:

Грачева, Е.Ю. Финансовое право России: учеб. пособие для вузов / Е.Ю. Грачева, Э.Д. Соколова. – М.: Новый юрист, 1997. – 192 с.

Баканов, М.И. Теория экономического анализа: учеб. для вузов / М.И. Баканов, А.Д. Шеремет. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 416 с.: ил.

Книги с тремя авторами:

Ефимова, М.Р. Общая теория статистики: учеб. для вузов / М.Р. Ефимова, Е.В. Петрова, В.Н. Румянцев. – М.: Инфра-М, 1998. – 416 с. – (Высшее образование).

Агафонова, Н.Н. Гражданское право: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Агафонова, Т.В. Богачева, Л.И. Глушкова; под. общ. ред. А.Г. Калпина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юристъ, 2002. – 542 с. – (Institutiones; т. 221).

Книги под заголовком, содержащим наименование организации:

Дальневосточная государственная академия экономики и управления. Оформление дипломных и курсовых работ: метод. указания / сост. Ю.Д. Шмидт, Е.Г. Юрченко; ДВГАЭУ. – Владивосток: ДВГАЭУ, 2003. – 40 с.

Записи под заглавием

Книги под заглавием (книги 4-х и более авторов; книги не имеющие авторов):

Общая теория финансов: учеб. для студентов вузов / Под ред. Л.А. Дробозиной. – М.: Банки и биржи, 1995. – 256 с.

Маркетинг: учеб. для студентов вузов / А.Н. Романов [и др.]. – М.: Банки и биржи, 1996. – 560 с.: ил.

КНИГИ, МНОГОТОМНЫЕ ИЗДАНИЯ

Документ в целом:

Гиппиус, З.Н. Сочинения: в 2 т. / З.Н. Гиппиус. – М.: Лаком-книга, 2001. – 2 т. – (Золотая проза серебряного века).

Отдельный том:

Казьмин, В.Д. Справочник домашнего врача. В 3 ч. Ч. 2. Детские болезни / В.Д. Казьмин. – М.: АСТ, 2002. – 503 с.: ил.

ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Запись под заглавием:

Гражданский процессуальный кодекс РСФСР: [принят третьей сес. Верхов. Совета РСФСР шестого созыва 11 июня 1964 г.]: офиц. текст: по состоянию на 15 нояб. 2001 г. / М-во юстиции Рос. Федерации. – М.: Маркетинг, 2001. – 159 с.

ПРАВИЛА

Правила устройства и безопасной эксплуатации подъемников (вышек) : ПБ 10-256-98 : утв. Ростехнадзором России 24.11.98 : обязат. для всех м-в, ведомств, предприятий и орг., независимо от их орг.-правовой формы и формы собственности, а также для индивидуал. предпринимателей. – СПб.: ДЕАН, 2001. – 110 с.: ил. – (Безопасность труда России).

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Стандарты:

ГОСТ 7.1–2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – Введ. 01.07.2004. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 80 с.: ил.

Система стандартов безопасности труда: [сборник]. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 102 с.: ил. – (Межгосударственные стандарты).

Нормы:

Нормы технологического проектирования угольных и сланцевых шахт. Разд. “Главный участковый водоотлив”: ВНТП 24-81 / Минуглепром СССР. – Введ. 01.01.82 : Взамен разд. 37.00 ОН и НТП изд. 1973 г. – М.: [б. и.], 1981. – 25 с.: ил.

Авторские свидетельства:

А.с. 1007970 СССР, МКИ В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В.С. Ваулин, В.Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25–08; заявл. 23.11.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. – 2 с.: ил.

Патенты:

Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В.И.; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02. Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.: ил.

Промышленные каталоги:

Оборудование классных комнат общеобразовательных школ: каталог / М-во образования РФ, Моск. гос. пед. ун-т. – М.: МГПУ, 2002. – 235 с.

ДЕПОНИРОВАННЫЕ НАУЧНЫЕ РАБОТЫ

Разумовский, В.А. Управление маркетинговыми исследованиями в регионе / В.А. Разумовский, Д.А. Андреев; ин-т экономики города. – М., 2002. – 210 с. – Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.

НЕОПУБЛИКОВАННЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Отчеты о НИР:

Состояние и перспективы развития статистики печати Российской Федерации : отчет о НИР (заключ.): 06-02 / Рос. кн. палата; рук. А.А. Джиго; исполн.: В.П. Смирнова [и др.]. – М., 2000. – 250 с.

Диссертации:

Вишняков, И.В. Модели и методы оценки коммерческих банков в условиях неопределенности: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / И.В. Вишняков. – М., 2002. – 234 с.

СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ДОКУМЕНТОВ
(аналитические библиографические записи)

Описание статьи из периодического издания:

Государственное предпринимательство и артельные традиции в России / В. Холодков // Предпринимательство. – 1997. – №6. – С. 49-52.

Езда по-европейски: система платных дорог в России находится в начал. стадии развития / С. Михайлов // Независимая газета – 2002. – 17 июня. – С. 3.

Описание статьи из сборника:

Комплимент : Коммуникативный статус или стратегия в дискурсе / Г.С. Двинянинова // Социальная власть языка: сб. науч. тр. / Воронеж. межрегион. ин-т обществ. наук, Воронеж. гос. ун-т, фак. романо-герман. истории. – Воронеж, 2001. – С. 101–106.

Описание главы из книги:

Автоматизация выполнения отдельных операций в Word 2000 / Б.Э. Глазырин // Office 2000: 5 кн. в 1: самоучитель / Э.М. Берлинер, И.Б. Глазырина, Б. Э. Глазырин. – 2-е изд., перераб. – М., 2002. – Гл. 14. – С. 281–298.

Описание статьи из обзорной, экспресс-информации, реферативного журнала:

Применение новых ферментных препаратов в хлебопекарном производстве / Р.Д. Поландова, И.В. Матвеева // Хлебопекарная и макаронная промышленность: ОИ. – 1988. – Вып. 7. – С. 1-28.

Производство диетических и специальных изделий за рубежом / Н.А. Чумаченко, З.С. Немцова // Хлебопекарная и макаронная промышленность: ЭИ: Зарубежный опыт. – 1990. – Вып. 3. – С. 11-15.

Борьба с коррупцией / Э. Альт, И. Люк // Социальные и гуманитарные науки: Отечественная и зарубежная литература Сер. 2. Экономика: РЖ / РАН.ИНИОН. – 2000. – №1. – С. 20-22.

Описание рецензий:

Искусство воспитания / И.Н. Иванов // Педагогика. – 1999. – №4. – С. 131-132. – Рец. на кн.: Искусство и воспитание молодого поколения. – М.: Просвещение, 1999. – 174 с.: ил.

Описание законодательных документов:

О рекламе: федеральный закон №108-ФЗ от 18 июля 1995 г. принят Гос. Думой 14 июня 1995 г. // Собрание законодательства РФ. – 1995. – №30.

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ

Художественная энциклопедия зарубежного классического искусства [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан. и прикладная прогр. (546 Мб). – М. : Большая Рос. энцикл. [и др.], 1996. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : зв., цв. + рук. пользователя (1 л.) + открытка (1 л.). – (Интерактивный мир). – Систем. требования: ПК 486 или выше ; 8 Мб ОЗУ ; Windows 3.1 или Windows 95 ; SVGA 32768 и более цв. ; 640x480 ; 4x CD-ROM дисковод ; 16-бит. зв. карта ; мышь. – Загл. с экрана.

Зорин, В. Комплексная переработка сои [Электронный ресурс] : [Информация по Дальнему Востоку] / В. Зорин. – Электрон. дан. – Владивосток : Дальневосточный Центр Экономического Развития, [1999]. – Режим доступа: URL: http://www.partnerregions.org/investment/invest_for/invest_fDV.htm

Зайцева, Т.Г. Аудит импортных операций на примере ООО “Байкальские воды” [Электронный ресурс] : [Журнал «Аудит и финансовый анализ»] / Т.Г. Зайцева, Е.Д. Халевинская. – Электрон. дан. – М.: [б. и.], 2002. – Режим доступа: URL: <http://www.cfin.ru/press/afa/2000-2/01.shtml>

Современные методы поиска информации предлагают использование сети **Internet** (многочисленные компьютерные сети, соединяющие миллионы компьютеров по всему миру) и так называемую Всемирную паутину (WWW).

Для выхода в сеть используются специальные программы **Internet Explorer** (рис. 1.4), **Maxthon Browser** (рис. 1.5) и другие, а для поиска информации – эти же самые программы и, кроме того, специальные поисковые серверы **Yandex**, **Altavista**, **Lycos**, **Yahoo**, **Infoseek**, **Aport**, **Apache**, **Rambler** и др.

Адресная строка (см. рис. 1.4, 1.5) служит для ввода и отображения адреса Web-страницы. Чтобы перейти к какой-либо странице, вам даже не нужно набирать полностью ее номер. Просто начните печатать, а средства автозавершения дополняют предполагаемый адрес, основываясь на адресах посещенных вами ранее узлов.

С помощью адресной строки вы можете искать Web-узлы, просто набрав команды **find**, **go** или **?** и слово, которое вы ищете.

После того, как вы закончили вводить адрес Web или когда средство автозавершения подобрало вам адрес, нажмите клавишу **Enter**.

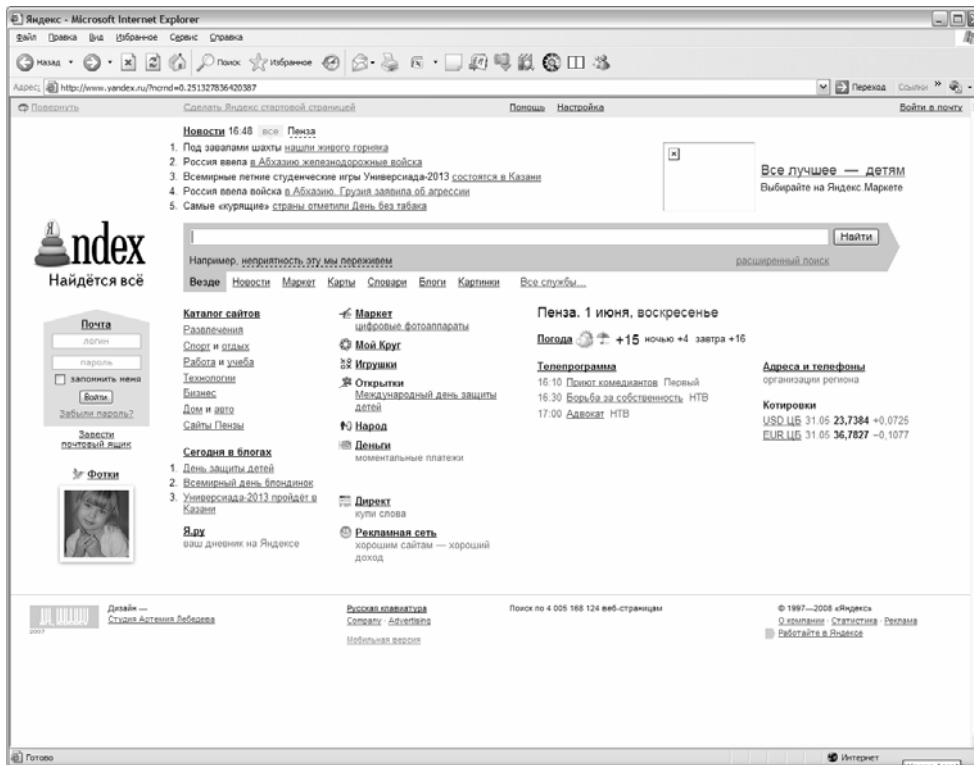


Рис. 1.4. Internet Explorer



Рис. 1.5. Maxthon Browser

Если вы введете неполный адрес и нажмете **Ctrl+Enter**, то обозреватель сети попыбует перейти к точному URL адресу, добавляя, если необходимо, только протокол, например, [http:](http://), и расширение. Например, если вы наберете [mi](http://www.mi.com/) и нажмете **Ctrl+Enter**, то обозреватель сети попыбует открыть Web-узел <http://www.mi.com/>

Вы также можете выключить средство автозавершения.

По мере просмотра Web-страниц вам будет встречаться информация, которую вы захотите сохранить, чтобы в дальнейшем иметь возможность обращаться к ней без подключения к соответствующему узлу. Можно сохранить страницу как полностью, так и частично, – текст, изображения или ссылки.

Сохраненную информацию вы сможете использовать в своих документах, а изображения - в качестве фонового рисунка.

Можно отправлять по электронной почте (E-mail) страницы или ссылки на них другим пользователям, имеющим доступ к Web, а для тех, кто не имеет к ней доступа или компьютера, страницы можно распечатать.

Контрольные вопросы

1. Что такое научное направление?
2. Что такое тема?
3. Что такое проблема?
4. Цель исследований.
5. Задачи исследований.
6. Объект исследований.
7. Предмет исследований.
8. Что такое научная новизна исследований?
9. Что такое практическая ценность исследований?
10. Что такое методика исследований?
11. Что такое метод исследований?
12. Что такое закон исследований?
13. Что такое теоретические исследования?
14. Что такое гипотеза?
15. Что такое анализ?
16. Что такое синтез?
17. Что такое индуктивный метод?
18. Что такое дедуктивный метод?
19. Что называется абстрагированием?
20. Что называется идеализацией?
21. Что такое аналогия?
22. Что такое экстраполяция?
23. Что такое моделирование?
24. Что такое математический анализ?
25. Что такое системный подход?

2. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

2.1. Основные принципы определения формирования и выполнения научных исследований

Перед научными работниками в процессе работы ставятся задачи по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, созданию новейших образцов автотранспортных средств, определению и установлению их оптимальных (рациональных) параметров и режимов работы, повышению производительности труда при снижении энергоемкости их работы, уменьшении потерь и т.п. Для реализации поставленной задачи проводятся соответствующие исследования.

Научное исследование – это изучение закономерностей развития объективного мира и их объяснение, в данном случае – у процессов, происходящих на автотранспортных предприятиях.

Исследование – это творческий процесс, а творчество индивидуально. Поэтому каждая наука отличается своими частными методами. Существует общая схема исследований (рис.2.1), придерживаясь которой исследователь может сэкономить время, силы и средства в процессе проведения исследовательских работ и которая предостережет от ошибок.



Рис.2.1. Общая (примерная) схема исследований

В процессе научных исследований выполняются задачи по решению прикладной научно-исследовательской работы (диссертации) либо разработке в области опытно-конструкторских работ (ОКР). При выполнении научной работы следует определиться с видом данных работ и осуществлять мероприятия в соответствии с их особенностями. Отсутствие определенности в выборе вида научной деятельности может увеличить время выполнения данной работы. Этапы выполнения диссертации и разработки ОКР подробно рассмотрены В.И. Виноградовым и приведены на рис.2.2 и 2.3.

1. Формирование темы исследования (предварительное ознакомление с литературой и классификация основных направлений, оценка актуальности)
2. Формулирование цели и задач исследования (подробное изучение литературы, анализ, сопоставление, критика прорабатываемой информации, обобщение информации и составление главы «Состояние вопроса и уровень его исследования», проблемная ситуация, цели и задачи)
3. Теоретические исследования (изучение физической сущности, формулирование гипотезы, выбор и обоснование математической модели, получение аналитических выражений, теоретический анализ)
4. Экспериментальные исследования (цели, задачи, программа и методика исследования, материальное обеспечение стендами, агрегатами, приборами, проведение экспериментов, обработка результатов наблюдений)
5. Анализ и оформление научных исследований (сопоставление эксперимента с теорией, уточнение теоретических моделей, исследований и выводов, дополнительные эксперименты, превращение гипотезы в теорию, формирование научных и производственных выводов)
6. Внедрение и экономическая оценка эффективности исследований

Рис.2.2. Этапы выполнения прикладной научно-исследовательской работы (диссертации)

1. Формулирование темы, цели и задач исследования (см. рис.1.1, первый и второй этапы)
2. Изучение литературы, подготовка к техническому проектированию (разработка технических условий на проектирование)
3. Техническое проектирование (разработка вариантов, расчеты, рабочие чертежи, изготовление отдельных узлов и блоков, составление технического проекта и его технико-экономического обоснования)
4. Рабочее проектирование (разработка рабочего проекта со всеми деталями)
5. Изготовление опытного образца (опробование, доводка, регулировка, стендовые и производственные испытания)
6. Доработка опытного образца (анализ работы узлов после производственных испытаний, замена отдельных узлов)
7. Государственные испытания

Рис.2.3. Этапы выполнения разработки, или опытно-конструкторской работы

В научно-исследовательской работе различают научные направления, проблемы и темы.

Научное направление – это исследование, в процессе которого решаются крупные задачи в определенной отрасли науки. Составной частью научного направления являются комплексные проблемы, проблемы, темы, вопросы.

Под проблемой понимают сложную научную задачу, которая охватывает значительную область исследования и имеет перспективное значение. Проблема состоит из ряда тем.

Комплексная проблема включает в себя несколько проблем. Полезность исследований в рамках комплексной проблемы или проблемы на первых порах можно определить только ориентировочно.

Тема – это научная задача, охватывающая определенную область научного исследования. Она базируется на отдельных научных вопросах. Под научными вопросами понимают мелкие научные задачи, являющиеся составной частью темы.

Проблема – крупная задача, связанная с открытием или решением комплекса научных задач, ускоряющих технический прогресс. Проблема отличается от простого вопроса тем, что ее нельзя решить путем преобразования имеющейся информации.

Правильная постановка и ясная формулировка новых научных проблем нередко имеют не меньшее значение, чем решение самих проблем. При этом требуется не только увидеть проблемную ситуацию, но и указать возможные способы и средства ее решения.

Возникновение проблемной ситуации в науке свидетельствует либо о противоречии между старыми теориями и вновь обнаруженными фактами, либо о недостаточной корректности и разработанности самой теории, либо о том и другом одновременно.

Проблемная ситуация – это противоречие, возникающее в процессе развития объективного мира, между знанием о потребностях общества в каких-либо практических или теоретических действиях и незнанием путей, средств, методов и способов для их овладения, чему, в свою очередь, препятствует отсутствие знаний законов, которыми приходится оперировать. На основании проблемной ситуации возникает проблема, в которой фиксируется противоречие между знанием о потребности человеческого общества в определенных теоретических и практических действиях и незнанием путей и средств их достижения. Если возникшее противоречие может разрешиться уже известными средствами, то речь идет о практической проблеме. Решение же научной проблемы приводит к получению нового знания.

Узловым пунктом любой проблемы является центральный вопрос, который связан с предложением о возможности открытия новой закономер-

ности (закона) или нового способа практического применения теории и который прямо нацелен на их выявление. Вокруг него группируются вопросы, обеспечивающие исследователя данными, позволяющими разрешить центральную проблему. Формирование основного вопроса, по сути дела, и означает постановку проблемы.

При разработке темы диссертации выдвигается конкретная цель исследования, например разработка методики, позволяющей совершенствовать технологические процессы, агрегаты и машины.

При выборе темы важно отличать реальные научные темы от мнимых, повторяющих уже решенные задачи или не имеющих экономического эффекта. Иногда новизна тем носит не научный, а инженерный характер. При этом получается патент, но не изучается теоретически объект исследования (процесс).

При выборе темы соискатель должен определить ее соответствие выбранной специальности по ее паспорту.

Цель исследований – получение практического результата (значения) для народного хозяйства. Промежуточные этапы – задачи исследования.

Она должна соответствовать наименованию темы диссертационной работы; иметь общую формулировку, направленную на получение положительного эффекта, а также уточнять, за счет чего получается указанный эффект.

Задачи исследований – сводятся, прежде всего, к выявлению наиболее существенных факторов, определяющих поведение объекта, и отысканию связей и зависимостей между данными факторами и внешне наблюдаемыми проявлениями непосредственно или косвенно. При постановке задач указывается перечень конкретных взаимосвязей, которые следует установить, а сущность подлежит раскрытию, и практических выводов, которые должны быть сделаны на их основе. К ним предъявляют требования конкретности; ограниченности количества (для кандидатской диссертации – трех-четырёх задач, для докторской – 6...7); возможности реализации полученных решений.

Объект исследований – технологические или динамические процессы и явления, осуществляемые рабочими органами и изучаемые в работе.

Предмет исследований – закономерности, условия и режимы изучаемых процессов и явлений, например взаимодействие рабочих органов машин со средой.

Также указывается, в какие этапы исследования предполагается сделать основной научный вклад: в постановку проблемы, разработку или развитие познания предмета исследования, методологию решения проблемы, совершенствование технических средств исследования, анализ существующей практики.

Научную новизну могут представлять расчетно-теоретическое обоснование технологических процессов и их рабочих органов; способ или метод выполнения процесса или получения какого-либо результата; математические модели; аналитические зависимости; одно- и много-факторные уравнения; технико-технологические решения.

Практической ценностью работы является технический эффект от использования на производстве полученных результатов исследований. В качестве реализации результатов исследований указывается, где внедрены, используются или приняты к внедрению результаты полученных исследований.

Достоверность результатов работы подтверждается сравнительными исследованиями (испытаниями); протарированной контрольно-измерительной аппаратурой; применением теоретических положений по планированию эксперимента и др.

Научными положениями и результатами могут быть теоретические обоснования рассматриваемого процесса и конструктивно-технологические параметры используемых для его осуществления рабочих органов.

Работа апробируется на научно-технических семинарах и конференциях, выставках, конкурсах и пр.

При осуществлении публикации исследований следует уделить внимание патентам и статьям в центральных журналах, а также написанию печатных работ без соавторов.

В процессе исследований в первую очередь анализируются: известные данные; методы исследования; объекты, использованные при исследовании предмета; история развития предмета исследований, позволяющая проследить существовавшие и существующие тенденции его развития в данной и других отраслях.

Необходимо выявление причин, требующих проведения исследований. Причинами могут быть появление новых объектов для изучения (новых технологий и машин, несовершенство в них отдельных процессов); проводимые ранее исследования выполнены не в полном объеме (упущены отдельные моменты); при ранее проведенном исследовании допущены принципиальные исходные ошибки; противоречия, существующие в различных литературных источниках по результатам исследований, а также между ними и практикой; ошибка в методе исследования (когда метод вносит погрешность в результаты исследований); отсутствие методов решения поставленной задачи; отсутствие в ранних исследованиях требуемой испытательной аппаратуры.

На базе исследований состояния вопроса проводится аналитический обзор литературных источников с указанием недостатков и положительных моментов существующих технологий, способов и устройств для реализации поставленных задач. Перечисляются наиболее известные

ученые, работающие в данной области. По результатам обзора составляется классификация исследуемых объектов. В ней должна просматриваться структура развития объектов и перспективность предлагаемого направления. Ставятся задачи исследований. При обосновании актуальности работы, кроме указания ее места, значения и важности в автотранспортном комплексе, указывается связь выбранного научного направления с планами научно-исследовательской работы научных учреждений, федеральными и региональными программами.

Результатом научной работы является разработка структурной, конструктивно-технологической или иной схемы устройства (способа) для выполнения технологического процесса, позволяющей реализовать поставленную задачу.

Следует не забывать, что основным объектом исследований является не конструкция устройства, а его технологический процесс. Реализация же технологического процесса производится рабочими органами, способными осуществить необходимые мероприятия в заданном порядке.

Дальнейшие исследования технологического процесса и параметров рабочих органов для его выполнения должны определить их конкретные параметры, позволяющие реализовать задачу с надлежащим качеством.

Выявленные в процессе исследований значения параметров должны быть обоснованы теоретически, проверены экспериментально и осуществлена проверка сходимости теоретических и экспериментальных результатов. Желательно, чтобы выбранные параметры были оптимальны (имели наилучшие качественные, количественные и энергетические показатели) либо при отсутствии возможности оптимизации имели рациональные значения. Полученные результаты должны быть подтверждены в процессе производственных испытаний экспериментального образца, выполненного в натуральную величину.

Все это должно быть заложено в методику исследований.

Методика исследований – совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях.

Решается вопрос о теоретическом или экспериментальном направлении исследования. Чаще всего применяют экспериментально–теоретические исследования, хотя иногда и ограничиваются и чисто экспериментальными.

Обосновывают методы исследования, которые будут использованы в теоретической и экспериментальной части для определения закономерностей, существующих в исследуемом процессе.

Метод – совокупность приемов или операций практического и теоретического познания и освоения действительности, подчиненных решению конкретной задачи.

Закон – с позиции материалистической диалектики – связь, существенная, устойчивая, общая, необходимая и повторяющаяся. В конкретных науках познаются не наиболее общие законы, а законы частные и отдельные закономерности, к которым чаще и сводится их изучение при производстве и эксплуатации автомобилей.

Проводится проверка соответствия методики поставленным задачам (с позиции их решения): соответствие современному уровню науки и техники; простота, ясность и доступность понимания и использования; возможность использования в конкретных условиях и отводимом интервале времени и средств.

В конце каждого проделанного этапа работы исследователем делаются выводы и даются рекомендации по результатам проведенных исследований и выполненному анализу полученных данных. Выводы отличаются тем, что в них указываются новые данные по рассматриваемой теме, побочным вопросам и практическая направленность; тщательностью и конкретностью, краткостью формулировки, без перегруженности указаниями причин и следствий, чрезмерным количеством цифрового материала; немногочисленностью.

Выводы – краткое изложение полученных результатов. В них даются *ответы* на поставленные задачи, а также на наиболее важные дополнительно поставленные вопросы; конкретные *результаты* (с указанием цифровых значений), которые могут быть использованы на практике, а также показатели технико-экономической эффективности; *данные* о месте, объеме и эффективности внедренных результатов; указания о дальнейших направлениях исследований и ожидаемых результатах. Количество выводов, как правило, соответствует числу поставленных задач, а каждый вывод отвечает на поставленную в работе задачу.

2.2. Понятие о теоретических исследованиях

Целью теоретических исследований является получение общих зависимостей и закономерностей, характерных для какого-то типа явлений, а также обобщение результатов экспериментальных данных и получение зависимостей, соответствующих конкретному процессу.

Теоретическое исследование опытных данных реализует ряд задач: обобщение результатов исследований и нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных; распространение результатов исследования на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований; изучение объекта, который недоступен для непосредственного исследования, используя макетирование и т.п.; повышение надежности экспериментального исследования объекта. Данные вопросы рассматриваются при составлении методики экспериментальных исследований и при обработке опытных данных.

В разделе теоретических исследований основной задачей является описание аналитическими зависимостями изучаемого процесса или явления. Как правило, исследователь стремится получить математическую модель. Для этого используются положения, известные из фундаментальных и прикладных наук: теоретической механики, теплотехники, гидравлики, математики и др. То есть, пытаются свести (решить) поставленную задачу к более общей, изученной в фундаментальных или общих науках. Это дает возможность воспользоваться механико-математическим аппаратом этих наук.

В том случае, когда рассматриваемый процесс в общем виде уже был описан ранее, осуществляются введение и (или) уточнение численных или функциональных значений используемых коэффициентов, указывается влияние конкретных геометрических и кинематических параметров рабочих органов устройства на технологический процесс.

Теоретические исследования не только подтверждаются экспериментом и утверждаются им, но и направляют эксперимент по правильному пути, позволяя выбрать наиболее существенные факторы.

Теоретические исследования – это исследования, основанные на аксиомах, законах, постулатах и теоремах, то есть на тех логических построениях, которые явились результатом обобщения многовекового опыта. В процессе исследований осуществляется разработка гипотезы, доведение ее до предполагаемых зависимостей и, наконец, до математической модели. Ценностью данных исследований является резкое сокращение затрат времени и средств на их проведение.

Теоретические разработки не всегда выступают только в формульном (аналитическом) виде, но и как логические рассуждения, которые предполагают абстрагирование, идеализацию явления, выделение и рассмотрение главных факторов и взаимосвязей, выявление главных закономерностей и пренебрежение второстепенными.

Следует не забывать, что теоретические исследования являются не самоцелью, а служат для объяснения существующих реалий с целью сокращения времени и средств для поиска требуемых данных при реализации конкретной задачи. Они являются частью процесса познания (рис.2.4), и при их разработке проходят ряд этапов. На основании наблюдений за явлениями выдвигается предположение (гипотеза), которое должно подтвердиться экспериментом. Нередко в процессе исследований одни гипотезы отвергаются, а другие выдвигаются. В процессе сопоставления фактов со следствием, вытекающим из гипотезы, имея большую (достаточную) сходимость, она превращается в теорию.

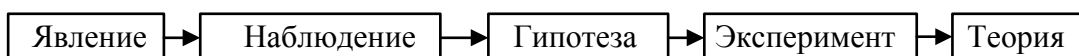


Рис.2.4. Схема выработки теории явления

В процессе последующих наблюдений выявляются новые факты и явления, не укладывающиеся в представление данной теории. Это заставляет выдвигать новые гипотезы и осуществлять их подтверждение.

Гипотеза – научное предположение о сущности явления, внешне проявляемой определенным образом, и о виде количественной связи между изучаемыми объектами, между параметрами и характеристиками. По другому – это научное предположение о том, что происходит за пределами опыта.

Гипотезы должны быть согласованы со всем накопленным опытом, с известными законами природы и установившимися теориями, могли бы экспериментально подтвердиться, объяснять круг явлений действительности, иметь небольшое количество исходных допущений. Гипотеза должна быть логична.

Получили развитие следующие универсальные для технических наук методы исследования.

Анализ – объект исследования мысленно расчленяется исследователем на более мелкие подобъекты или выделяются характерные свойства и качества объекта для их детального изучения. Позволяет выделить главные звенья любого объекта и исследовать основные связи для изучения сути происходящего.

Синтез – рассмотрение объекта познания как единого целого или присущих ему свойств. Используется во взаимодействии с анализом.

Индуктивный метод познания – по результатам единичных наблюдений делаются общие выводы, по которым судят о связях и свойствах неизвестных объектов.

Дедуктивный метод – вывод частных положений из общих правил, законов, суждений.

Абстрагирование – мысленное выделение, вычленение наиболее существенных свойств, отношений и отвлечение от других, несущественных. При абстрагировании не познается предмет как таковой, познаются отдельные стороны многих предметов, что позволяет подняться до обобщения, до теории.

Идеализация – мысленное создание абстрактных объектов, обладающих предельными свойствами реального объекта. Это одна из форм абстракции, но по сравнению с ней еще больше упрощает, схематизирует действительность.

Аналогия (подобие) – это сходство по какому-то признаку в целом различных объектов. Позволяет сделать вывод о сходстве свойств еще не изученных объектов.

Экстраполяция – распространение полученного теоретического положения на неисследованные, но аналогичные явления и процессы.

Моделирование – изучение свойств объекта на его модели, а не на нем непосредственно. Его целью является определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе (например, математической) модели и перенос результата на объект.

Физическое моделирование (рис.2.5) проводится на специальных установках, сохраняющих основную природу явлений, но воспроизводящих их количественно иначе.



Рис.2.5. Структура теории физического моделирования

Физической моделью считается установка, в которой осуществлено полное или неполное моделирование процесса и соответственно его подобие, благодаря чему по характеристикам модели можно получить все основные существенные характеристики оригинала путем простого умножения на масштабные коэффициенты. Оно может быть трех видов: временное, пространственно-временное и пространственное.

Математическая модель – приближенное описание какого-либо явления или процесса внешнего мира, выраженное с помощью математической символики (бывают модели: аналоговая, структурная, цифровая, функциональная).

Математические модели должны достаточно точно описывать объект и объяснять уже известные факты; предсказывать новые явления и их развитие; быть доступными для понимания, иметь небольшое число допущений, ограничений и оговорок.

Математическое моделирование включает три этапа:

- 1) составление математического описания изучаемого объекта;
- 2) выбор метода решения системы уравнений математического описания процесса и реализация его в форме моделирующей программы;
- 3) установление соответствия (адекватности) модели объекту.

Другими словами, в процессе работы исследователь формирует задачу, решаемую теоретически; определяет класс задач и общий метод их решения; овладевает методом и решает задачу.

Существует два подхода к составлению математической модели: познавательный (выясняется сущность явления) и описательный (определение количественных показателей), для чего используются как статистические, так и динамические подходы.

В динамических моделях используется аппарат дифференциальных вычислений для определения значений аргументов. В статистических моделях определяются вероятностные характеристики события.

При теоретических исследованиях используют теорию размерностей, планирование многофакторных экспериментов, системный анализ и др.

Математический анализ – метод изучения сложных систем, включающих совокупность процессов и явлений различной физической, химической и биохимической природы.

Системный подход – это совокупность методов и приемов исследований объектов как систем, т.е. целостных множеств взаимосвязанных элементов. Если внутренние и внешние возмущения и реакция системы носят случайный характер, т.е. являются непредсказуемыми, то система называется стохастической. Если же внутренние и внешние возмущения носят закономерный характер, то система называется детерминированной.

Данный подход чаще используется при проведении экспериментальных исследований, когда рассматриваемый процесс изучается как система (рис.2.6), на которую осуществляет воздействие внешняя среда в виде показателей X_1, X_2, \dots, X_n , изменяемых по заданному закону либо случайно. В результате наблюдается реакция системы в виде реализации процессов или получения значений параметров Y_1, Y_2, \dots, Y_n . Используя значения входящих и выходящих параметров, определяются выражения статистических зависимостей S_1, S_2, \dots, S_n , используемые затем в практических или теоретических целях. При проведении таких исследований не всегда известно внутреннее устройство системы, и она может выступать в роли «черного ящика».

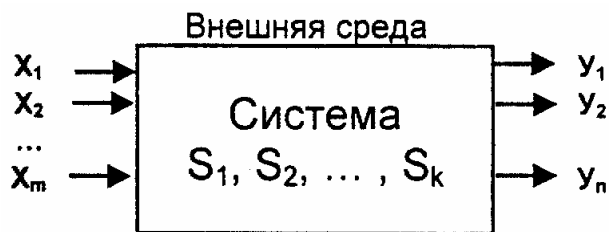


Рис.2.6. Схема взаимодействия исследуемого процесса (системы) и внешней среды

Транспортные системы преимущественно являются статическими и, в частности, – стохастическими, переменные которых случайно изменяются во времени. Особенностью сельскохозяйственного производства является наличие совокупности стохастической и детерминированных систем. Среди них большой удельный вес составляют детерминированно-вероятностные и взаимно-детерминированные системы. Сами же технические средства производства с достаточной для практических целей точностью могут приниматься в качестве детерминированных систем, а процессы их

функционирования – в качестве стохастических, что необходимо учитывать при решении задач анализа и синтеза их параметров.

В процессе решения конкретной задачи исследователь неизбежно сталкивается с рядом сложностей, которые выдвигает перед ним выбор использования тех или иных способов решения поставленной задачи.

Пример 1

Определение достоверности расчетных значений математической модели (листинг программы для Mathcad)

Количество данных в векторе, шт. $N := 9$ $i := 1..N$
 Числовые значения, полученные теоретическим и экспериментальным путем, соответствующие друг другу:

$x_{T1} := 2.228$ $x_{T2} := 2.254$ $x_{T3} := 2.22$ $x_{T4} := 2.216$ $x_{T5} := 2.206$
 $x_{T6} := 2.194$ $x_{T7} := 2.187$ $x_{T8} := 2.186$ $x_{T9} := 2.176$
 $x_{O1} := 2.48$ $x_{O2} := 2.42$ $x_{O3} := 2.36$ $x_{O4} := 2.32$ $x_{O5} := 2.26$
 $x_{O6} := 2.17$ $x_{O7} := 2.10$ $x_{O8} := 2.0$ $x_{O9} := 2.0$

Векторы (или матрицы) одинакового размера с выборками данных (теоретические и опытные):

$$x_T := (x_{T1} \ x_{T2} \ x_{T3} \ x_{T4} \ x_{T5} \ x_{T6} \ x_{T7} \ x_{T8} \ x_{T9})$$

$$x_O := (x_{O1} \ x_{O2} \ x_{O3} \ x_{O4} \ x_{O5} \ x_{O6} \ x_{O7} \ x_{O8} \ x_{O9})$$

Медиана: $Mo1 := \text{median}(x_T)$ $Mo1 = 2.206$ $Mo2 := \text{median}(x_O)$ $Mo2 = 2.26$

Выборочное среднее значение: $m1 := \text{mean}(x_T)$ $m2 := \text{mean}(x_O)$
 $m1 = 2.207$ $m2 = 2.234$

Выборочная дисперсия: $\text{var}(x_T) = 0.001$ $\text{var}(x_O) = 0.028$

Среднеквадратичное (стандартное) отклонение:

$$\sigma1 := \text{stdev}(x_T) \quad \sigma2 := \text{stdev}(x_O) \quad \sigma1 = 0.023 \quad \sigma2 = 0.167$$

Выборочная дисперсия и среднеквадратичное отклонение в другой нормировке:

$$\text{Var}(x_T) = 0.001 \quad \text{Var}(x_O) = 0.031$$

$$\text{Stdev}(x_T) = 0.025 \quad \text{Stdev}(x_O) = 0.177$$

Коэффициент ковариации: $\text{cvar}(x_T, x_O) = 0.00355$

Коэффициент корреляции: $\frac{\text{cvar}(x_T, x_O)}{\sigma1 \cdot \sigma2} = 0.915$ $r := \text{corr}(x_T, x_O)$ $r = 0.915$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Критерий χ^2 (оценки распределений): $\chi^2 := \sum_i \frac{(x_{T_i} - x_{O_i})^2}{x_{T_i}}$ $\chi^2 = 0.09$

Критическое значение χ^2 -критерия Пирсона, соответствующее уровню значимости ошибки $\alpha = 0.05$ и числу степеней свободы $N - 1 = 8$

$$\chi^2_T := \text{qchisq}\left(\frac{\alpha}{2}, N - 1\right) \quad \chi^2_T = 2.18 \quad |\chi^2| < \chi^2_T = 1$$

Так как χ^2 меньше табличного значения (неравенство равно единице), поэтому различия между сравниваемыми распределениями не существенны, а отклонения носят случайный характер.

2.3. Основные положения по проведению экспериментальных исследований

Эксперимент – научно обоснованный опыт. При этом обосновывают его постановку, программу, план и методику с позиций решения задач исследования, теории, а также соответствия определенным требованиям: воспроизводимости (возможность повторения), наличия контроля за его проведением и достоверностью результатов.

Для получения надежных, достоверных и точных результатов исследований выполняются следующие требования: детально изучить физическую природу исследуемого объекта, явления или процесса; установить доминирующие факторы и параметры объекта, обуславливающие протекание явлений или процессов и причинно-следственную связь между ними; выявить качественные и количественные показатели, по которым планируется оценивать характер функционирования исследуемого объекта (количественные, качественные и энергетические); определить измеряемые величины, их размерности и способы измерения во время проведения опытов; подобрать или разработать новую измерительную аппаратуру с датчиками для фиксации во время опытов величин, разработать методику их тарирования, установки и регистрации измеряемых показателей; подготовить методику обработки первичной документации. При планировании эксперимента определяется число и условия проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с заданной точностью.

В процессе эксперимента производится отделение существенных факторов от несущественных (факторный эксперимент); проверка гипотез и теорий; поиск данных для построения гипотез или уточнения догадок (поисковый эксперимент); установление количественных соотношений между факторами, определяющими явление.

В ходе обработки опытных данных исключают промахи, определяют средние значения, дисперсии, коэффициенты вариации и другие характеристики измеренных величин; устанавливают вид зависимостей и определяют коэффициенты в них, находят оптимальные значения.

Для рациональной организации работ составляются программа и методика исследований. Программа отвечает на вопросы: что исследуется, что должно быть достигнуто, в какие сроки и кем. Методика экспериментальных исследований должна разъяснять: как, какими средствами, приемами и способами проводится изучение объекта исследования.

В программе и методике исследований отражается потребность в оборудовании, приборах, инструменте и материалах. В них включаются разделы: общие сведения по теме; обоснование темы; программа работ; общая и частные методики исследований; структура отчета по теме; календарный план работ; приложения.

2.3.1. Ошибки измерений. Обработка опытных данных

Перед проведением экспериментальных работ исследователь должен определиться с основными показателями и характеристиками, снимаемыми в опытах, методиками их замера. Для получения цифровых значений параметров производятся их замеры. При этом значение параметра, как правило, точно не известно и может быть различным (то есть случайным).

Различают дискретные и непрерывные случайные величины. Дискретные величины могут принимать множество значений, которые могут быть занумерованы (например целочисленные величины, количество отказов и т.п.). Непрерывные величины могут принимать бесконечное несчетное множество значений в заданных интервалах (например, время безотказной работы машины).

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Как правило, используются размерности измерений, принятые в системе СИ.

Точность измерения – степень соответствия результата измерения действительному значению измеряемой величины. Оценивается ошибкой (погрешностью) измерения и его надежностью.

Ошибка измерения есть разность между результатом измерения и действительным значением измеряемой величины.

Надежность измерения – вероятность того, что действительное значение измеряемой величины отличается от результата не более, чем на значение указанной ошибки.

Измерения используются как *прямые* (непосредственно сам параметр) и *косвенные* (в результате пересчета значений, см. пример 2), *совокупные* (результат находят путем решения системы выражений, полученных по результатам прямых измерений) и *совместные* (прямые или косвенные измерения одновременно нескольких неоднородных величин для нахождения их функциональной зависимости между собой). В большинстве случаев более точны прямые измерения. Замеры также бывают *разовые* (когда параметр практически не меняется в течение опыта) и *многократные* (для изменяющихся величин).

Средства измерения разделяются на электрические (вольтметры, амперметры и др.); механические (динамометры, микрометры и др.); гидравлические и пневматические (манометры и др.); акустические (шумомеры и др.); специальные (гальванометры и др.) и комбинированные (большинство современных приборов).

К показателям измерительных приборов относятся диапазон измерений, порог чувствительности, цена деления шкалы, погрешности (ошибки), потребляемая мощность.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, ограниченная пределами измерений на шкале прибора (от минимума до максимума).

Пример 2

Определение коэффициента вариации (листинг программы для Mathcad)

Количество замеров, 15..20:

$$k := 17 \quad j := 1..k$$

Результаты замеров, г:

$$\begin{aligned} y_1 &:= 102.50 & y_2 &:= 101.15 & y_3 &:= 99.15 & y_4 &:= 98.40 & y_5 &:= 101.50 & y_6 &:= 100.80 \\ y_7 &:= 108.05 & y_8 &:= 99.45 & y_9 &:= 101.20 & y_{10} &:= 100.55 & y_{11} &:= 100.40 & y_{12} &:= 100.45 \\ y_{13} &:= 100.50 & y_{14} &:= 101.40 & y_{15} &:= 103.40 & y_{16} &:= 100.45 & y_{17} &:= 100.35 \end{aligned}$$

Результаты замеров, г:

$$\begin{aligned} x_1 &:= 1.20 & x_2 &:= 1.25 & x_3 &:= 1.25 & x_4 &:= 1.25 & x_5 &:= 1.35 & x_6 &:= 1.15 \\ x_7 &:= 1.15 & x_8 &:= 1.20 & x_9 &:= 1.25 & x_{10} &:= 1.3 & x_{11} &:= 1.25 & x_{12} &:= 1.35 \\ x_{13} &:= 1.25 & x_{14} &:= 1.25 & x_{15} &:= 1.25 & x_{16} &:= 1.25 & x_{17} &:= 1.25 \end{aligned}$$

Фактическая доля контрольного компонента, %: $X_{ij} := \frac{x_j \cdot 100}{y_j}$

Доля контрольного компонента, %:

$$P := \frac{100 \cdot M_{K_K}}{M_{K_K} + M_{K_Y}} \quad P = 1.235$$

где M_{K_K} , M_{K_Y} – масса контрольного и условного (сумма ингредиентов кроме контрольного) компонентов, кг:

$$M_{K_K} \equiv 1.5, \quad M_{K_Y} \equiv 120.$$

Выборочное среднее значение доли контрольного компонента:

$$X_{i_{cp}} := \frac{\sum_j X_{ij}}{k} \quad X_{i_{cp}} = 1.234$$

Среднеквадратичное (опытное) отклонение результата измерений:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{(k-1)} \cdot \sum_{j=1}^k (X_{ij} - X_{i_{cp}})^2} \quad S_x = 0.066$$

$X_i =$

0
1.17
1.24
1.26
1.27
1.33
1.14
1.06
1.21
1.24
1.29
1.25
1.34
1.24
1.23
1.21

Среднеквадратичное (теоретическое) отклонение результата измерений:

$$\sigma_x := \sqrt{\frac{1}{(k-1)} \cdot \sum_{j=1}^k (X_{ij} - P)^2} \quad \sigma_x = 0.066$$

Неоднородность (коэффициент вариации), %: $v := 100 \cdot \frac{S_x}{X_{i_{cp}}}$ $v = 5.366$

Скорректированное значение: $v' := v \cdot \sqrt{X_{i_{cp}}}$ $v' = 5.961$

Однородность, %: $\Theta := 100 \cdot \frac{S_x}{\sigma_x}$ $\Theta = 99.99$

Порог чувствительности (S) – наименьшее изменение входной величины, способное вызвать заметное изменение показания прибора.

Цена деления шкалы (Π) – наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть измерено данным измерительным прибором с погрешностью, указанной на шкале прибора (интервал изменения показателя между делениями).

При замерах неизбежно наличие **погрешностей (ошибок)**.

Погрешность измерения – суммарная погрешность, в которую входят погрешность установки при измерении, погрешность настройки, температурная погрешность и многие другие.

Погрешности бывают абсолютные, относительные и приведенные.

Абсолютная погрешность имеет размерность измеряемой величины. *Относительная* погрешность обычно выражается в процентах от значения измеряемой величины. *Приведенная* погрешность выражается в процентах от максимального значения измеряемой величины, а для прибора – от диапазона измерения прибора.

В паспорте измерительного прибора приводится значение приведенной погрешности, выраженное в процентах. Это значение округляется до одного из чисел: 4,0; 2,5; 1,5; 1,0; 0,5; 0,25; 0,1; 0,05 (%), которое называют классом точности. Все измерительные приборы подлежат обязательной поверке.

По закономерности появления ошибки бывают систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности вызываются факторами, действующими одинаковым образом при многократных повторениях одних и тех же измерений. Например, систематическая погрешность прибора, вызвана погрешностью градуировки шкалы. *Случайная погрешность* вызывается факторами, действие которых непостоянно при многократных измерениях физической величины, и проявляется в различии получаемых результатов измерений. Возникают в результате погрешности отсчета по шкале, температурных погрешностей, колебания измерительного усилия. *Грубая погрешность (промах)* чаще всего однократная, искажает явление, её исключают, но при достаточном обосновании. Чаще всего вызываются

резкими колебаниями внешних условий (температуры, освещения, внешними толчками и др.), личными ошибками контролера вследствие небрежности или усталости.

Систематические ошибки подразделяются на группы: инструментальные (например, из-за наличия дополнительного трения в сочленениях приборов, из-за неправильной установки приборов), погрешности вследствие внешних влияний; погрешности метода измерения (теоретические погрешности, использование недостаточно точных приборов), субъективные погрешности (погрешности градуирования приборов, а также неисправностей, износа средств измерения). Их исключают профилактикой (регулировка и т.п.), исключением в процессе измерения (замещение, компенсация по знаку, симметричными наблюдениями), внесением поправок в результат, оцениванием границ систематических погрешностей, когда их нельзя исключить.

Случайные ошибки наблюдений устраняются путем увеличения числа опытов (измерений), а расчеты проводятся по средним значениям.

Промахи или грубые ошибки существенно превышают систематические и случайные ошибки и не используются. Они, как правило, возникают вследствие ошибок экспериментатора.

По надежности измерения погрешности (ошибки) также различаются.

Среднеквадратическая (стандартная) ошибка σ_x и вероятная ошибка ρ_x – надежность измерений с такими ошибками общеизвестна и равна соответственно 0,68 и 0,5.

Предельная ошибка $\Delta_{x\text{lim}}$ – наибольшая случайная ошибка при правильном пользовании исправным прибором и устранении систематических ошибок. В большинстве случаев соответствует надежности 0,997. При этом вероятность того, что действительное значение измеряемой величины лежит за пределами $x_{\text{пр}} \pm \Delta_{x\text{lim}}$, практически равна нулю.

Как правило, при исследованиях определение показателей с ошибкой до 5 % во многих случаях вполне приемлемо (пример 3).

Значения некоего показателя, полученные в результате замеров, будут не одинаковы, а различны. Распределение величин показателя подчиняется какому-либо закону, и располагаются они вокруг среднего значения данного показателя \bar{X} (рис.2.7). Наиболее часто появляются значения возле среднего значения (поэтому наблюдается большое значение плотности вероятности).

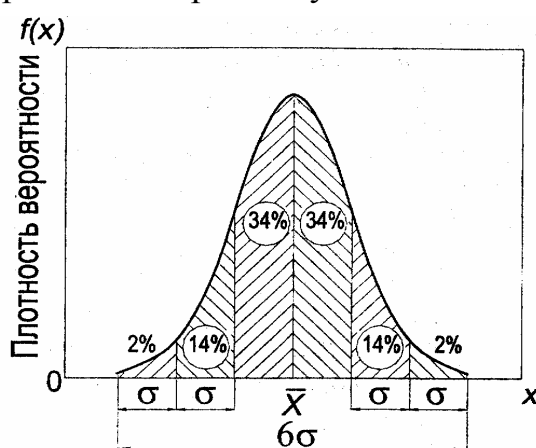


Рис. 2.7. Значения вероятностей для нормального закона распределения по диапазонам стандартных отклонений σ

При увеличении отклонения от среднего значения показателя вероятность его появления уменьшается.

Если требуются наиболее жесткие рамки изменения значений (малый интервал изменения значений), то вероятность попадания результатов замера в указанный интервал ниже, чем при широком интервале изменения значений.

Пример 3

Расчет погрешности показателей работы элемента автомобиля (листинг программы для Mathcad)

Количество замеров: $k := 12$ $i := 1..k$

Результаты замеров, кг/м:

$x_1 := 20$ $x_2 := 19.1$ $x_3 := 19.1$ $x_4 := 18.4$ $x_5 := 19.5$ $x_6 := 18.8$

$x_7 := 18.0$ $x_8 := 19.4$ $x_9 := 21.2$ $x_{10} := 20.5$ $x_{11} := 19.4$ $x_{12} := 19.4$

Выборочное среднее значение: $x_{cp} := \frac{\sum_i x_i}{k}$ $x_{cp} = 19.4$

Среднеквадратичное (стандартное) отклонение результата измерений:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{k \cdot (k - 1)} \cdot \sum_{i=1}^k (x_i - x_{cp})^2} \quad S_x = 0.251$$

Абсолютная погрешность прибора, кг: $\Delta a := \frac{\Delta}{2}$ $\Delta a = 0.05$

где Δ – цена деления прибора (точность замера), кг: $\Delta \equiv 0.1$

Количество повторностей замеров: $K := 3$

Среднеквадратичное отклонение погрешности прибора, кг:

$$S_a := \frac{\Delta a}{\sqrt{K}} \quad S_a = 0.029$$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Количество степеней свободы: $k - 1 = 11$

Квантиль распределения Стьюдента: $T := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, k - 1\right)$ $T = 2.201$

Значение t-критерия: $t_{\epsilon} := \frac{T \cdot S_x + \Delta a}{S_x + S_a}$ $t_{\epsilon} = 2.153$

Среднеквадратичное отклонение, кг: $S_{\epsilon x} := \sqrt{S_x^2 - S_a^2}$ $S_{\epsilon x} = 0.249$

Абсолютная погрешность измерений, кг: $\Delta x := t_{\epsilon} \cdot S_{\epsilon x}$ $\Delta x = 0.537$

Относительная погрешность измерений, %: $\delta := \frac{100 \cdot \Delta x}{x_{cp}}$ $\delta = 2.767$

Срединная ошибка, кг:	$m := \frac{S\epsilon x}{\sqrt{k}}$	$m = 0.072$
Относительная срединная ошибка, %:	$\alpha o := 100 \cdot \frac{m}{x_{cp}}$	$\alpha o = 0.371$
Коэффициент вариации, %:	$v := 100 \cdot \frac{S\epsilon x}{x_{cp}}$	$v = 1.286$
Минимальное количество замеров, шт.:	$N_{min} := \left(\frac{v}{\alpha o} \right)^2$	$N_{min} = 12$

Для измерений, связанных с конструкциями машин, достаточна $\gamma=0,9$. Для определения деталей закономерностей и значений величин, являющихся основой для дальнейшего расчета, необходима $\gamma=0,99$. При этом вероятность α , при которой данное событие можно считать практически невозможным, называется *уровнем значимости ошибки*, а вероятность γ , при которой событие можно считать практически достоверным, называется *доверительной вероятностью*.

Практически при решении технических задач общего характера, где последствия наступления невозможных событий не связаны с большими авариями и тяжелыми потерями, принимается $\alpha=0,1; 0,05$ и $0,01$ (аналогично $\gamma=0,9; 0,95$ и $0,99$).

Поэтому для уменьшения случайной ошибки увеличивается количество повторных измерений (табл.2.1).

Т а б л и ц а 2 . 1

Необходимое количество измерений (опытов) (по В.И.Романовскому)

Ошибка, по количеству σ	Надежность опыта, Н				
	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99
3,0	1	1	2	3	4
2,0	1	1	3	4	5
1,0	2	3	5	7	11
0,5	3	6	13	18	31
0,4	4	8	19	27	46
0,3	6	13	32	46	78
0,2	13	29	70	99	171
0,1	47	169	273	387	668
0,05	183	431	1084	1540	2659

Для обеспечения измерения с надлежащей точностью потребуется использовать прибор, обеспечивающий данную точность, и проводить неоднократные замеры. Для поддержания заданной точности измерения при использовании прибора с меньшей точностью придется увеличивать количество измерений для уменьшения доли ошибки измерения.

При выполнении замеров на автомобильном транспорте проводимые опыты трехкратно повторяются (пример 4).

Пример 4

Обработка результатов измерений диаметра детали при малом числе наблюдений (листинг программы для Mathcad)

Количество замеров в каждой плоскости сечения детали: $k_1 := 3$ $k_2 := 3$

Результаты измерений размеров в двух плоскостях в порядке возрастания их значений (большая дисперсия во второй строке), мм:

$$x_1 := 10.20 \quad x_2 := 10.25 \quad x_3 := 10.30 \quad i := 1..k_1$$

$$y_1 := 10.05 \quad y_2 := 10.15 \quad y_3 := 10.20 \quad j := 1..k_2$$

Если все значения равны, или из трех значений нет двух равных, то этого количества измерений достаточно при условии, что отношение разностей менее десяти:

$$\frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1} = 2 \quad \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} = 1.5$$

В противном случае требуется дополнительный замер.

Среднее арифметическое значение наблюдений, мм:

$$x_{cp} := \frac{\sum_i x_i}{k_1} \quad x_{cp} = 10.25 \quad y_{cp} := \frac{\sum_j y_j}{k_2} \quad y_{cp} = 10.133$$

Ошибка отдельного наблюдения, мм:

$$\varepsilon_{x_i} := |x_i - x_{cp}| \quad \varepsilon_{y_i} := |y_i - y_{cp}|$$

$$\varepsilon_{x_i} = \quad \varepsilon_{y_i} =$$

0.05	0.083
0	0.017
0.05	0.067

Среднеквадратическое отклонение результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{\sum_i (\varepsilon_{x_i})^2}{k_1 - 1}} \quad S_y := \sqrt{\frac{\sum_j (\varepsilon_{y_j})^2}{k_2 - 1}} \quad S_x = 0.05 \quad S_y = 0.076$$

Допустимая ошибка наблюдений, мм:

$$\varepsilon_x := \beta \cdot S_x \quad \varepsilon_x = 0.058 \quad \varepsilon_y := \beta \cdot S_y \quad \varepsilon_y = 0.089$$

где β – критерий анормальности. При трех наблюдениях $\beta=1,15$; при четырех наблюдениях – 1,42 и доверительной вероятности $\gamma=0,9$, и 1,46 при доверительной вероятности $\gamma=0,95$ $\beta=1,15$.

Если значения ошибки отдельного наблюдения ε_{x_i} (или ε_{y_j}) больше допустимой ошибки наблюдений ε_x (или ε_y), то при наличии таких наблюдений они исключаются, а обработка замеров повторяется.

$$\varepsilon_{x_i} < \varepsilon_x \quad \varepsilon_{y_j} < \varepsilon_y$$

1	1
1	1
1	1

Так как значения равны единице, то условие выполняется и исключать отдельные замеры (и соответственно повторять обработку) не требуется.

Ошибка среднего арифметического:

$$S_{o_x} := \frac{S_x}{\sqrt{k_1}} \quad S_{o_y} := \frac{S_y}{\sqrt{k_2}} \quad S_{o_x} = 0.029 \quad S_{o_y} = 0.044$$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Число степеней свободы: $v1 := k1 - 1$ $v1 = 2$ $v2 := k2 - 1$ $v2 = 2$

Квантиль распределения Стьюдента $T1 := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, v1\right)$ $T1 = 4.303$

$T2 := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, v2\right)$ $T2 = 4.303$

Границы доверительного интервала, мм:

$X1 := x_{cp} + T1 \cdot So_x$ $Y1 := y_{cp} + T2 \cdot So_y$ $X1 = 10.374$ $Y1 = 10.323$

$X2 := x_{cp} - T1 \cdot So_x$ $Y2 := y_{cp} - T2 \cdot So_y$ $X2 = 10.126$ $Y2 = 9.944$

F-критерий Фишера: $S_0 := Sy^2$ $S_1 := Sx^2$ $F = 2.333$

Критическое значение F-критерия: $F_{kp} := qF(1 - \alpha, v1, v2)$ $F_{kp} = 19$
 $|F| < F_{kp} = 1$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть, мы должны сделать вывод о равнозначности или равнорассеянности дисперсий (различия представленных выборок незначимы).

Среднее значение результата для равнорассеянных и неравнорассеянных групп, мм:

$z1 := \frac{x_{cp} + y_{cp}}{2}$ $z1 = 10.192$ $z2 := \frac{x_{cp} \cdot Sx^2 + y_{cp} \cdot Sy^2}{Sx^2 + Sy^2}$ $z2 = 10.168$

$z := z1$ $z = 10.192$

Среднее квадратическое отклонение для двух групп, мм:

При $k1=k2$ $S1 := \sqrt{Sy^2 + Sx^2}$ $S1 = 0.091$

При $k1 \neq k2$: $S2 := \sqrt{\frac{(k1 - 1) \cdot Sx^2 + (k2 - 1) \cdot Sy^2}{k1 + k2 - 2} \cdot \frac{(k1 + k2)^2}{k1 \cdot k2}}$ $S2 = 0.129$

$S := S1$ $S = 0.091$

Значение t-критерия: $t_{xy} := \frac{|x_{cp} - y_{cp}|}{S} \cdot \sqrt{k1 + k2}$ $t_{xy} = 3.13$

Квантиль распределения Стьюдента: $T := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, v1 + v2\right)$ $T = 2.776$ ■

$t_{xy} < T = 1$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то гипотезу следует отвергнуть (не принять), то есть мы должны сделать вывод о существенности различий в представленных выборках.

Размер: для размеров деталей, работающих в сопряжениях – наибольший из значений $x_{cp} = 10.25$ или $y_{cp} = 10.133$ (для иных случаев $z=10.192$ мм).

Отклонение: $\pm \frac{x_{cp} - y_{cp}}{2} = 0.058$ мм.

В первую очередь при выполнении исследований осуществляется уточнение численных показателей и характеристик материалов, с которыми надлежит работать, а также возможных изменений их состояния в предполагаемых интервалах их физического состояния. При этом

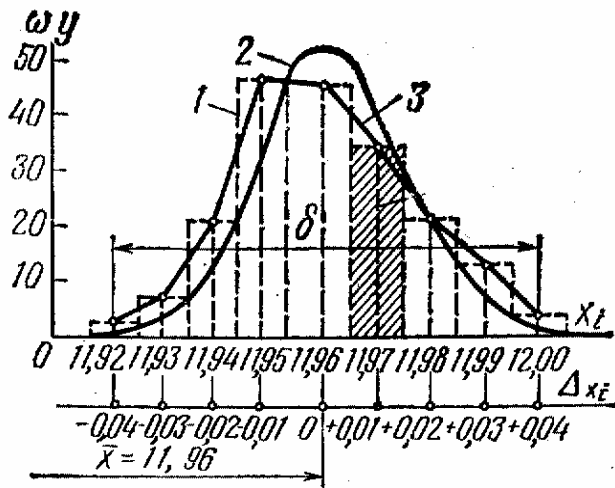


Рис. 2.8. Гистограмма (1), полигон (3) и теоретическая кривая (2) распределения

уточняются характеристики в соответствии с действующими ГОСТами и ОСТами, а также замеряются числовые значения показателей, используемых в теоретических исследованиях. В случае отсутствия литературных данных, по каким-либо характеристикам, производятся определение не только их численного значения и интервала изменения, но и проверка на соответствие распределения нормальному закону (примеры 5 и 6).

При этом строятся гистограмма, полигон и теоретическая кривая ожидаемого закона распределения показателя (рис. 2.8).

Плотность распределения нормального закона задается формулой

$$f(x, a, b) = \frac{1}{b \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - a)^2}{2b^2} \right],$$

где x — случайная величина;

a — математическое ожидание, показывающее расположение максимума относительно нуля (не меняет формы функции (кривой), а показывает смещение по горизонтали относительно нуля);

b — среднее квадратическое (стандартное) отклонение (σ), показывающее масштаб и экстремальность функции.

Несмотря на широкое применение нормального закона, его нельзя считать универсальным. Нередко данный закон используют только потому, что не доказана его непригодность.

В случае несоответствия распределения значений показателя нормальному закону уточняется сам вид закона. Существует целый ряд законов распределения показателей, применимых в тех или иных областях трудовой деятельности человека (рис. 2.9). Так, в теории надежности широко используется распределение Вейбулла. Его частный случай (закон Релея) используют для описания отклонений деталей от правильной формы. Закону Максвелла подчиняются величины, имеющие только положительное

значение – эксцентриситет детали, несоосность, биение, непараллельность осей и др. Частный случай гамма-распределения (распределение Эрланга) используется в теории массового обслуживания. При применении в исследованиях таблиц случайных чисел (например, при методе Монте-Карло) необходим закон равной вероятности. В теории надежности, массового обслуживания, при статистическом контроле качества используется распределение Пуассона, приближающееся к нормальному закону. Формы графиков и показатели некоторых законов приведены в приложении.

В ряде случаев полученные результаты описываются не одной, а целым рядом случайных величин, образующих в совокупности систему.

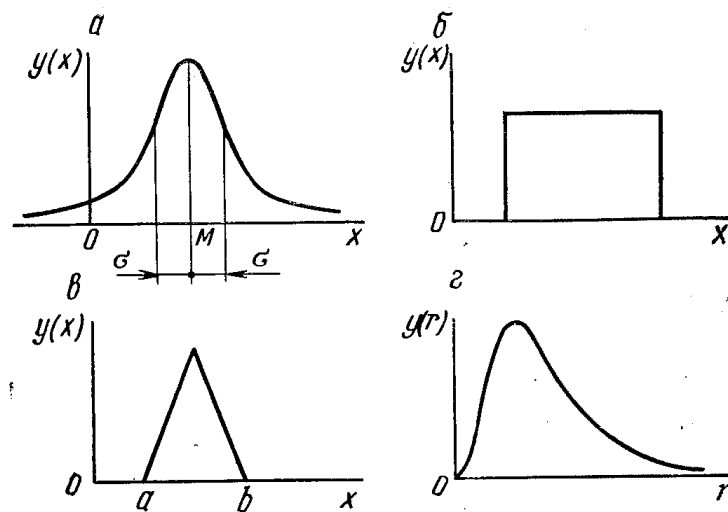


Рис. 2.9. Законы распределения случайных величин:
 а – закон нормального распределения; б – закон равной вероятности;
 в – закон Симпсона или равнобедренного треугольника (при действии двух доминирующих факторов); г – закон Максвелла (эксцентриситета)

Пример 5

Проверка экспериментальных данных на соответствие нормальному закону распределения (листинг программы для Mathcad)

Количество данных, шт.: $N := 48$

Количество интервалов разбиения данных: $\text{bin} := 7$ $j := 0.. \text{bin}$

Вектор случайных данных:

$$x := \begin{pmatrix} 21 & 23 & 24 & 26 & 25 & 22 & 23 & 25 & 24 & 26 & 25 & 24 & 26 & 25 & 24 & 26 \\ 26 & 23 & 25 & 24 & 25 & 22 & 22 & 23 & 23 & 25 & 26 & 23 & 23 & 23 & 23 & 25 \\ 27 & 23 & 27 & 26 & 25 & 25 & 24 & 24 & 25 & 25 & 26 & 25 & 24 & 25 & 26 & 22 \end{pmatrix}$$

Границы интервала (min/max): $\text{lower} := \text{floor}(\min(x)) - 0.1$ $\text{lower} = 20.9$

$\text{upper} := \text{ceil}(\max(x)) + 0.1$ $\text{upper} = 27.1$

Медиана: $M_0 := \text{median}(x)$ $M_0 = 25$

Ширина интервала: $h := \frac{\text{upper} - \text{lower}}{\text{bin}}$ $h = 0.886$

Вектор, элементы которого задают сегменты построения гистограммы в порядке возрастания от минимума к максимуму: $\text{int}_j := \text{lower} + h \cdot j$

Вектор частоты попадания данных в интервалы гистограмм – $\text{hist}(\text{int}, x)$.

Высота столбцов гистограммы: $f := \frac{1}{N \cdot h} \cdot \text{hist}(\text{int}, x)$

Задание границ сегментов разбиения столбцов гистограммы: $\text{int} := \text{int} + \frac{h}{1}$

Коэффициент эксцесса: $\text{skew}(x) = -0.256$

Коэффициент асимметрии: $\text{kurt}(x) = -0.648$

Выбираем двумерный график (рис.2.10) и для f задаем тип линии *bar* (гистограмма) и *draw-dach* (пунктир), а для dnorm – *lines-solid* (линия).

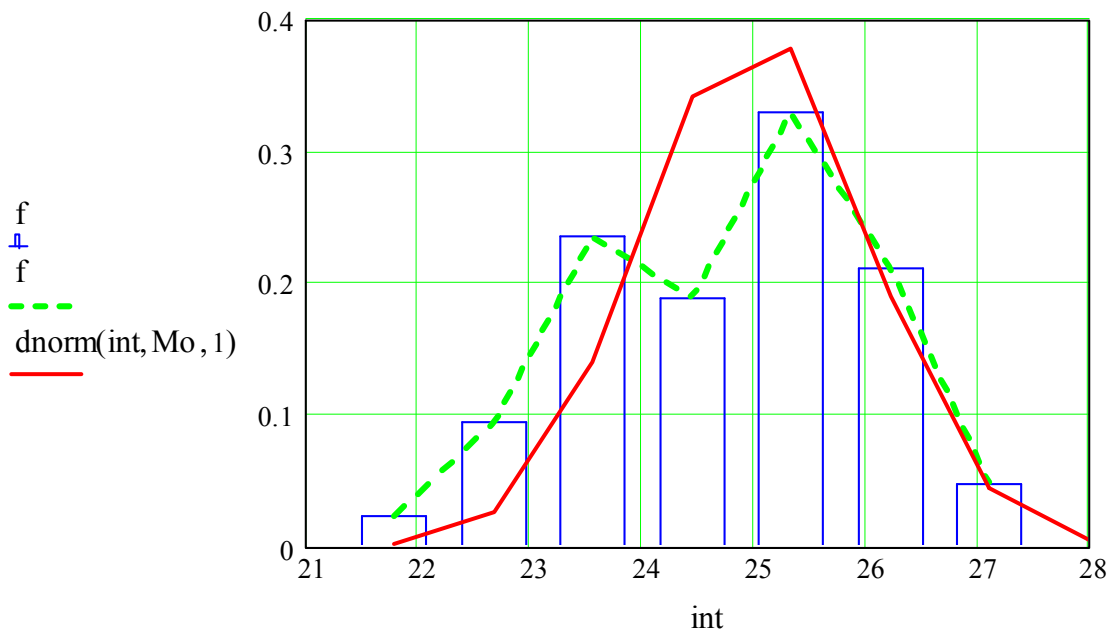


Рис. 2.10. Гистограмма и полигон распределения выборки опытных данных

Выборочное среднее значение: $\text{mean}(x) = 24.354$

Выборочная дисперсия: $\text{var}(x) = 2.02$

Среднеквадратичное (стандартное) отклонение: $\text{stdev}(x) = 1.421$

Выборочная дисперсия и среднеквадратичное отклонение в другой нормировке:

$$\text{Var}(x) = 2.063 \quad \text{Stdev}(x) = 1.436$$

* – следует осторожно относиться к написанию литер (особенно первых) в функциях!

$$\text{var}(x) = 2.02 \quad \text{Var}(x) \cdot \frac{N-1}{N} = 2.02 \quad \sqrt{\text{var}(x)} = 1.421 \quad \text{Stdev}(x) \cdot \sqrt{\frac{N-1}{N}} = 1.421$$

$$\text{stdev}(x) \cdot \sqrt{\frac{N}{N-1}} = 1.436 \quad \text{Stdev}(x) = 1.436 \quad \sqrt{\text{Var}(x)} = 1.436 \quad \text{stdev}(x) = 1.421$$

Геометрическое среднее выборки случайных чисел: $\text{gmean}(x) = 24.312$

Гармоническое среднее выборки случайных чисел: $\text{hmean}(x) = 24.27$

$j := 0.. \text{bin} - 1$ $Tt := \text{dnorm}(\text{int}, \text{Mo}, 1)$ $Kt := N \cdot h \cdot \text{dnorm}(\text{int}, \text{Mo}, 1)$

$To := f$ $Ko := \text{hist}(\text{int}, x)$

Табличное и экспериментальное значение функции нормальной кривой

$$T_t = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.03 \\ 0.14 \\ 0.34 \\ 0.38 \\ 0.19 \\ 0.04 \\ 0 \end{pmatrix} \quad T_o = \begin{pmatrix} 0.02 \\ 0.09 \\ 0.24 \\ 0.19 \\ 0.33 \\ 0.21 \\ 0.05 \end{pmatrix}$$

Количество попаданий в интервал: теоретическое и опытное

$$K_t = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 1.13 \\ 5.99 \\ 14.52 \\ 16.07 \\ 8.11 \\ 1.87 \\ 0.2 \end{pmatrix} \quad K_o = \begin{pmatrix} 4 \\ 10 \\ 8 \\ 14 \\ 9 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Выбираем двумерный график (рис. 2.11) значений выборки опытных данных.

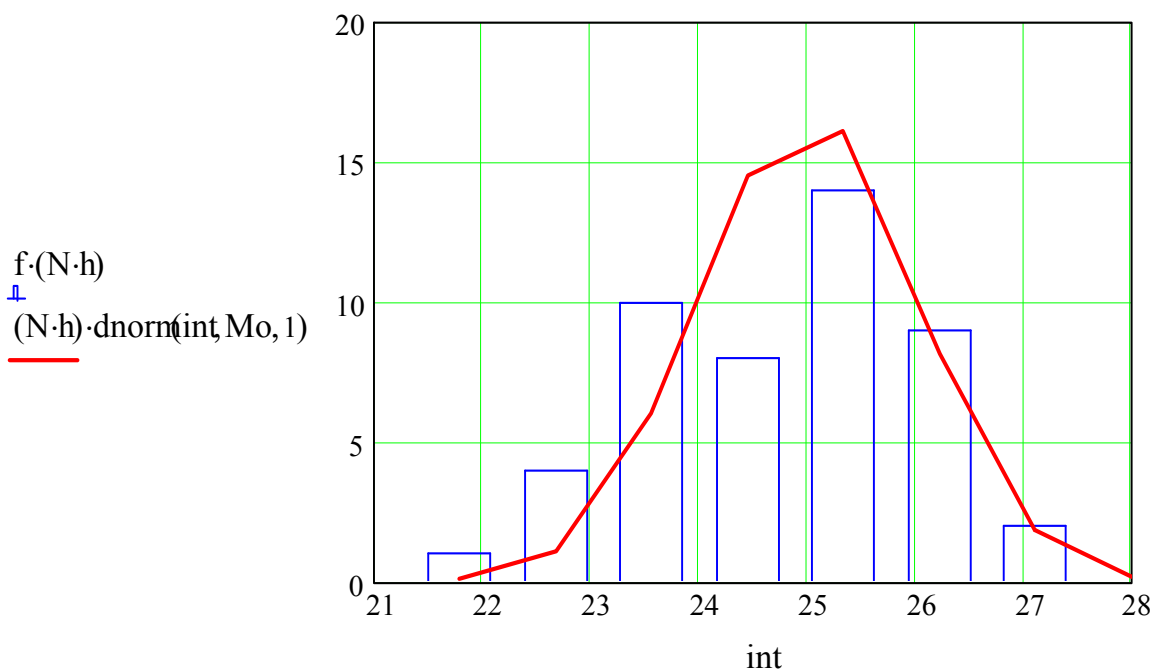


Рис. 2.11. Гистограмма значений выборки опытных данных, шт.

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Критерий χ^2 (оценки распределений): $\chi^2 := \sum_j \frac{(K_{tj} - K_{oj})^2}{K_{tj}} \quad \chi^2 = 237.474$

Число степеней свободы: $\nu := N - 1 \quad \nu = 47$

Критическое значение χ^2 – критерия Пирсона, соответствующее уровню значимости ошибки $\alpha := 0.05$ и числу степеней свободы $N - 1 = 47$

$$\chi^2_T := qchisq(\alpha, \nu) \quad \chi^2_T = 32.268$$

Так как χ^2 больше критического значения, поэтому различия между сравниваемыми распределениями существенны, а отклонения носят неслучайный характер.

Вероятность совпадения опытных данных с расчетными по нормальному закону:

$$P_N := 1 - pchisq(\chi^2, \nu) \quad P_N = 0$$

Границы доверительного интервала (L,U), внутри которого лежит с доверительной вероятностью $100 \cdot (1 - \alpha) = 95\%$ дисперсия нормальной случайной величины, исходя из объема выборки в $N = 48$ чисел.

$$\chi^2_{0} := \text{qchisq}\left(\frac{\alpha}{2}, N - 1\right) \quad \chi^2_{0} = 29.956$$

$$\chi^2_{1} := \text{qchisq}\left(1 - \frac{\alpha}{2}, N - 1\right) \quad \chi^2_{1} = 67.821$$

$$L := \frac{(N - 1) \cdot \text{Stdev}(x)^2}{\chi^2_{1}} \quad U := \frac{(N - 1) \cdot \text{Stdev}(x)^2}{\chi^2_{0}}$$

$$\text{var}(x) = 2.02$$

$$L = 1.43$$

$$U = 3.237$$

Математическое ожидание закона распределения: $\mu_0 := 0.2$

Квантиль распределения Стьюдента: $T := \text{qt}\left(1 - \frac{\alpha}{2}, v\right) \quad T = 2.012$

Выборочное значение t- критерия: $t := \frac{\text{mean}(x) - \mu_0}{\left(\frac{\text{Stdev}(x)}{\sqrt{N}}\right)} \quad t = 116.499$

При соблюдении условия, что модуль выборочного значения t меньше T гипотеза принимается (в данном случае экспериментальные значения соответствуют нормальному закону). В противном случае гипотезу следует отвергнуть.

$$|t| < T = 0$$

Поскольку условие оказалось ложным (равным не 1, а нулю), то гипотезу следует отвергнуть.

Второй вариант указанного условия:

$$\text{pt}(t, N - 1) = 1 \quad \frac{\alpha}{2} < \text{pt}(t, N - 1) < 1 - \frac{\alpha}{2} = 0$$

Пример 6

Определение закона распределения данных ресурса машин (листинг программы для Mathcad)

Исходную информацию о ресурсе машины можно записать в текстовый файл (например, **Resurs**) в том же каталоге, где находится данный протокол расчета. Цифры набираются в столбец, через *Enter*. После этого вводится информация в протокол MathCad с помощью функции **READPRN** и определяется количество информации с помощью функции **length**. Предварительно следует переменной MyFile передать имя текстового файла с данными о ресурсах машин.

$$\text{MyFile} := \text{"Resurs"} \quad X := \text{READPRN}(\text{MyFile}) \quad N := \text{length}(X) \quad N = 34$$

Построим статистический ряд, расположив информацию о ресурсе машины в порядке возрастания данных с помощью функции **sort**. Данные перезапишем в исходный файл. Присвоим каждому элементу вектора индекс j.

$X := \text{sort}(X)$ – вектор наработок на отказ исследуемого элемента автомобиля, км пробега (в порядке возрастания его элементов)

$$j := 0.. N - 1 \quad \text{WRITEPRN}(\text{MyFile}) := X$$

Точечные характеристики распределения ресурса:

$$x_{\text{см}} := X_0 - \frac{(X_2 - X_0)}{2} \quad \text{– величина смещения распределения, км.}$$

$$x_{\text{см}} = 2908$$

$$x_{\text{ср}} := \frac{\sum_{j=0}^{N-1} X_j}{N} \quad \text{– среднее значение наработки, км.} \quad x_{\text{ср}} = 3962$$

$$\sigma := \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{N-1} (x_{\text{ср}} - X_j)^2}{N - 1}} \quad \text{– среднеквадратическое отклонение, км.}$$

$$\sigma = 435$$

$$V := \frac{\sigma}{x_{\text{ср}} - x_{\text{см}}} \quad \text{– коэффициент вариации наработки на отказ}$$

$$V = 0.413$$

Проверка информации на выпадающие точки с помощью критерия Ирвина:

$$\lambda_0 := \frac{X_1 - X_0}{\sigma} \quad \text{– для минимального значения ресурса.}$$

$$\lambda_0 = 0.462$$

$$\lambda_N := \frac{X_{N-1} - X_{N-2}}{\sigma} \quad \text{– для максимального значения ресурса.}$$

$$\lambda_N = 0.542$$

$$\lambda_{\text{кр}} := 1.4832 + \frac{4.41719}{N} \quad \text{– критическое значение критерия Ирвина}$$

для вероятности 0.99 рассчитано по эмпирической формуле.

$$\lambda_{\text{кр}} = 1.613$$

$$\lambda_0 < \lambda_{\text{кр}} = 1 \quad \lambda_N < \lambda_{\text{кр}} = 1$$

Если расчетное значение критерия Ирвина больше критического (неравенства равны не 1, а нулю), то минимальная или максимальная точка является выпадающей и ее следует удалить из исходной информации (из текстового файла с исходной информацией) и расчет повторить заново.

Требуется добиться, чтобы значения расчетных критериев Ирвина были бы меньше критического.

	0
0	3031
1	3232
2	3278
3	3306
4	3378
5	3541
6	3583
7	3589
8	3596
9	3715
10	3755
11	3764
12	3828
13	3921
14	3988
15	3990
16	4007
17	4019
18	4059
19	4097
20	4108
21	4143
22	4159
23	4167
24	4184
25	4257
26	4295
27	4308
28	4444
29	4456
30	4462
31	4583
32	4611
33	4847

Выбор теоретического закона распределения:

- По коэффициенту вариации принимается закон распределения ресурса машины: закон нормального распределения или закон распределения Вейбулла, когда коэффициент вариации находится в пределах 0.33–0.7.
- Закон распределения можно выбрать визуально на основании сравнения полигона распределения и дифференциальных функций исследуемых законов. Для этого строится укрупненный статистический ряд.
- количество интервалов в укрупненном статистическом ряду принимается по одной из формул:

$$n1 := \text{ceil}(\sqrt{N}) \quad n1 = 6 \quad n2 := \text{ceil}(1 + 3.2 \cdot \log(N)) \quad n2 = 6$$

$$n := n1 \quad i := 0..n$$

- величина интервала, а также вектор начальных и конечных значений наработки для каждого интервала (конечное значение интервала является начальным значением следующего интервала)

$$dX := \frac{(X_{N-1} - X_0)}{n} + 0.5 \quad dX = 303.2 \quad X_{n_i} := X_0 + dX \cdot i$$

- частота попаданий в каждый интервал (используя функцию - **hist**), а также вектор значений середин и концов интервалов составят:

$$m := \text{hist}(X_n, X) \quad X_k := X_n + dX \quad X_{c_i} := X_{n_i} + \frac{dX}{2} \quad mSo_0 := 0$$

Числовые значения параметров: $j := 0..n-1 \quad i := 0..n-1$

$$X_n = \begin{pmatrix} 3031 \\ 3334.2 \\ 3637.3 \\ 3940.5 \\ 4243.7 \\ 4546.8 \\ 4850 \end{pmatrix} \quad X_k = \begin{pmatrix} 3334.2 \\ 3637.3 \\ 3940.5 \\ 4243.7 \\ 4546.8 \\ 4850 \\ 5153.2 \end{pmatrix} \quad X_c = \begin{pmatrix} 3182.6 \\ 3485.8 \\ 3788.9 \\ 4092.1 \\ 4395.3 \\ 4698.4 \\ 5001.6 \end{pmatrix} \quad m = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 5 \\ 11 \\ 6 \\ 3 \end{pmatrix}$$

- накопленные опытные вероятности, соответствующие наработке конца интервала:

$$mS := \frac{m}{N} \quad mSo_j := \sum_{i=0}^j mS_i$$

Интегральная функция распределения $F(t)$ показывает вероятность возникновения события (отказа в нашем случае) в интервале от 0 до заданного значения наработки

$$F_t := mSo$$

Дифференциальная функция $f(t)$ (плотность распределения) характеризует вероятность возникновения события в заданном интервале наработки

$$f_t := \frac{m}{N}$$

Построение графиков по опытным данным:

- гистограмма (ступенчатый график) f_i ;
- полигон распределения f_i ;
- кривую накопленных опытных вероятностей F_i .

$$mSo = \begin{pmatrix} 0.118 \\ 0.265 \\ 0.412 \\ 0.735 \\ 0.912 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Выбираем двумерный график (рис. 2.12) и для первой строки задаем тип линии *solidbar* (гистограмма), а для остальных – *lines-solid* (линия).

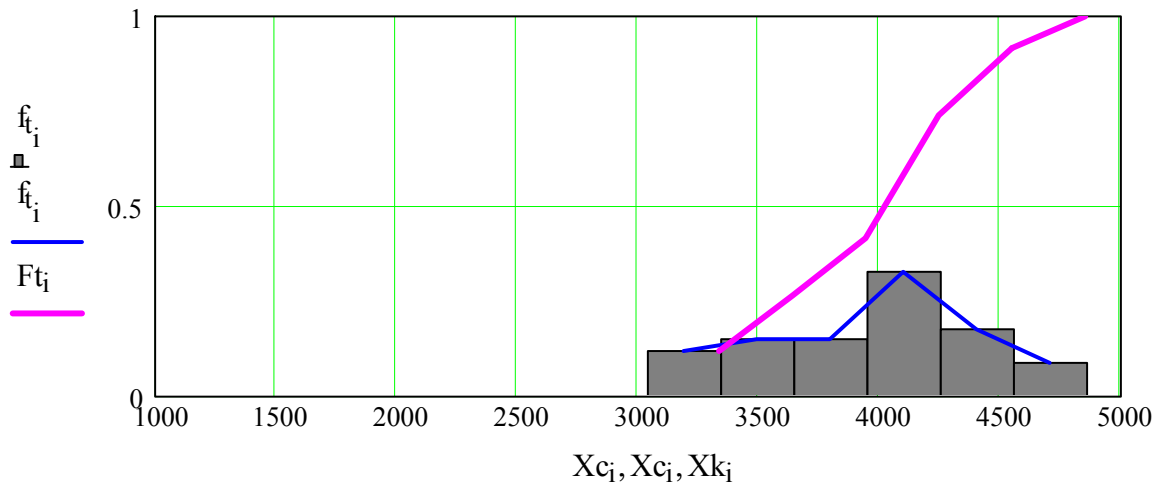


Рис.2.12. Опытные кривые распределения ресурса машины

Дифференциальная функция нормального закона распределения

$$f_{N_i} := \frac{dX}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(X_{c_i} - x_{cp})^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad f_N = \begin{pmatrix} 0.0559 \\ 0.1528 \\ 0.2569 \\ 0.2658 \\ 0.1692 \\ 0.0663 \end{pmatrix}$$

Перед расчетом дифференциальной функции закона Вейбулла определяются параметры данного закона:

- параметр формы закона Вейбулла b (формулы получены путем аппроксимации табличных данных):

$$b := 0.982357 \cdot V^{-1.10316} \quad b = 2.608$$

- масштабный параметр a рассчитывают, предварительно определив коэффициент Kb :

$$Kb := 0.98585 - 0.405844 \cdot V + 0.417027 \cdot V^2 \quad Kb = 0.889$$

$$a := \frac{x_{cp} - x_{cm}}{Kb} \quad a = 1185$$

Дифференциальная функция закона распределения Вейбулла:

$$f_{W_i} := \frac{b \cdot dX}{a} \cdot \left(\frac{Xc_i - x_{cm}}{a} \right)^{b-1} \cdot e^{-\left[\left(\frac{Xc_i - x_{cm}}{a} \right)^b \right]} \quad f_W = \begin{pmatrix} 0.0623 \\ 0.1803 \\ 0.261 \\ 0.2455 \\ 0.1575 \\ 0.0689 \end{pmatrix}$$

Выбираем двумерный график (рис. 2.13) для законов распределения: нормального и Вейбулла.

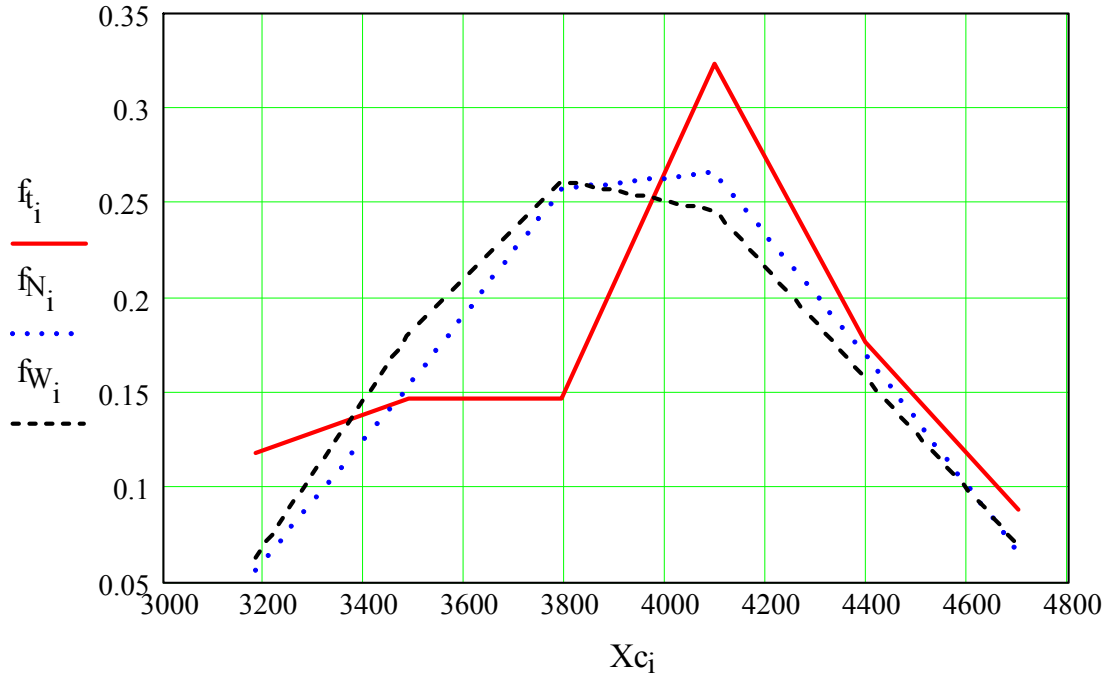


Рис.2.13. Полигон распределения и дифференциальные функции теоретических законов распределения: нормального и Вейбулла

Для более точного выбора закона распределения используется критерий Пирсона χ^2 :

$$\chi^2_N := \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\left(\frac{m_i}{N} - f_{N_i} \right)^2}{f_{N_i}} \quad \chi^2_N = 0.13536$$

$$\chi^2_W := \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\left(\frac{m_i}{N} - f_{W_i} \right)^2}{f_{W_i}} \quad \chi^2_W = 0.13752$$

Требуемый уровень значимости ошибки: $\alpha := 0.15$

Число степеней свободы: $v := \text{length}(Xn) - 1 \quad v = 6$

Значение критического χ^2 , соответствующее заданному α :

$$\chi^2 := \text{qchisq}(\alpha, v) \quad \chi^2 = 2.661$$

Вероятность совпадения опытных данных с расчетными:

$$PN := 1 - \text{pchisq}(\chi^2_N, \nu) \quad PN = 0.999951$$

$$PW := 1 - \text{pchisq}(\chi^2_W, \nu) \quad PW = 1$$

Гипотеза соответствия рассматриваемому закону имеет право на существование, если выполняется неравенство (равно 1, а не нулю):

$$\chi^2_N < \chi^2 = 1 \quad \chi^2_W < \chi^2 = 1$$

Допустимая минимальная вероятность $[P\chi^2_{\min}]$ совпадения опытных данных с расчетными по критерию χ^2 составляет 10%.

Так как в нашем случае вероятность $PW > PN$ и $PW > [P\chi^2_{\min}] = 0.10$, то закон Вейбулла можно принять как закон распределения ресурса машины.

Зная теоретический закон распределения, можно определить интервальные характеристики распределения ресурса генеральной совокупности машин:

Доверительная вероятность: $\gamma := 0.95$

Доверительные границы одиночного значения показателя надежности для нормального закона распределения:

$$xN_{H\gamma} := x_{\text{ср}} - \text{qt}(\gamma, N) \cdot \sigma \quad xN_{H\gamma} = 3226$$

$$xN_{B\gamma} := x_{\text{ср}} + \text{qt}(\gamma, N) \cdot \sigma \quad xN_{B\gamma} = 4697.6$$

При размере выборки менее 100 значений вместо нормального закона распределения используется закон распределения Стьюдента.

Доверительные границы одиночного значения показателя надежности для закона распределения Вейбулла:

$$xW_{B\gamma} := \text{qweibull}\left(\frac{1-\gamma}{2}, b\right) \cdot a + x_{\text{см}} \quad xW_{B\gamma} = 3197$$

$$xW_{H\gamma} := \text{qweibull}\left(\frac{1+\gamma}{2}, b\right) \cdot a + x_{\text{см}} \quad xW_{H\gamma} = 4863$$

Доверительные границы среднего значения ресурса:

$$xср_{H\gamma} := x_{\text{ср}} - \text{qt}(\gamma, N) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad xср_{H\gamma} = 3835.6$$

$$xср_{B\gamma} := x_{\text{ср}} + \text{qt}(\gamma, N) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad xср_{B\gamma} = 4088$$

Односторонняя доверительная вероятность: $\gamma := \frac{1+\gamma}{2} \quad \gamma = 0.975$

Верхняя доверительная односторонняя граница среднего значения ресурса машины:

$$xср_{B\gamma} := x_{\text{ср}} + \text{qt}\left[\frac{(1+\gamma)}{2}, N\right] \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad xср_{B\gamma} = 4137$$

Относительная предельная ошибка переноса (не должна превышать 10..20%):

$$\delta := \frac{xср_{B\gamma} - x_{\text{ср}}}{x_{\text{ср}} - x_{\text{см}}} \cdot 100 \quad \delta = 16.599$$

Задача обработки данных – выделение из них полезной информации и представление ее в виде, удобном для анализа, теоретических обобщений и принятия решений.

При обработке данных вначале упорядочивают численные значения по возрастанию (составляют *вариационный ряд*), находят его *размах* (разность между максимальным и минимальным значением), проверяются *полнота и пригодность информации*:

1. Для определения статистических характеристик сгруппированных данных определяют число классов K по объему выборки n (табл.2.2).

Т а б л и ц а 2 . 2

Влияние объема выборки на количество классов

Объем выборки, n	Число классов, K	Объем выборки, n	Число классов, K
25–40	5–6	100–200	8–12
40–60	6–8	>200	10–15
60–100	7–10		

2. Находят межклассовый интервал:

$$i = (Y_{\max} - Y_{\min}) / K,$$

где Y_{\max} , Y_{\min} – максимальное и минимальное значение выборки.

Нижняя граница первого классового интервала:

$$l_{\text{н}} = Y_{\min} - 0,5 \cdot i.$$

Верхняя граница первого классового интервала:

$$l_{\text{в}} = l_{\text{н}} + I.$$

3. Рассчитывают границы других классовых интервалов и распределяют значения выборки по классам.

Среднюю арифметическую из цифровых значений выборки (либо *среднее* или *оценка среднего*):

$$\bar{Y} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k Y_i.$$

где Y_i – значения вариант (замеров);

k – число вариант, составляющих данную совокупность.

Для данных, сгруппированных с учетом повторяемости или веса отдельных вариант, средняя арифметическая составит:

$$\bar{Y} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k Y_i \cdot f_i.$$

Мода – наиболее часто встречающееся значение выборки.

Медиана – срединное наблюдение в выборке, она делит выборку пополам. При нечетном количестве наблюдений k медиана равна значению $(k-1)/2$, при четном – полусумма двух срединных значений с номерами $(k/2)$

и $(k/2)+1$ вариационного ряда. Кроме медианы, выборку делят еще квантили (пополам каждую половинку). Нижний квантиль обозначают 25 %, верхний квантиль – 75 %.

Среднее квадратическое (стандартное) отклонение (при малой выборке):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{k - 1}},$$

при большой выборке:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{k}} \quad \text{или} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum f}},$$

где k – выборка (число повторностей);

f – частоты.

Выборочная дисперсия есть квадрат среднего квадратического (стандартного) отклонения.

Коэффициент вариации – показывает вариабельность выборки:

$$v = 100 \cdot \frac{\sigma}{\bar{Y}}.$$

Значение коэффициентов вариации (изменчивость признаков) по результатам замеров считается незначительным, если оно менее 10 %; средним – при 11–30 %; высоким, если более 30 %.

Ошибка средней арифметической (при малой выборке): $m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{k - 1}},$

при большой выборке: $m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{k}}.$

Доверительный интервал генеральной средней для 5 %-го уровня значимости:

$$\bar{Y} \pm t_{0.05} \cdot \sigma_x,$$

где $t_{0.05}$ – критическое значение критерия Стьюдента, выбирается из таблицы (приложение) в зависимости от надежности – 0,90; 0,95; 0,99.

4. С целью проверки стабильности условий испытаний и достоверности полученных результатов определяют однородность дисперсий по *критерию Кохрена*:

$$G = \frac{\sigma_i^2 \max}{\sum_{i=1}^K \sigma_i^2},$$

где $\sigma_i^2 \max$ – наибольшее значение дисперсии среди всех строк плана анализируемого показателя;

$\sum_{i=1}^K \sigma_i^2$ – сумма всех дисперсий.

Если значение критерия Кохрена больше табличного, то это говорит о неоднородности дисперсий и, следовательно, о недостаточной достоверности (невоспроизводимости) эксперимента. Следует выяснить причину наибольшего значения дисперсии и повторить эксперимент. Причинами могут быть неточности установки параметров агрегата, недостаточное количество измерений или недостаточно точный замер параметров.

5. При обеспечении неравенства значений вычисляют дисперсию воспроизводимости:

$$\sigma_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}{N},$$

где N – количество дисперсий, равное для каждого показателя количеству строк плана.

Остаточная дисперсия:

$$S_{ag}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)}{N - n - 1},$$

где \bar{y}_u – среднее значение критерия оптимизации (результата опыта) в u -м опыте при k повторностях;

\hat{y}_u – значение критерия оптимизации, вычисленное по уравнению регрессии;

N – количество опытов (число строк в матрице эксперимента);

n – количество факторов ($n = 0, 1, 2, \dots$);

k – количество повторностей опыта.

В процессе проведения обработки результатов опыта в случае изменения исходных условий его проведения осуществляют регрессионный анализ (выбирают вид функциональной зависимости и определяют числовые значения коэффициентов в уравнении регрессии), дисперсионный анализ и ковариационный анализ. При этом в исследовании ставятся задачи, которые следует решить.

Регрессионный анализ. В ходе регрессионного анализа вначале принимают математическую модель эксперимента в виде *линейной зависимости* (полином первой степени):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot X_i,$$

где Y – отклик;

b_0 – свободный член;

b_i – i -й коэффициент регрессии;

X_i – i -й фактор;

n – количество факторов.

В случае плохого описания процесса линейной моделью в принятых интервалах варьирования (изменения значений) факторов, ее заменяют на *квадратичную модель* (полином второго порядка) вида

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot X_i^2 .$$

Если для модели первого порядка требуется проведение опыта при установке двух уровней факторов (и дополнительная точка в центре эксперимента для контроля линейности), то для моделей более высокого порядка каждый фактор изменяется не менее чем на трех уровнях.

Чем больше численное значение коэффициента в уравнении регрессии, тем больше влияет фактор. Наличие знака «+» приводит к увеличению отклика, «-» – к уменьшению значений.

Для проверки адекватности представления результатов эксперимента какой-либо функциональной зависимостью (для проверки равенства двух генеральных дисперсий по выборочным дисперсиям) производится сравнение расчетного значения с табличным значением *F-критерия Фишера*. Расчетное значение для полинома первого порядка определяют по формуле

$$F = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2}$$

При проверке адекватности представления результатов эксперимента полиномами второго порядка также используется *F-критерий Фишера*:

$$F = \frac{S_{ag}^2}{\sigma_{\text{воспр}}^2},$$

где S_{LF}^2 – дисперсия адекватности:

$$S_{LF}^2 = \frac{k \cdot \sum_{u=1}^N (\hat{y}_u - \bar{y}_u)^2}{N - n - 1} = \frac{k \cdot (\sum_{u=1}^N \bar{y}_u - N \sum_{i=1}^n b_i^2)}{N - (n + 1)} .$$

По *F-критерию* проверяется гипотеза о равенстве дисперсий двух независимых выборок. Если выборки взяты из одной и той же генеральной совокупности, или из разных совокупностей, то при условии равенства дисперсий, значение *F* не выйдет за его критические границы.

Дисперсия, характеризующая ошибку опыта S_y^2 :

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^k (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{N \cdot (k - 1)} = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^k (y_{iu} - \frac{\sum_{i=1}^k Y_i}{k})^2}{N \cdot (k - 1)},$$

где \bar{y}_u – значение критерия оптимизации в параллельных опытах.

Если табличное значение больше расчетного, то гипотезу об **адекватности** предлагаемой линейной модели экспериментальным данным можно принять. Это значит, что предсказанное (вычисленное) с помощью модели значение функции отклика не отличается существенно от действительных (опытных) значений. Модель удовлетворяющая данным условиям называется адекватной.

Однако, линейная модель не является адекватной, если окажется, что значим хотя бы один из эффектов взаимодействия. Для этого ставятся дополнительные опыты (при значениях всех факторов в центре эксперимента). При этом разница $(b_o - \bar{y}_o)$ не должна превышать ошибки эксперимента, в противном случае налицо выпуклость (вогнутость) модели (\bar{y}_o – среднее значение критерия оптимизации в центре эксперимента).

Значимость данного различия (сравнение двух средних величин) проверяется по критерию *t-критерию Стьюдента*. Он характеризует распределение выборочных средних в нормах генеральной совокупности.

$$t_{\text{рас}} = \frac{(b_o - \bar{y}_o) \cdot \sqrt{n_o}}{\sqrt{S_y^2}},$$

где n_o – число точек в центре эксперимента.

Полученное значение сравнивается с табличным значением, соответствующим S_y^2 при плане опыта линейной модели. Если табличное значение больше расчетного (при 5 %-м уровне значимости ошибки), то разница $(b_o - \bar{y}_o)$ не достоверна, поэтому гипотезу об адекватности линейной модели и по второму критерию можно принять с 95 %-й вероятностью.

Используя *t-критерий*, проводится также проверка значимости коэффициентов регрессии по доверительному интервалу.

Доверительный интервал коэффициентов регрессии:

$$\pm \Delta b_i = \pm t \cdot \sqrt{S_{b_i}^2},$$

где t – табличное значение критерия со степенью свободы f [где $f=N(n_o-1)$];

$S_{b_i}^2$ – дисперсия для коэффициентов регрессии, $S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{N \cdot k}$.

Можно использовать *t-критерий* и для проверки достоверности различий, наблюдаемых между выборочными средними или средними квадратическими отклонениями двух выборок.

Для этого находят средние арифметические Y_1 и Y_2 , дисперсии обеих средних $S_{y_1}^2$ и $S_{y_2}^2$.

Среднее взвешенное данных дисперсий

$$\bar{S}^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_{y_1}^2 + (n_2 - 1) \cdot S_{y_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}.$$

Величина t-критерия:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_{X_1} - \sigma_{X_2}} = \frac{\sigma_{X_1} - \sigma_{X_2}}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{2 \cdot n_1} + \frac{\sigma_2^2}{2 \cdot n_2}}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\bar{S}^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}.$$

Для оценки степени соответствия эмпирических данных определенным теоретическим предпосылкам (для оценки дисперсии генеральной совокупности) используется *критерий χ^2* Пирсона (критерий согласия или подобия). Если табличные значения больше расчетных, то гипотеза о подобии принимается. Если условие не принимается, то признается не случайный характер отклонений.

$$\chi^2 = \sum \frac{(y_i - y'_i)^2}{y'_i},$$

где y'_i – теоретические значения;

y_i – эмпирические значения.

Для оценки близости теоретического и эмпирического распределений непрерывных величин иногда используют λ -критерий Колмогорова:

$$\lambda = \sqrt{k} \cdot \max |F_T(y) - F(y)|,$$

где в скобках максимальное абсолютное значение разности между эмпирической (выборочной) $F_T(y)$ и теоретической $F(y)$ функциями.

Нередко используется и анализ остатков, не учтенных моделью. Они должны иметь случайный характер относительно нормальности условного распределения параметра оптимизации. Для проверки адекватности регрессионной модели по независимости ошибок используют статистику Дарбина-Уотсона:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^k (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=2}^k (\varepsilon_i)^2} \text{ или } d = 2 \cdot (1 - \rho),$$

где ε – ошибки регрессионной модели относительно исходных значений выборки отклика;

ρ – коэффициент корреляции величины остатков с факторами.

Если расчетное значение статистики больше верхнего табличного значения статистики, то гипотеза о независимости остатков (адекватности модели) не отвергается (принимается) на уровне α . Если меньше нижнего табличного значения, то отвергается, при нахождении в интервале табличных значений – является сомнительной. При отрицательной автокорреляции рассматривают случай: $(4 - d)$.

Иногда зависимость между величинами носит характер гиперболы, показательной функции, логистической кривой. В результате математических преобразований имеется возможность перехода к уравнению линейной зависимости. Для этого исходные данные вначале логарифмируют, извлекают корень, единицу делят на значение и т.п., после чего производится обработка данных аналогично полиному первого порядка.

Если уравнение регрессии имеет вид показательной кривой:

$$Y = a \cdot b^x \text{ или } Y = a \cdot e^{x \cdot b}, \text{ то получим: } \lg(Y) = \lg(a) + x \cdot \lg(b).$$

Для степенной кривой $Y = a \cdot x^b$, то получим: $\lg(Y) = \lg(a) + b \cdot \lg(x)$.

Для логистической кривой $Y = \frac{N}{1 + 10^{a+bt}} + C$ получим:

$$\lg\left(\frac{N}{Y - C} - 1\right) = a + b \cdot t,$$

или:

$$\lg(z) = a + b \cdot t,$$

где $z = \frac{N}{Y - C} - 1$.

Дисперсионный анализ – статистический метод анализа зависимости отклика от качественных и количественных факторов, основан на технике статистической проверки гипотез. Он используется, когда невозможно собрать массовый материал по изучаемому вопросу. Позволяет установить количественную зависимость между изучаемыми признаками совокупности, суммарное действие факторов, действие каждого регулируемого в опыте фактора, а также их сочетаний на результативный признак. Однако при числе изучаемых факторов более трех методы дисперсионного анализа становятся чрезвычайно громоздкими и редко применяются в исследованиях. Кроме того, данный метод не позволяет отыскивать оптимальное сочетание факторов.

В процессе дисперсионного анализа определяются общая, факториальная и остаточная дисперсии на основе анализа статистической совокупности. Определение веса (доли) каждой дисперсии, корректировка дисперсий на число степеней свободы, вычисление коэффициентов Фишера, определение достоверности факториальных дисперсий путем сравнения вычисленных значений критерия Фишера с табличными. Влияние фактора

считается достоверным, когда вычисленное значение больше табличного или равно ему.

Общая дисперсия (рассеяние признаков) σ_y^2 разлагается на составные части: σ_x^2 – факториальная дисперсия, возникающая под влиянием изучаемых факторов; σ_z^2 – остаточная дисперсия, возникшая под влиянием остальных неучтенных факторов в процессе анализа, то есть $\sigma_y^2 = \sigma_x^2 + \sigma_z^2 = 1$.

Факториальная дисперсия состоит из дисперсий изучаемых факторов (A, B, C и т.д.) и совместного их влияния на явление:

$$\sigma_x^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_{AB}^2.$$

Тогда в общем случае дисперсия равна:

$$\sigma_y^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_{AB}^2 + \sigma_z^2.$$

В процессе дисперсионного анализа определяются общая, факториальная и остаточная дисперсии на основе анализа статистической совокупности.

1. Общая дисперсия:
$$\sigma_y^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{k},$$

где X – варьирующий признак; k – численность выборки.

2. Общефакториальная дисперсия:
$$\sigma_x^2 = \sum \frac{(\Sigma X)^2}{k_x} - \frac{(\Sigma X)^2}{k}.$$

3. Остаточная дисперсия:
$$\sigma_z^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{k_x},$$

дисперсия от A :
$$\sigma_A^2 = \sum \frac{(\Sigma X_A)^2}{k_A} - \frac{(\Sigma X)^2}{k}.$$

4. Определение удельного веса (доли) каждой дисперсии от общего значения.

5. Корректировка дисперсий на число степеней свободы:

корректировка общей дисперсии –
$$\sigma_{Dy}^2 = \frac{\sigma_y^2}{r \cdot \sigma_y^2};$$

корректировка факториальной дисперсии –
$$\sigma_{Dx}^2 = \frac{\sigma_x^2}{r \cdot \sigma_x^2};$$

корректировка остаточной дисперсии –
$$\sigma_{Dz}^2 = \frac{\sigma_z^2}{r \cdot \sigma_z^2}.$$

6. Среднеквадратичные отклонения находятся как квадратные корни из скорректированных дисперсий.

7. Вычисление коэффициентов Фишера.

8. Определение достоверности факториальных дисперсий путем сравнения с табличными значениями.

Корреляционный анализ – статистический метод анализа наличия или отсутствия взаимной связи между количественными или качественными факторами и откликом. Проводится наряду с определением оценок числовых характеристик системы случайных величин, оценки коэффициента корреляции и коэффициентов регрессии. Также определяют достоверность найденной оценки коэффициента корреляции, характер корреляционной зависимости (линейной или нелинейной) и т.д. Достоверность коэффициента корреляции проверяют по критерию Стьюдента.

Для определения меры зависимости между двумя величинами (фактором и результатом его воздействия) определяют *коэффициент корреляции* – парный коэффициент корреляции Пирсона, коэффициент линейной корреляции.

При малой выборке он определяется:
$$r = \frac{(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{(X_i - \bar{X})^2 \cdot (Y_i - \bar{Y})^2}};$$

при большой выборке:
$$r = \frac{\bar{X}\bar{Y} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Значения его изменяются от «-1» до «1». Связь между признаками отсутствует при модуле значений – 0...0,15; слабая связь – 0,21...0,30; средняя – 0,41...0,60; высокая – 0,61...0,80; очень высокая – 0,81...0,90; полная связь – 0,91...1,0. Как правило, используют функцию, если значения коэффициента не менее 0,85.

Количественной мерой тесноты любой корреляционной зависимости является *корреляционное отношение* η , изменяющейся от нуля до 1.

$$\hat{\eta}_{yx} = \sqrt{1 - (S_B^2 / (S_B^2 + S_M^2))},$$

где S_B^2 – межгрупповая дисперсия или взвешенное среднее арифметическое групповых дисперсий;

S_M^2 – межгрупповая дисперсия или рассеяние групповых (условных) средних арифметических около общего среднего \bar{Y} .

$$S_B^2 = \frac{\sum_{j=1}^n S_j^2 \cdot Nx_j}{N}, \quad S_M^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{y}_{Xj} - \bar{Y}) \cdot Nx_j}{N}.$$

Гипотезу о характере корреляционной зависимости проверяют с помощью критерия:

$$W^2 = \frac{N - n}{n - 2} \cdot \frac{\hat{\eta}^2 - \hat{r}^2}{1 - \hat{\eta}^2}.$$

При линейной корреляционной зависимости, имеющей F -распределение со степенями свободы: $k_1=n-2$ и $k_2=N-n$. Если $W^2 < 1$, то берут обратное значение $1/W^2$, но меняют местами степени свободы. Полученное значение сравнивают с F_{α, k_1, k_2} . Если $W^2 < F_{\alpha, k_1, k_2}$ корреляционную зависимость считают линейной и наоборот.

При изучении системы случайных величин, включающей более чем две случайные величины, требуется определить связь между некоторой из этих величин и остальными. Количественной мерой этой связи является *множественный коэффициент корреляции* R . Например, для трех факторов $n=3$:

$$\widehat{R}_{1.23} = \sqrt{\frac{\widehat{r}_{12}^2 + \widehat{r}_{13}^2 - 2 \cdot \widehat{r}_{12}^2 \widehat{r}_{13}^2 \widehat{r}_{23}^2}{1 - \widehat{r}_{23}^2}}.$$

Достоверность оценки множественного коэффициента корреляции проверяют с помощью критерия, имеющего F -распределение со степенями свободы: $k_1=n-1$ и $k_2=N-n$:

$$F = \frac{\widehat{R}^2}{1 - \widehat{R}^2} \cdot \frac{N - n}{n - 1},$$

где N – число строк в опыте;

n – число случайных величин в изучаемой системе случайных величин.

Минимально допустимые значения выборочных коэффициентов корреляции даны в приложении.

Квадрат множественного коэффициента корреляции называют *множественной мерой определенности (коэффициент детерминации)*: он выражает долю изменения зависимости от случайной величины (например, X_1), которая определяется изменением остальных случайных величин системы. Отсюда следует, что величина $1-R^2$ будет выражать часть изменения зависимой переменной от факторов, которые не участвуют (не учтены) в рассматриваемой системе случайных величин.

Толерантность – определяется как единица минус квадрат коэффициента множественной корреляции этой переменной со всеми остальными независимыми переменными уравнения регрессии. Чем меньше толерантность переменной, тем более избыточен ее вклад в уравнение регрессии при данных значениях других переменных. Если толерантность стремится к нулю (равна нулю), то оценивание уравнения регрессии невозможно из-за плохой обусловленности матрицы эксперимента.

Коэффициент ковариации – используется для вычисления среднего произведения отклонений точек данной выборки от ее относительных средних. Характеризует статистическую зависимость между коэффициентами регрессии и является мерой связи между двумя диапазонами данных:

$$Cv(x, y) = \frac{\sum_i (x_i - \mu_x) \cdot (y_i - \mu_y)}{N} \text{ или } Cv = r \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y.$$

Его используют при оценке параметров, так если подобранная модель сильно отличается от реальной, то ошибки для оценок параметров могут оказаться очень большими. Иногда сказывается коррелированность факторов. Поэтому большие ее значения говорят о том, что некоторые параметры модели излишни.

Существуют также *статистика R Спирмена*, используемая как аналог r Пирсона, но вычисленная по рангам (а не по исходным наблюдениям); статистика Кендала *tau*, представляющая собой вероятность того, что значения двух переменных располагаются в одном и том же порядке, но минус вероятность того, что порядок нарушен. Когда имеется много совпадающих значений, предпочтительна *гамма статистика*, – вероятность того, что ранговый порядок двух переменных совпадает, минус вероятность того, что не совпадает, деленная на выражение: 1 минус вероятность совпадений.

При проведении серий опытов необходимо выявление минимально необходимого количества точек (уровней значений фактора, при котором производится замер необходимого числа измерений), которые позволили бы построить предполагаемую функциональную зависимость. Если общеизвестно, что данную зависимость хорошо описывает прямая линия, то ее положение вполне определимо двумя точками, однако при этом должна обеспечиваться надлежащая надежность результатов в рассматриваемых точках. В ряде случаев подобное осуществляется при логарифмировании получаемых значений в опытных точках, при возведении в степень, при извлечении корня, при получении экспоненты, логарифмической кривой, или степенной функции (пример 7). При факторном эксперименте применяется двухуровневое планирование. Однако используются и планы, требующие дополнительных точек в центре, а иногда и за границами плана (трех- и пятиуровневые). Для построения однофакторной кривой общепринято использовать количество точек не менее семи (при изменении одного фактора и фиксированном положении остальных). Иногда применяют 4-5 точек, если известен вид зависимости, либо большее количество уровней в местах перегибов эмпирических кривых.

Выбор вида уравнения регрессии очень ответственная операция. Так используя опытные данные по влиянию высоты столба корма на давление, создаваемое на пол, был получен ряд функциональных моделей.

Очень высокий коэффициент имеет модель, описываемая полиномом третьего порядка, несколько хуже – полиномом второго порядка и экспоненциальной моделью. Для сравнения этих трёх моделей обратимся к графику (рис.2.14). Приведённые результаты говорят о том, что полиномиальные модели применимы только на экспериментально исследованном участке ($H \leq 50$). При значительной высоте столба ($H \leq 300$) давление, согласно указанным моделям, будет принимать отрицательное значение.

Однако это не соответствует действительности. Более реальна экспоненциальная модель. С увеличением высоты столба материала масса уравнивающего груза асимптотически приближается к некоторой величине. Тем более, что данная модель хорошо согласуется с теоретическими положениями. Поэтому, как правило, получаемые эмпирические зависимости справедливы только на исследуемых участках факторов. Использование экстраполяции (переноса зависимостей за пределы значений аргумента) весьма ограничено.

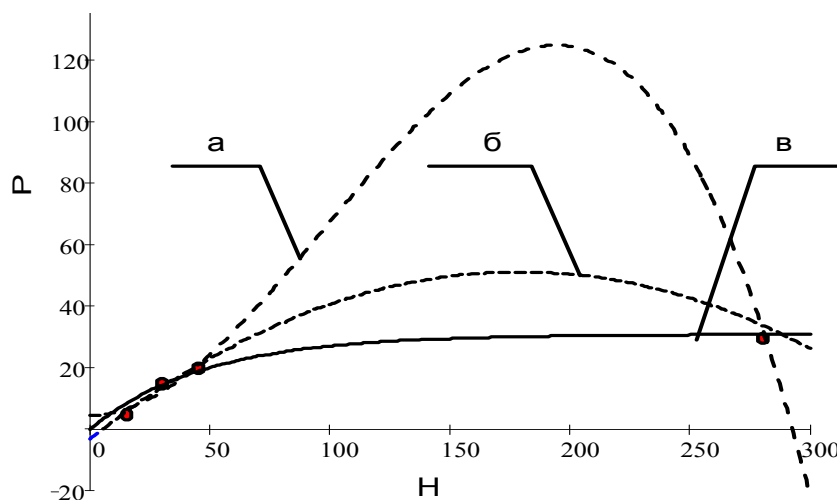


Рис.2.14. Влияние высоты столба материала H на давление P : полином третьего порядка (а), второго порядка (б) и экспоненциальная модель (в)

Экстраполяция – метод, при котором принимается, что развитие процесса во времени или изменение показателя с изменением основного параметра будут изменяться в соответствии с полученной зависимостью.

2.3.2. Методики проведения экспериментальных исследований

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Необходима разработка такой стратегии планирования эксперимента, которая позволила бы, проводя минимальное число опытов при одновременном варьировании всеми факторами, получить необходимые данные как для выявления искомых зависимостей, так и для определения оптимального (или по крайней мере рационального) значения конструктивно- технологических параметров исследуемого процесса.

Входные воздействия в процессе проведения эксперимента принято называть *факторами (независимыми переменными)*, а реакцию на них – *откликом (зависимой переменной)*. Значения отклика характеризуются изменением (приращением) соответствующего выходного показателя. Данный параметр подлежит оптимизации, и его называют *параметром*

оптимизации. Уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами, называют *функцией отклика*, а геометрическое ее представление – *поверхностью отклика*. Топографическое изображение поверхности отклика осуществляют *линиями равного выхода*, каждая из которых соответствует определенному значению параметра отклика.

Факторы бывают количественные и качественные. Качественные факторы – различные вещества, технологические способы, типы рабочих органов. Если фактор можно оценить количественно (взвесить, замерить и т.п.), то его называют количественным. Фактор должен быть управляемым – в процессе опыта иметь постоянное значение или изменяться по соответствующему закону.

Числовые значения исследуемых факторов называют *уровнем фактора*. Как правило, в опытах для упрощения и удобства обозначения и облегчения ручной обработки результатов вводят кодированные значения факторов, при этом минимальное значение фактора условно принимают равным «–1», максимальное значение принимают «+1». Иногда используют и промежуточные значения.

Величина изменения числовых значений фактора от минимальных до максимальных исследуемых значений называется *интервалом варьирования*. Интервал изменения численных значений факторов между соседними уровнями называется *шагом варьирования*. Интервал варьирования фактора должен быть больше удвоенной среднеквадратической ошибки его определения. Используют узкие (при сильно выраженной кривизне отклика), средние и широкие интервалы варьирования факторов (при низкой точности фиксирования факторов, малой кривизне поверхности отклика, узком диапазоне изменения интервала).

Ориентировочно можно считать, что узкие интервалы варьирования факторов должны составлять не более 10 % от интервала изменения соответствующих факторов, а средние – не более 30 %.

Современные компьютерные технологии позволяют обрабатывать опытные данные и получать функциональные зависимости как при использовании кодированных, так и натуральных значений факторов.

Используемая лабораторная установка должна позволять экспериментатору придавать каждому фактору любое возможное значение в пределах выбранного интервала и поддерживать или изменять по заданному закону его (значение) до конца опыта.

Проводимые опыты могут быть как пассивными, так и активными.

При **пассивном наблюдении** исследователь лишь регистрирует различные интересующие его стороны развития явления. Для регистрации используют самые разнообразные средства измерений и отметок. Пассивное наблюдение можно чередовать (во времени) с активным (экспериментом, опытом). Наблюдение становится **активным**, когда исследователь

сам определяет условия развития явления и видоизменяет эти условия в желаемом направлении для получения ясных закономерностей.

При планировании эксперимента широко используются методы подоби́я и размерностей; построение математических моделей; планирование эксперимента. Например, проводится экспериментальное исследование лабораторной установки с малыми габаритами, а результаты используются в производстве на агрегате, имеющем большие габариты. При этом дополнительно уточняется величина поправочного коэффициента.

Первой ступенью активного наблюдения являются **поисковые опыты**. Их проводят не столько для раскрытия имеющихся закономерностей, сколько:

- для проверки отдельных частей разработанной методики и приспособленности приборов к предполагаемым замерам;
- для обоснования количества замеров в опытах;
- для проверки общей работоспособности исследуемого опытного образца устройства с одновременным ориентировочным выявлением уровней и интервала изменения ряда факторов;
- для проверки варианта рабочей гипотезы и выбора направления элементов исследований с целью сокращения общего количества опытов (например, выбор типа рабочего органа).

Проводиться они могут как на лабораторных установках, так и непосредственно на опытном образце.

Если проверяют направление процесса, то обычно достаточно двух опытов. Если устанавливают, какие факторы обуславливают развитие явления, то минимальное количество опытов – удвоенное количество изучаемых факторов. При более детальном изучении фактора ставится небольшая серия (3–5) опытов.

При проведении экспериментальных исследований наибольшее распространение получили традиционные (классические) планы проведения эксперимента и теория факторного эксперимента. Каждый из вариантов имеет свои положительные и отрицательные моменты.

При этом задачи, решаемые в процессе исследований, бывают **интерполяционные** (только для выявления существующих связей между факторами и откликом) и **экстремальные** (когда требуется найти условия, при которых отклик, он же параметр оптимизации, достигает экстремального значения: максимума или минимума).

С целью устранения ошибок, при проведении опыта проводят **рандомизацию** – чередование опытов (сочетание значений – уровней факторов) в случайном порядке, по жеребьевке или по таблицам случайных чисел таким образом, чтобы в процессе опытов постоянно изменялось значение уровня конкретного фактора (по строкам плана). В случае отсутствия проведения рандомизации по экономическим или иным причинам, она может не проводиться. Однако это неизбежно скажется на точности полу-

чаемого результата. Чем меньше влияние фактора, тем больше положительное влияние рандомизации. В случае проведения опытов на нескольких машинах следует помнить, что если рандомизированный план и усредняет эффекты воздействия от конкретных особенностей машин, то не устраняет разницы между машинами.

При **классическом планировании** всем независимым переменным (факторам), кроме одной, придается постоянное значение. Переменную изменяют, придавая различные значения (варьируя уровень) во всем интервале изменений, а по результатам эксперимента находят функциональную зависимость (пример 7). Затем придают различные значения следующей переменной при постоянстве других факторов и также находят функциональную зависимость. Аналогично поступают со всеми независимыми переменными. По результатам проделанной работы устанавливают функциональную зависимость от всех независимых переменных.

Многофакторные эксперименты при классическом планировании проводятся также, как и однофакторные. Число факторов, как правило, небольшое (чаще всего до трех).

Недостатком указанной методики является высокая трудоемкость проведения экспериментальных работ. Положительный момент – четко прослеживаются имеющиеся тенденции изменения отклика.

Пример 7

Обработка результатов однофакторного плана и нахождение экстремума (листинг программы для Mathcad)

В результате проведения опытов известны исходные значения уровней фактора и получены данные величины отклика.

Количество факторов: $n1 := 1$

Количество уровней фактора в опыте: $N := 7 \quad i := 1..N$

Матрица плана эксперимента (в натуральных значениях):

$x_1 := 12 \quad x_2 := 14 \quad x_3 := 16 \quad x_4 := 18 \quad x_5 := 20 \quad x_6 := 22 \quad x_7 := 24$

$Xx := (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7)$

Количество повторностей опыта: $k := 3 \quad jj := 1..3$

Результаты проведения опыта:

$y_{1,1} := 91.2 \quad y_{2,1} := 94.3 \quad y_{3,1} := 96.4 \quad y_{4,1} := 97.5 \quad y_{5,1} := 98.9$

$y_{1,2} := 91.5 \quad y_{2,2} := 94.0 \quad y_{3,2} := 96.1 \quad y_{4,2} := 97.4 \quad y_{5,2} := 98.5$

$y_{1,3} := 91.8 \quad y_{2,3} := 93.8 \quad y_{3,3} := 95.8 \quad y_{4,3} := 97.0 \quad y_{5,3} := 98.2$

$y_{6,1} := 97.3 \quad y_{6,2} := 97.0 \quad y_{6,3} := 96.8$

$y_{7,1} := 95.5 \quad y_{7,2} := 94.7 \quad y_{7,3} := 94.5$

$$\sum_{jj} y_{i,jj}$$

Среднее значение результата: $Y_{срi} := \frac{\sum_{jj} y_{i,jj}}{k}$

Дисперсия каждого опыта:
$$S2_i := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{jj} (y_{i,jj} - Y_{cp_i})^2$$

Наибольшее значение дисперсии: $S2_{max} := \max(S2)$
 $S2_{max} = 0.093$

Количество степеней свободы: $v1 := k - 1$ $v1 = 2$
 $v2 := N - 1$ $v2 = 6$

Значение G-критерия Кохрена: $G := \frac{S2_{max}}{\sum_i S2_i}$ $G = 0.359$

$Y_{cp_i} =$	$S2_i =$
91.5	0.03
94.033	0.021
96.1	0.03
97.3	0.023
98.533	0.041
97.033	0.021
94.9	0.093

Табличное значение критерия Кохрена: $G_{табл} := 0.9985$ $G < G_{табл} = 1$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод об однородности дисперсий и, следовательно, о достаточной достоверности (воспроизводимости) эксперимента.

Укажем координату дополнительной (нулевой точки):

$$x_0 := x_1 - (x_2 - x_1) \quad x_0 = 10$$

Дисперсия воспроизводимости эксперимента:

$$S2_y := \frac{\sum_i S2_i}{N} \quad S2_y = 0.037$$

Поиск линейного уравнения регрессии (k=1)

Для получения исходной матрицы **data** используем значения векторов Xx и Ycp.

Выполняем математические преобразования для получения коэффициентов уравнения регрессии в виде полинома:

$$k := 1$$

Выделяем столбцы факторов:

$$X := data^{(0)} \quad Y := data^{(1)}$$

Количество строк матрицы: $n := \text{rows}(\text{data})$ $n = 7$

Поиск коэффициентов регрессии: $C := \text{regress}(X, Y, k)$

$$\text{data} := \begin{pmatrix} x_1 & Y_{cp1} \\ x_2 & Y_{cp2} \\ x_3 & Y_{cp3} \\ x_4 & Y_{cp4} \\ x_5 & Y_{cp5} \\ x_6 & Y_{cp6} \\ x_7 & Y_{cp7} \end{pmatrix}$$

$$\text{coeffs} := \text{submatrix}(C, 3, \text{length}(C) - 1, 0, 0) \quad \text{coeffs}^T = (89.639 \quad 0.333)$$

Значения коэффициентов регрессии: $b_0 := 89.639$ $b_1 := 0.333$

Уравнение регрессии: $Y'(x) := b_0 + b_1 \cdot x$

Расчетные значения по уравнению регрессии: $Y_{p_i} := b_0 + b_1 \cdot x_i$

Строим график опытных данных. Выбираем двумерный график и для Yp задаем тип линии **lines**, а для ΔYcp – **points** (рис. 2.15).

$$\text{Средние значения результатов: } Y_{p_{cp}} := \frac{\sum_i Y_{p_i}}{N} \quad Y_{cp} := \frac{\sum_i Y_{cp_i}}{N}$$

$$Y_{p_{cp}} = 95.633 \quad Y_{cp} = 95.629$$

Остаточная сумма квадратов (финальный остаток):

$$S^2_{2R} := \sum_{i=1}^k (Y_{pi} - Y_{cp_i})^2 \quad S^2_{2R} = 4.558$$

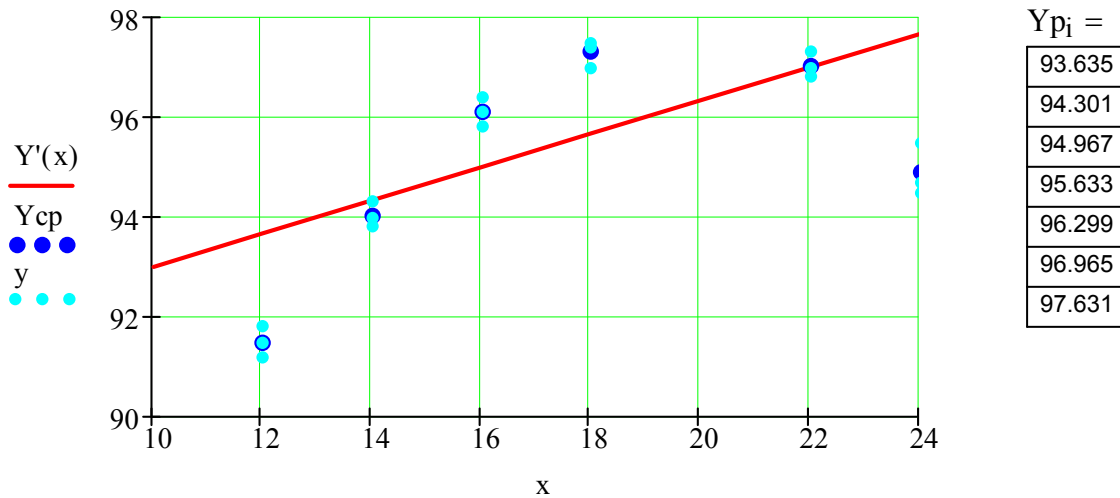


Рис. 2.15. Влияние величины X на Y

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Дисперсия отклонения результатов расчета от опытов:

$$S^2_{2ад} := \frac{S^2_{2R}}{N - (n1 + 1)} \quad S^2_{2ад} = 0.9116$$

F-критерий Фишера: $S_0 := S^2_{2ад}$ $S_1 := S^2_y$ $F := \frac{\max(S)}{\min(S)}$ $F = 24.544$

Критическое значение F-критерия Фишера: $F_{кр} := qF(1 - \alpha, \nu_1, \nu_2)$
 $|F| < F_{кр} = 0$ $F_{кр} = 5.143$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то гипотезу следует отвергнуть (не принимать), то есть мы должны сделать вывод о неравноточности или неравнорасеянности дисперсий (значимы различия представленных выборок), следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов.

Скорректированные средние квадратичные отклонения результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{p_{cp}} - Y_{pi})^2} \quad S_y := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - Y_{cp_i})^2}$$

$$S_x = 1.439 \quad S_y = 2.365$$

Выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - Y_{cp_i}) \cdot (Y_{p_{cp}} - Y_{pi}) \quad K_{xy} = 2.068$$

Коэффициент корреляции: $r := \frac{K_{xy}}{S_y \cdot S_x}$ $r = 0.608$

t-критерий коэффициента корреляции: $tr := \frac{r \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ $tr = 1.712$

Табличное значение t-критерия:
$$Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, k + 1 - 1\right)$$

$$|tr| < Tr = 1 \quad Tr = 12.706$$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не 0), то мы должны сделать вывод о несущественности различий в представленных выборках, то есть вычисленное значение коэффициента корреляции недостаточно.

Поиск уравнения регрессии второго порядка (k=2)

Для получения исходной матрицы data используем значения векторов Xx и Ycp.
 $k := 2$

Выполняем математические преобразования для получения коэффициентов уравнения регрессии в виде полинома:

Выделяем столбцы факторов:

$$X := data^{(0)} \quad Y := data^{(1)}$$

Количество строк матрицы: $n := rows(data) \quad n = 7$

Поиск коэффициентов регрессии: $C := regress(X, Y, k)$

$$coeffs := submatrix(C, 3, length(C) - 1, 0, 0)$$

$$coeffs^T = (51.964 \quad 4.736 \quad -0.122)$$

Значения коэффициентов регрессии:

$$b_0 := 51.964 \quad b_1 := 4.736 \quad b_2 := -0.122$$

$$data := \begin{pmatrix} x_1 & Y_{cp1} \\ x_2 & Y_{cp2} \\ x_3 & Y_{cp3} \\ x_4 & Y_{cp4} \\ x_5 & Y_{cp5} \\ x_6 & Y_{cp6} \\ x_7 & Y_{cp7} \end{pmatrix}$$

Уравнение регрессии:

$$Y(x) := b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot (x)^2$$

Расчетные значения по уравнению регрессии:

$$Y_{pi} := b_0 + b_1 \cdot x_i + b_2 \cdot (x_i)^2$$

Строим график опытных данных. Выбираем двумерный график и для Yp задаем тип линии **lines**, а для ΔYcp – **points** (рис. 2.16).

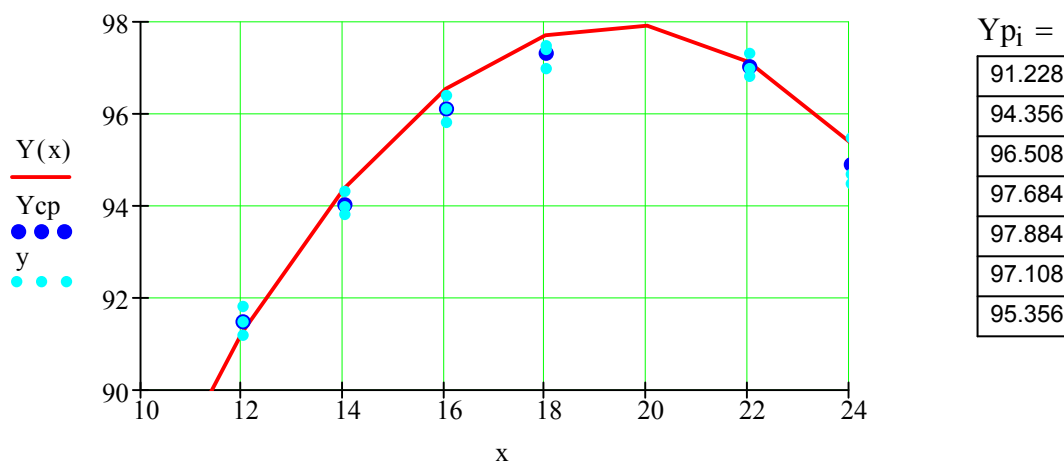


Рис. 2.16. Влияние величины X на Y

Средние значения результатов:

$$Y_{p_{cp}} := \frac{\sum Y_{pi}}{N} \quad Y_{cp} := \frac{\sum Y_{cp_i}}{N}$$

$$Y_{p_{cp}} = 95.732 \quad Y_{cp} = 95.629$$

Остаточная сумма квадратов (финальный остаток):

$$S2_R := \sum_{i=1}^k (Y_{pi} - Y_{cpi})^2 \quad S2_R = 4.558$$

Дисперсия отклонения результатов расчета от опытных данных:

$$S2_{ад} := \frac{S2_R}{N - (n1 + 1)} \quad S2_{ад} = 0.0356$$

F-критерий Фишера: $S_0 := S2_{ад}$ $S_1 := S2_y$ $F := \frac{\max(S)}{\min(S)}$ $F = 1.043$

Критическое значение F-критерия Фишера: $F_{кр} := qF(1 - \alpha, v1, v2)$
 $|F| < F_{кр} = 1$ $F_{кр} = 5.143$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод о равнозначности или равнорассеянности дисперсий (различия представленных выборок незначимы), следовательно, полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Скорректированные средние квадратичные отклонения результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{pcp} - Y_{pi})^2} \quad S_y := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - Y_{cpi})^2}$$

$$S_x = 2.354 \quad S_y = 2.365$$

Выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - Y_{cpi}) \cdot (Y_{pcp} - Y_{pi}) \quad K_{xy} = 5.479$$

Коэффициент корреляции: $r := \frac{K_{xy}}{S_y \cdot S_x}$ $r = 0.9843$

t-критерий коэффициента корреляции: $tr := \frac{r \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ $tr = 12.453$

Табличное значение t-критерия: $Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, k + 1 - 1\right)$
 $|tr| < Tr = 0$ $Tr = 4.303$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то мы должны сделать вывод о существенности различий в представленных выборках, то есть вычисленное значение коэффициента корреляции достоверно.

Оптимизация значений (поиск экстремума) функции

Начальное приближение: $X_n := x_5$ $X_n = 20$

Ключевое слово начала вычислительного блока: Give1

Поиск максимума с помощью функции *maximize* (минимум – *minimize*):

$$P := \text{Maximize}(Y, X_n)$$

Вычисленное значение x , соответствующее максимуму: $P = 19.41$

Значение искомой функции, соответствующее экстремуму: $Y(19.41) = 97.926$

Поиск уравнения регрессии гиперболического типа (k=1)

Преобразуем исходные данные в соответствии с используемой функцией, сделав замену переменной:

$$s_i := \frac{1}{Y_{cp_i}}$$

Для получения исходной матрицы **data** используем значения векторов S и Y_{cp}.

$$k := 1$$

Выполняем математические преобразования для получения коэффициентов уравнения регрессии в виде полинома.

Выделяем столбцы факторов: $X := data^{(0)}$ $Y := data^{(1)}$

Количество строк матрицы: $n := rows(data)$ $n = 7$

Поиск коэффициентов регрессии: $C := regress(X, Y, k)$

$$coeffs := submatrix(C, 3, length(C) - 1, 0, 0) \quad coeffs^T = (0.011 \quad -3.731 \times 10^{-5})$$

Значения коэффициентов регрессии: $b_0 := 0.011$ $b_1 := -3.731 \times 10^{-5}$

Уравнение регрессии после преобразования: $Y'(x) := (b_0 + b_1 \cdot x)^{-1}$

Расчетные значения по уравнению регрессии: $Y_{p_i} := \frac{1}{(b_0 + b_1 \cdot x_i)}$

Средние значения результатов: $Y_{cp} := \frac{\sum_i Y_{cp_i}}{N}$ $Y_{p_{cp}} := \frac{\sum_i Y_{p_i}}{N}$

$$Y_{cp} = 95.629 \quad Y_{p_{cp}} = 95.732$$

Остаточная сумма квадратов (финальный остаток):

$$S_{2R} := \sum_{i=1}^k (Y_{p_i} - Y_{cp_i})^2 \quad S_{2R} = 10.668$$

Строим график опытных данных. Выбираем двумерный график и для Y_p задаем тип линии **lines**, а для ΔY_{cp} – **points** (рис. 2.17).

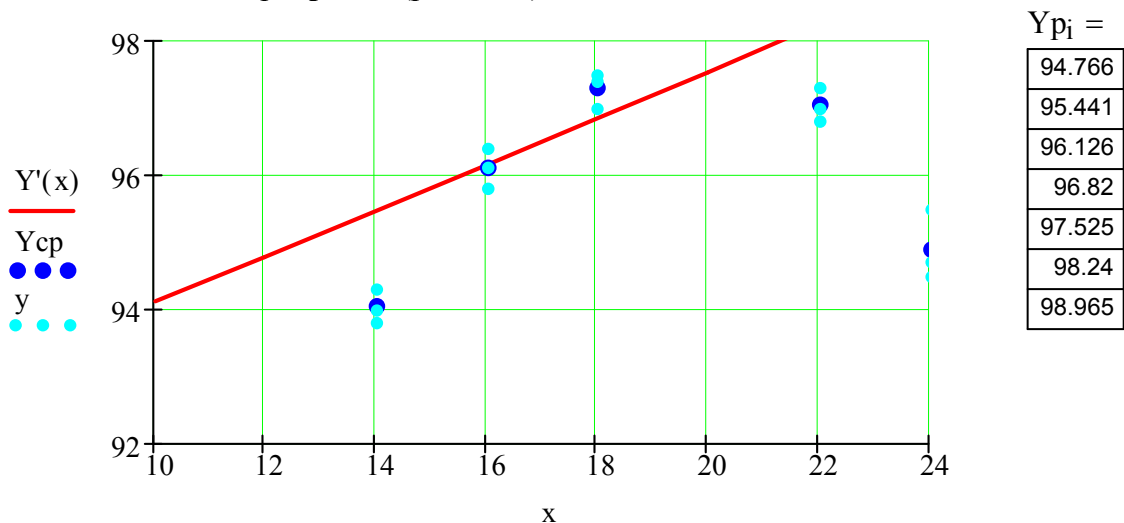


Рис. 2.17. Влияние величины X на Y

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Дисперсия отклонения результатов расчета от опытов:

$$S_{2\text{ад}} := \frac{S_{2R}}{N - (n_1 + 1)} \quad S_{2\text{ад}} = 0.0356$$

F-критерий Фишера: $S_0 := S_{2\text{ад}} \quad S_1 := S_{2y} \quad F := \frac{\max(S)}{\min(S)} \quad F = 57.445$

Критическое значение F-критерия Фишера: $F_{kp} := qF(1 - \alpha, v_1, v_2)$
 $|F| < F_{kp} = 0 \quad F_{kp} = 5.143$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то гипотезу следует отвергнуть (не принимать), то есть мы должны сделать вывод о неравноточности или неравнорасеянности дисперсий (различия представленных выборок значимы), следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов.

Скорректированные средние квадратичные отклонения результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{p\text{cp}} - Y_{pi})^2} \quad S_y := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{cp} - Y_{cpi})^2}$$

$S_x = 1.512 \quad S_y = 2.365$

Выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - Y_{cpi}) \cdot (Y_{p\text{cp}} - Y_{pi}) \quad K_{xy} = 2.138$$

Коэффициент корреляции: $r := \frac{K_{xy}}{S_y \cdot S_x} \quad r = 0.5982$

t-критерий коэффициента корреляции: $tr := \frac{r \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad tr = 1.669$

Табличное значение t-критерия: $Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, k + 1 - 1\right)$
 $|tr| < Tr = 1 \quad Tr = 12.706$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не 0), то различия представленных выборок не существенны, а коэффициент корреляции не достоверен.

Проведение **факторного эксперимента** осуществляется по заранее намеченной стратегии исследования для изучения влияния одновременно нескольких факторов. При обработке данных вид формальной математической модели задается до проведения эксперимента, а в ходе его определяются только значения коэффициентов.

Проведение экспериментов, как правило, производится только на двух уровнях факторов: нижнем (-1) и верхнем (+1) или сокращенно «-, +» уровнях, что сокращает объем экспериментальной работы. В ряде способов

планирования экспериментов используются и средние значения уровня факторов (0).

Имеется возможность варьирования (изменения значений) сразу несколькими, а не одним фактором, что также сокращает объем экспериментальной работы без потери точности. Факторный эксперимент позволяет выявить значимость действия факторов. При этом **эффект** фактора – изменение отклика при изменении уровня данного фактора.

Если число исследуемых факторов не превышает трех, то применяют полный факторный эксперимент. При числе факторов от трех до пятнадцати используют дробные реплики. Когда количество факторов превышает 15, то осуществляется ранжирование (выявление значимости) факторов. Несущественные факторы отсеивают. Для этого используют априорный отсев факторов (на основе проведенных теоретических исследований, данных литературных источников, по аналогии с подобными системами и т.п.), априорное ранжирование факторов, иногда отсеивающий эксперимент. При этом у малозначущих факторов, отсеиваемых для дальнейших экспериментов, определяют их рациональное значение.

Нередко предварительно проводятся небольшие серии опытов для отыскания месторасположения области оптимума. При этом желательно двигаться наиболее коротким путем, например – методом восхождения по поверхности отклика в направлении градиента, под которым понимают наибольшую скорость изменения функции.

Участок, на котором значение функции почти не меняется (почти горизонтальная область) используется для реализации оптимальных планов (заключительный этап факторного планирования).

При выборе количества факторов для реализации планов эксперимента следует не забывать, что при росте числа факторов повышается вероятность расхождения существующих тенденций, наблюдающихся в получаемой модели и у реального процесса.

Причина такого расхождения объясняется несовершенством полученной трехфакторной математической модели. Дело в том, что математическая модель фактически не описывает реальный исследуемый процесс, а стремится пройти через опытные точки плана эксперимента. Это связано с тем, что в процессе же получения математической модели осуществляется подбор числовых значений коэффициентов регрессии выбранной функции, обеспечивающих максимальное приближение расчетных значений отклика к опытным данным в точках плана эксперимента. В связи с наличием аналогичных фактов полученные модели должны подвергаться не только статистическому, но и графическому, и логическому анализу.

Полученные опытные значения отклика представляются в виде некоторой математической функции (модели), описывающей его (отклика) поверхность (см. регрессионный анализ), анализируя уже которую находят оптимум (экстремум функции-модели), а после этого проводят экспериментальную проверку истинности полученного экстремума.

В качестве **критерия оптимизации** можно использовать экономический показатель, выход продукта, энергозатраты и т.п., главное, чтобы критерий имел ясный физический смысл и количественную оценку, а его выбор был должным образом обоснован. Иногда используется один критерий оптимизации и дополнительно осуществляется решение интерполяционной задачи для определения влияния факторов на ряд дополнительных показателей, играющих роль ограничений (например, степень выхода продукции из сырья – критерий оптимизации, а производительность оборудования, энергоемкость процесса и качество продукции – ограничения, характеризующие рабочий процесс). Иногда используют несколько критериев оптимизации – в этом случае требуется решить комплексную задачу. В общем случае выбор критерия оптимизации определяется конкретными особенностями объекта исследования, его физической природой, возможностями экспериментальной установки и интуицией исследователя.

Данный параметр должен обладать простым и ясным физическим смыслом, не зависеть от времени, быть эффективным с точки зрения поставленной цели, универсальным и всесторонне отражать свойства процесса, обладать количественной оценкой и отражаться числом (пусть даже баллами), быть статистически эффективным (иметь наименьшую при данных условиях дисперсию).

Прочие характеристики процесса (количественные, качественные и энергетические показатели) выступают как ограничения. Регистрация указанных данных в проводимых опытах позволит получить более объемную, красочную картину протекания исследуемого процесса. Анализ характера их изменения, наряду с критерием оптимизации, может оказаться полезным при решении ряда практических задач, а также позволит выявить (а иногда подтвердить) существующие внутренние тенденции.

Желательно, чтобы отсеивающий эксперимент был проведен в тех же интервалах варьирования факторов, что и планы по оптимизации значений отклика. В противном случае нельзя будет утверждать, что значимость факторов сохранилась. Наиболее распространенные варианты реализации экспериментов приведены на рис.2.18.



Рис.2.18. Общая схема проведения эксперимента при факторном планировании

Априорное ранжирование факторов (психологический эксперимент) – формализация разрозненных сведений об изучаемом объекте, позволяющая сравнить различные факторы между собой для решения экспериментальной задачи. Суть данного метода сводится к следующему: что исследователям из различных научных школ предлагается расположить факторы, действующие в объекте, в порядке убывания величины вносимого ими вклада или влияния на критерий оптимизации, т.е. требуется проранжировать n потенциально возможных факторов, присвоив им порядковые номера (ранги): 1, 2, 3... n .

Каждому специалисту при опросе предлагается заполнить анкету с указанием предполагаемых факторов, их размерности и предполагаемых интервалов варьирования. Специалист назначает место каждого фактора, а также может дополнить анкету новыми факторами или изменить интервал варьирования. Количество участников опроса должно быть по возможности максимальным.

По результатам опроса вычисляется коэффициент конкордации W (согласования), определяющий степень согласованности мнений специалистов:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)},$$

где m – количество опрашиваемых специалистов;

n – количество факторов;

S – сумма квадратов отклонений:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m a_{i,j} - L \right)^2,$$

здесь $a_{i,j}$ – ранг (порядковый номер при опросе) i -го фактора у j -го специалиста;

L – среднее значение сумм рангов по каждому фактору:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{i,j}}{n}.$$

При наличии связанных рангов: $W = \frac{S}{\left(\frac{1}{12}\right) \cdot m^2 \cdot (n^3 - n) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_j}$.

Чем ближе к 1 значение W (или далее от 0), тем больше согласованность мнений у специалистов. Если специалист не может решить, кому отдать предпочтение – второму или третьему фактору, то каждому из них приписывается значение 2,5. Данные факторы обладают связанными рангами.

Проверка значимости коэффициента конкордации проводится по критерию χ^2 :

$$\chi^2 = W \cdot m \cdot (n - 1) = \frac{S}{\left(\frac{1}{12}\right) \cdot m \cdot n \cdot (n + 1)}.$$

Или для связанных рангов:

$$\chi^2 = \frac{S}{\left(\frac{1}{12}\right) \cdot m \cdot n \cdot (n + 1) - \frac{1}{n - 1} \cdot T_i},$$

где $T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^m (t_j^3 - t_j)$;

t_j – j -е количество одинаковых рангов в j -м ранжировании.

Если значение распределения больше табличного при соответствующем числе степеней свободы, то коэффициент конкордации значимо отличается от нуля и можно утверждать, что согласованность исследователей не является случайной.

Пример 8

Обработка результатов ранжирования факторов (листинг программы для Mathcad)

Количество факторов: $n := 15$ $i := 0..n - 1$

Количество опрошенных специалистов: $m := 10$ $j := 0..m - 1$

Матрица плана опроса:

$$\begin{array}{ccccc}
 a_0 := \begin{pmatrix} 8 \\ 7 \\ 4 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 5 \\ 6 \\ 9 \\ 12 \\ 11 \\ 10 \\ 13 \\ 14 \\ 15 \end{pmatrix} &
 a_1 := \begin{pmatrix} 7 \\ 6 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \\ 5 \\ 8 \\ 10 \\ 9 \\ 11 \\ 12 \\ 14 \\ 13 \\ 15 \end{pmatrix} &
 a_2 := \begin{pmatrix} 9 \\ 8 \\ 4 \\ 1 \\ 3 \\ 2 \\ 2 \\ 6 \\ 7 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \\ 13 \\ 5 \\ 14 \end{pmatrix} &
 a_3 := \begin{pmatrix} 5 \\ 4 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 6 \\ 8 \\ 7 \\ 10 \\ 9 \\ 12 \\ 11 \\ 15 \\ 13 \\ 14 \end{pmatrix} &
 a_4 := \begin{pmatrix} 14 \\ 11 \\ 9 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 7 \\ 8 \\ 10 \\ 12 \\ 13 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc}
 \begin{array}{c} a5 := \\ \left(\begin{array}{c} 13 \\ 11 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 12 \\ 15 \\ 14 \end{array} \right) & & \begin{array}{c} a6 := \\ \left(\begin{array}{c} 11 \\ 10 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 1 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 13 \\ 12 \\ 14 \\ 15 \end{array} \right) & & \begin{array}{c} a7 := \\ \left(\begin{array}{c} 8 \\ 10 \\ 7 \\ 2 \\ 5 \\ 6 \\ 1 \\ 4 \\ 3 \\ 9 \\ 11 \\ 13 \\ 12 \\ 14 \\ 15 \end{array} \right) & & \begin{array}{c} a8 := \\ \left(\begin{array}{c} 7 \\ 8 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 9 \\ 10 \\ 1 \\ 12 \\ 11 \\ 13 \\ 15 \\ 14 \end{array} \right) & & \begin{array}{c} a9 := \\ \left(\begin{array}{c} 7 \\ 8 \\ 6 \\ 5 \\ 2 \\ 15 \\ 4 \\ 3 \\ 9 \\ 8 \\ 10 \\ 14 \\ 11 \\ 12 \\ 13 \end{array} \right)
 \end{array}
 \end{array}$$

Количество связанных рангов, указанных каждым специалистом:

$$\begin{array}{ccccc}
 t_0 := 0 & t_1 := 0 & t_2 := 2 & t_3 := 0 & t_4 := 0 \\
 t_5 := 0 & t_6 := 0 & t_7 := 0 & t_8 := 0 & t_9 := 0
 \end{array}$$

Среднее значение сумм рангов по каждому фактору:

$$\begin{array}{ccccc}
 \sum_i a_{0i} & \sum_i a_{1i} & \sum_i a_{2i} & \sum_i a_{3i} & \sum_i a_{4i} \\
 L0 := \frac{\quad}{n} & L1 := \frac{\quad}{n} & L2 := \frac{\quad}{n} & L3 := \frac{\quad}{n} & L4 := \frac{\quad}{n} \\
 \sum_i a_{5i} & \sum_i a_{6i} & \sum_i a_{7i} & \sum_i a_{8i} & \sum_i a_{9i} \\
 L5 := \frac{\quad}{n} & L6 := \frac{\quad}{n} & L7 := \frac{\quad}{n} & L8 := \frac{\quad}{n} & L9 := \frac{\quad}{n}
 \end{array}$$

Сумма квадратов квадратичных отклонений:

$$\begin{array}{l}
 S1 := \sum_i (a_{0i} - L0)^2 + \sum_i (a_{1i} - L1)^2 + \sum_i (a_{2i} - L2)^2 + \sum_i (a_{3i} - L3)^2 \\
 S2 := \sum_i (a_{4i} - L4)^2 + \sum_i (a_{5i} - L5)^2 + \sum_i (a_{6i} - L6)^2 + \sum_i (a_{7i} - L7)^2 \\
 S3 := \sum_i (a_{8i} - L8)^2 + \sum_i (a_{9i} - L9)^2 \\
 S := S1 + S2 + S3 \quad S = 2723.467
 \end{array}$$

Коэффициент связанности факторов: $T := \frac{\sum_j [(t_j)^3 - t_j]}{12} \quad T = 0.5$

Коэффициент конкордации (согласования):

$$W := \frac{S}{m^2 \cdot (n^3 - n) \cdot 12^{-1}} \quad W = 0.0973$$

при наличии связанных рангов:

$$W1 := \frac{S}{12^{-1} \cdot m^2 \cdot (n^3 - n) - m \cdot T} \quad W1 = 0.0973$$

Критерий χ^2 :

$$\chi^2 := \frac{S}{12^{-1} \cdot m \cdot n \cdot (n + 1) - (n - 1) \cdot T} \quad \chi^2 = 14.111$$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Критическое значение χ^2 - критерия Пирсона, соответствующее уровню значимости ошибки $\alpha = 0.05$ и числу степеней свободы $m \cdot (n - 1) = 140$

$$\chi^2_T := \text{qchisq} \left[\frac{\alpha}{2}, m \cdot (n - 1) \right] \quad \chi^2_T = 109.137$$

$$|\chi^2| < \chi^2_T = 1$$

Поскольку χ^2 меньше табличного значения (неравенство равно единице), поэтому различия между сравниваемыми распределениями не существенны, а отклонения носят случайный характер.

Усредненное значение рангов:

$$A_i := a_{0i} + a_{1i} + a_{2i} + a_{3i} + a_{4i} + a_{5i} + a_{6i} + a_{7i} + a_{8i} + a_{9i}$$

Строим диаграмму рассеяния значений. Выбираем двумерный график и задаем тип линии **bar** (рис. 2.19).

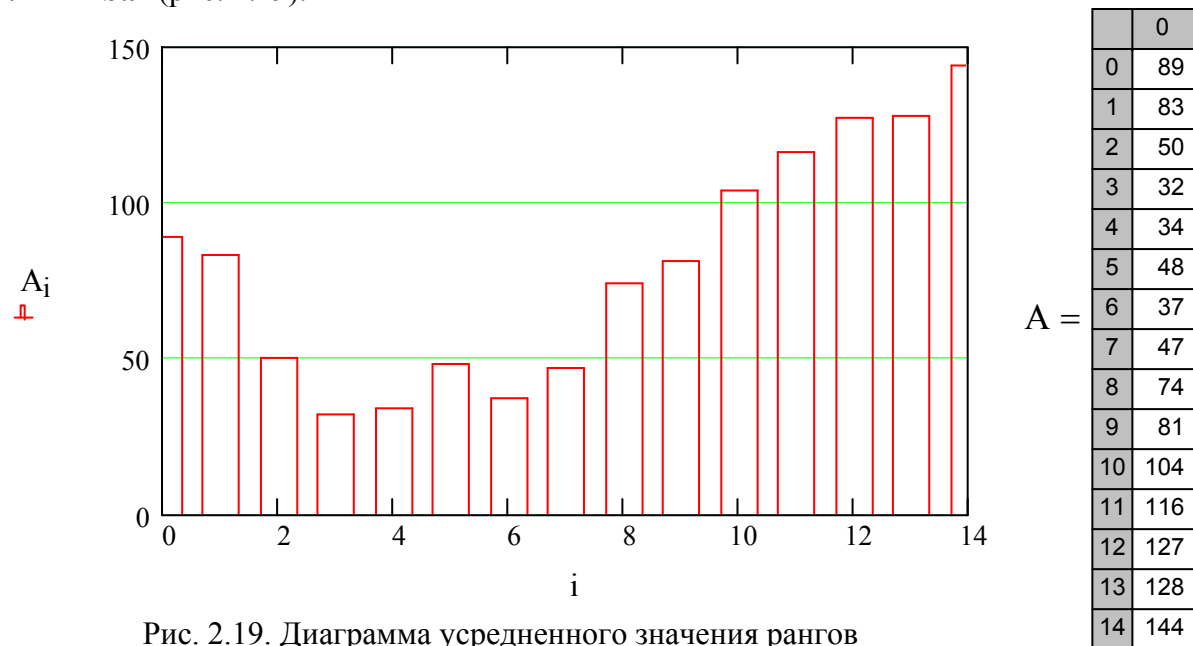


Рис. 2.19. Диаграмма усредненного значения рангов

Ранжирование факторов по их значимости (рис. 2.20): $Ay_i := \max(A) - A_i$

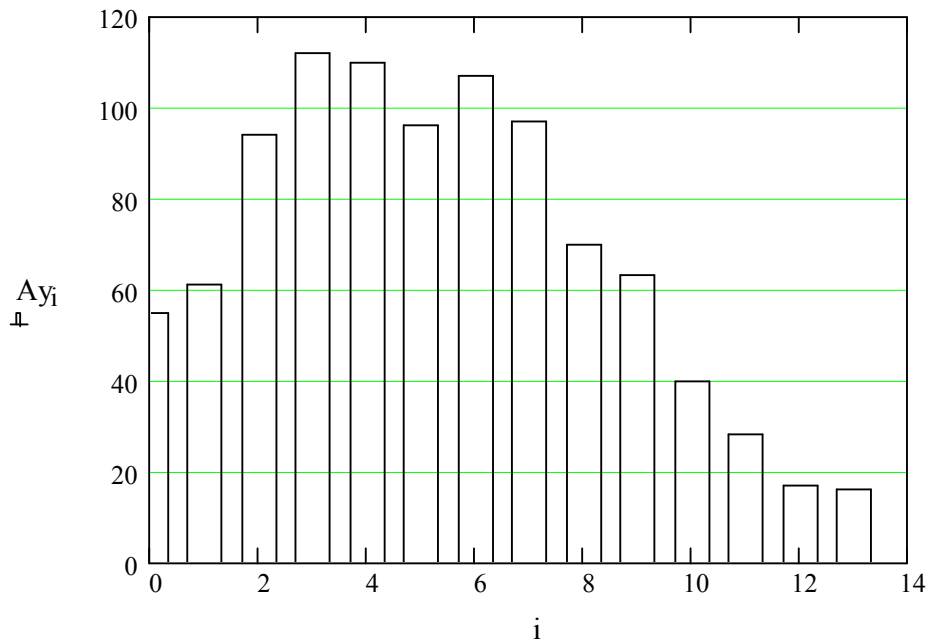


Рис. 2.20. Диаграмма значимости факторов

Большая высота ранга говорит о преимущественности выбора фактора. Так, по мнению специалистов, наибольшее предпочтение отдается 3, 4 и 6 факторам.

Построим статистический ряд, расположив информацию в порядке возрастания данных с помощью функции **sort** (рис. 2.21). $Ay := \text{sort}(Ay)$

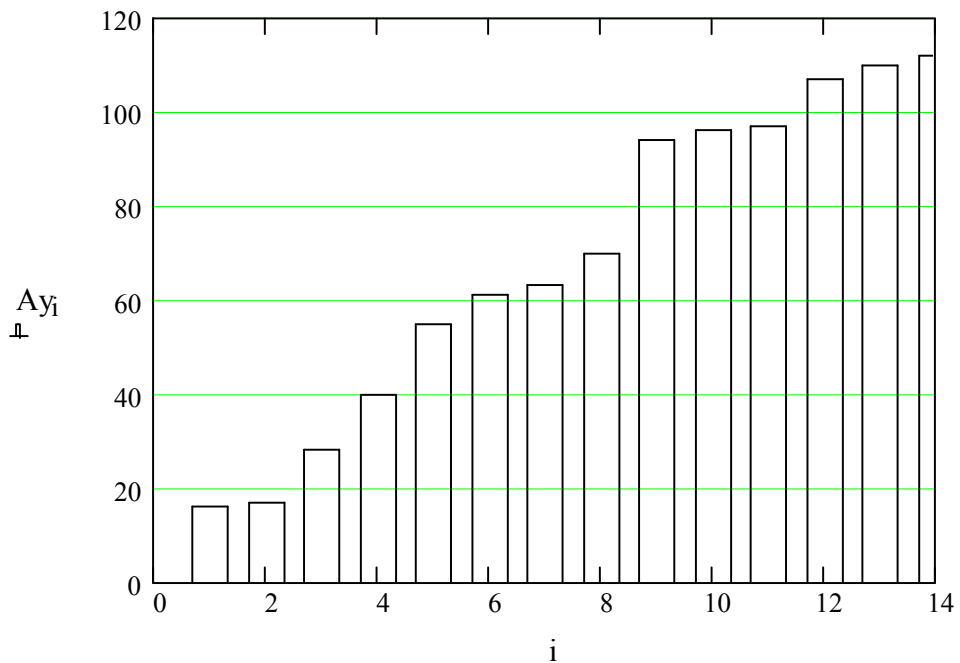


Рис. 2.21. Диаграмма значимости факторов

По результатам расчета строится диаграмма рангов факторов, отражающая коллективное мнение специалистов. В случае неравномерного убывания диаграммы (наподобие экспоненты) – для дальнейших опытов отбирают небольшую часть наиболее «главных» факторов, а остальные исключают. При монотонном убывании следует включать в дальнейшие опыты по возможности большее количество факторов.

Метод случайного баланса (отсеивающий эксперимент) используется для выявления влияния отдельных факторов и исключения в последующих опытах малозначащих факторов. Он проводится с целью сокращения последующего количества проводимых опытов. Не следует забывать, что при отсеивающих экспериментах дается грубая, приближенная оценка влияния факторов. Поэтому при сомнении относительно влияния какого-либо фактора желательно все же включить его в последующий план опытов, а не отбросить.

Вначале проводят серию опытов по специальной матрице (взяв случайное сочетание уровней факторов «+» и «-» либо используя случайное смешивание двух полуреплик), а затем строят диаграммы рассеяния для визуальной оценки, влияния того или иного фактора для количественной оценки. В первой половине списка факторов стараются поместить наиболее значимые факторы по априорному ранжированию для построения первой полуреплики, во вторую полуреплику включают оставшиеся факторы, распределяя их значения случайным образом. Матрица считается пригодной (табл. 2.3), если в ней нет двух однотипных столбцов (с одинаковыми или неодинаковыми знаками). Наличие столбцов с одинаковыми знаками не позволит различить их эффекты. Также должны отсутствовать столбцы, скалярное произведение которых на любой другой столбец дает столбцы из одинаковых знаков (+ или -). Записывают также значения отклика по повторностям и среднее значение. Обязательной строкой (для контроля линейности модели) является наличие значений факторов в центре интервала варьирования, т.е. при значениях уровней, равных нулю.

Для анализа результатов строят диаграммы рассеяния. Для этого по оси абсцисс наносят все факторы с их уровнями, а по оси ординат – опытные значения критерия оптимизации (отклика). Каждый фактор и его уровень подразделяют на группы, а для каждого из них в отдельности указывают величину отклика. Степень влияния того или иного фактора оценивают визуально (либо в цифровой величине) по значению разности между средними значениями критерия оптимизации, вычисленного для каждого уровня фактора.

Таблица 2.3

Матрица отсеивающего эксперимента

№ п/п	Факторы								Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈				
1	-	-	-	-	+	-	+	+				
2	+	+	-	-	-	+	+	+				
3	+	-	+	-	+	-	-	-				
4	+	-	-	+	+	+	+	-				
5	-	+	+	-	-	-	-	+				
6	-	+	-	+	+	+	-	+				
7	-	-	+	+	-	+	-	-				
8	+	+	+	+	-	-	+	-				
9	-	+	-	+	+	-	+	+				
10	+	+	-	-	-	-	-	+				
11	0	0	0	0	0	0	0	0				

В качестве среднего значения отклика для одного уровня принимается медиана (использование среднего арифметического значения в инженерных исследованиях может привести к абсурду). Учитывается также количество «выделяющихся» точек.

Для каждого фактора определяется величина эффектов и проверяется их значимость по t -критерию. Вычисленное значение критерия должно быть больше табличного.

После выделения нескольких эффектов производится корректировка результатов для выделения эффектов менее сильных факторов и их взаимодействий. Для этого прибавляем с обратным знаком эффекты выделенных факторов к результатам отсеивающих экспериментов. Факторы бывают иногда незначимы, но оказываются сильны их парные взаимодействия.

Часто встречается случай, когда часть факторов значима, а часть нет. Если данный фактор включался в план из осторожности, то его можно отсеять. Обычно же расширяют интервал варьирования в следующей серии опытов. При повторении результата – фактор можно отсеять. Иногда, когда нельзя расширить интервалы варьирования факторов, рекомендуется многократное повторение той же серии эксперимента, что позволяет при статистическом усреднении выделить значимые коэффициенты.

Пример 9

Обработка результатов отсеивающего эксперимента (листинг программы для Mathcad)

Количество факторов: $n := 8$ $j := 0..n$

Количество строк в опыте: $N := 10$ $i := 1..N$

Матрица плана эксперимента:

```

x1,1 := -1    x2,1 := 1    x3,1 := 1    x4,1 := -1    x5,1 := 1    x6,1 := -1
x7,1 := 1     x8,1 := -1    x1,2 := 1    x2,2 := 1    x3,2 := 1    x4,2 := 1
x5,2 := -1    x6,2 := 1    x7,2 := 1    x8,2 := -1    x1,3 := 1    x2,3 := 1
x3,3 := -1    x4,3 := -1    x5,3 := 1    x6,3 := 1    x7,3 := 1    x8,3 := 1
x1,4 := 1     x2,4 := -1    x3,4 := -1    x4,4 := -1    x5,4 := 1    x6,4 := -1
x7,4 := -1    x8,4 := 1     x1,5 := -1    x2,5 := -1    x3,5 := 1    x4,5 := 1
x5,5 := -1    x6,5 := -1    x7,5 := -1    x8,5 := -1    x1,6 := 1    x2,6 := -1
x3,6 := 1     x4,6 := -1    x5,6 := 1    x6,6 := 1    x7,6 := -1    x8,6 := -1
x1,7 := -1    x2,7 := -1    x3,7 := -1    x4,7 := 1     x5,7 := -1    x6,7 := 1
x7,7 := 1     x8,7 := 1     x1,8 := -1    x2,8 := 1     x3,8 := 1     x4,8 := 1
x5,8 := -1    x6,8 := -1    x7,8 := 1     x8,8 := 1     x1,9 := -1    x2,9 := -1
x3,9 := -1    x4,9 := 1     x5,9 := -1    x6,9 := 1     x7,9 := -1    x8,9 := 1
x1,10 := 1    x2,10 := -1   x3,10 := 1    x4,10 := -1   x5,10 := -1   x6,10 := 1
x7,10 := -1   x8,10 := -1                                     x0,i := 1

```

$$X_x := \begin{pmatrix} x_{0,1} & x_{1,1} & x_{2,1} & x_{3,1} & x_{4,1} & x_{5,1} & x_{6,1} & x_{7,1} & x_{8,1} \\ x_{0,2} & x_{1,2} & x_{2,2} & x_{3,2} & x_{4,2} & x_{5,2} & x_{6,2} & x_{7,2} & x_{8,2} \\ x_{0,3} & x_{1,3} & x_{2,3} & x_{3,3} & x_{4,3} & x_{5,3} & x_{6,3} & x_{7,3} & x_{8,3} \\ x_{0,4} & x_{1,4} & x_{2,4} & x_{3,4} & x_{4,4} & x_{5,4} & x_{6,4} & x_{7,4} & x_{8,4} \\ x_{0,5} & x_{1,5} & x_{2,5} & x_{3,5} & x_{4,5} & x_{5,5} & x_{6,5} & x_{7,5} & x_{8,5} \\ x_{0,6} & x_{1,6} & x_{2,6} & x_{3,6} & x_{4,6} & x_{5,6} & x_{6,6} & x_{7,6} & x_{8,6} \\ x_{0,7} & x_{1,7} & x_{2,7} & x_{3,7} & x_{4,7} & x_{5,7} & x_{6,7} & x_{7,7} & x_{8,7} \\ x_{0,8} & x_{1,8} & x_{2,8} & x_{3,8} & x_{4,8} & x_{5,8} & x_{6,8} & x_{7,8} & x_{8,8} \\ x_{0,9} & x_{1,9} & x_{2,9} & x_{3,9} & x_{4,9} & x_{5,9} & x_{6,9} & x_{7,9} & x_{8,9} \\ x_{0,10} & x_{1,10} & x_{2,10} & x_{3,10} & x_{4,10} & x_{5,10} & x_{6,10} & x_{7,10} & x_{8,10} \end{pmatrix}$$

Количество повторностей опыта: $k := 3$ $jj := 1..3$

Результаты проведения опыта:

```

y1,1 := 58.5    y1,2 := 64.0    y1,3 := 64.1    y1,4 := 62.9    y1,5 := 58.0
y2,1 := 59.0    y2,2 := 64.9    y2,3 := 65.0    y2,4 := 63.8    y2,5 := 59.9
y3,1 := 59.4    y3,2 := 64.5    y3,3 := 64.8    y3,4 := 63.3    y3,5 := 58.6
y1,6 := 59      y1,7 := 63.3    y1,8 := 64.8    y1,9 := 58.0    y1,10 := 64.8
y2,6 := 59.5    y2,7 := 63.0    y2,8 := 65.7    y2,9 := 59.0    y2,10 := 64.4
y3,6 := 58.6    y3,7 := 63.6    y3,8 := 65.2    y3,9 := 60.0    y3,10 := 65.2

```

Среднее значение результата:

$$Y_{cpj} := \frac{\sum_{jj} y_{jj,i}}{k}$$

Дисперсия каждого опыта:

$$S2_i := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{jj} (y_{jj,i} - Y_{cpj})^2$$

Наибольшее значение дисперсии:

$$S2_{max} := \max(S2)$$

$$S2_{max} = 0.222$$

Количество степеней свободы:

$$k1 := k - 1 \quad k1 = 2$$

$$k2 := N - 1 \quad k2 = 9$$

Значение G-критерия Кохрена:

$$G := \frac{S2_{max}}{\sum_i S2_i} \quad G = 0.291$$

S2 _i =	Y _{cpj} =
0.045	58.967
0.045	64.467
0.05	64.633
0.045	63.333
0.21	58.833
0.045	59.033
0.02	63.3
0.045	65.233
0.222	59
0.036	64.8

Корректированный отклик Y_k
(см. коррекция в конце)

Y _i :=	Y _{kj} :=
Y _{cp1}	58.97
Y _{cp2}	64.47
Y _{cp3}	64.63
Y _{cp4}	63.33
Y _{cp5}	58.83
Y _{cp6}	59.03
Y _{cp7}	63.3
Y _{cp8}	65.23
Y _{cp9}	59
Y _{cp10}	64.8

Определяемся в потребности коррекции отклика: Y := Y:

Табличное значение критерия Кохрена: G_{табл} := 0.8010

$$G < G_{табл} = 1$$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод об однородности дисперсий и, следовательно, о достаточной достоверности (воспроизводимости) эксперимента.

$$\sum_i S2_i$$

Дисперсия воспроизводимости эксперимента: S2_y := $\frac{i}{N}$ S2_y = 0.076

Построение матрицы, транспонированной X_x:

$$Xx' := Xx^T$$

Умножим слева матрицу X_x на матрицу X_x':

$$H := Xx' \cdot Xx$$

Умножим слева матрицу X_x на матрицу Y:

$$Xy := Xx' \cdot Y$$

Обратная матрица H:

$$C := (Xx' \cdot Xx)^{-1}$$

Xx' =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1
4	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1
5	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1
6	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1
7	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1
8	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1

Xx =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1
2	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
3	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1
5	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
6	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1
8	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1
9	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1

$$H = \begin{pmatrix} 10 & 0 & -2 & 2 & 0 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & -6 & 4 & 4 & -2 & -2 \\ -2 & 0 & 10 & 2 & 0 & 2 & -2 & 8 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 10 & 0 & -2 & -2 & 0 & -8 \\ 0 & -6 & 0 & 0 & 10 & -8 & 0 & 2 & 2 \\ -2 & 4 & 2 & -2 & -8 & 10 & -2 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & -2 & -2 & 0 & -2 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 8 & 0 & 2 & 0 & 0 & 10 & 2 \\ 0 & -2 & 0 & -8 & 2 & 0 & 0 & 2 & 10 \end{pmatrix} \quad Xy = \begin{pmatrix} 621.6 \\ 10.933 \\ -115 \\ 121.067 \\ 0.067 \\ -129.667 \\ 128.867 \\ 11.6 \\ 9.4 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 0.167 & 0 & 0.125 & -0.167 & 0.042 & 0 & -0.042 & -0.083 & -0.125 \\ 0 & 0.25 & -0.125 & 0 & 0.125 & 0 & -0.125 & 0.125 & 0 \\ 0.125 & -0.125 & 0.563 & -0.25 & -0.062 & -0.125 & 0.063 & -0.438 & -0.125 \\ -0.167 & 0 & -0.25 & 0.667 & 0.083 & 0.25 & 0.167 & 0.083 & 0.5 \\ 0.042 & 0.125 & -0.062 & 0.083 & 0.479 & 0.375 & 0.021 & -0.021 & 0 \\ 0 & 0 & -0.125 & 0.25 & 0.375 & 0.5 & 0.125 & 0 & 0.125 \\ -0.042 & -0.125 & 0.063 & 0.167 & 0.021 & 0.125 & 0.229 & -0.104 & 0.125 \\ -0.083 & 0.125 & -0.438 & 0.083 & -0.021 & 0 & -0.104 & 0.479 & 0 \\ -0.125 & 0 & -0.125 & 0.5 & 0 & 0.125 & 0.125 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}$$

Значения коэффициентов регрессии: $b := (C \cdot Xy)$

Расчетные значения по уравнению регрессии: $Y_{p_i} := b_0 + \sum_{j=1}^n x_{j,i} \cdot b_j$

Визуальным анализом сверяем соответствие расчетных и опытных значений (учитывая смещение показателей).

$$b = \begin{pmatrix} 61.539 \\ 2.458 \\ -0.612 \\ 0.594 \\ -1.607 \\ -2.883 \\ -0.985 \\ 2.101 \\ 1.808 \end{pmatrix} \quad Y_p = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0 \\ \hline 1 & 59.06 \\ \hline 2 & 64.56 \\ \hline 3 & 64.44 \\ \hline 4 & 63.43 \\ \hline 5 & 58.64 \\ \hline 6 & 59.03 \\ \hline 7 & 63.3 \\ \hline 8 & 65.23 \\ \hline 9 & 59.1 \\ \hline 10 & 64.8 \\ \hline \end{array} \quad Y = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 58.97 \\ \hline 1 & 64.47 \\ \hline 2 & 64.63 \\ \hline 3 & 63.33 \\ \hline 4 & 58.83 \\ \hline 5 & 59.03 \\ \hline 6 & 63.3 \\ \hline 7 & 65.23 \\ \hline 8 & 59 \\ \hline 9 & 64.8 \\ \hline \end{array}$$

Средние значения результатов: $Y_{p_{cp}} := \frac{\sum Y_{pj}}{N-1}$ $Y_{cp} := \frac{\sum Y_j}{N}$
 $Y_{p_{cp}} = 55.3$ $Y_{cp} = 55.68$

Остаточная сумма квадратов (финальный остаток):

$$S2_R := \sum_{i=1}^k (Y_{Pi+1} - Y_i)^2 \quad S2_R = 0.057 \quad j := 0..8$$

Коэффициенты ковариации, характеризующие статистическую зависимость факторов:

$$Cov := C \cdot S2y$$

Дисперсии факторов: $S2b_{ij} := C_{j,j} \cdot S2y$

$$Cov = \begin{pmatrix} 0.01 & 0 & 0.01 & -0.01 & 0 & 0 & -0 & -0.01 & -0.01 \\ 0 & 0.02 & -0.01 & 0 & 0.01 & 0 & -0.01 & 0.01 & 0 \\ 0.01 & -0.01 & 0.04 & -0.02 & -0 & -0.01 & 0 & -0.03 & -0.01 \\ -0.01 & 0 & -0.02 & 0.05 & 0.01 & 0.02 & 0.01 & 0.01 & 0.04 \\ 0 & 0.01 & -0 & 0.01 & 0.04 & 0.03 & 0 & -0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.01 & 0.02 & 0.03 & 0.04 & 0.01 & 0 & 0.01 \\ -0 & -0.01 & 0 & 0.01 & 0 & 0.01 & 0.02 & -0.01 & 0.01 \\ -0.01 & 0.01 & -0.03 & 0.01 & -0 & 0 & -0.01 & 0.04 & 0 \\ -0.01 & 0 & -0.01 & 0.04 & 0 & 0.01 & 0.01 & 0 & 0.04 \end{pmatrix} \quad S2b_i = \begin{pmatrix} 0.013 \\ 0.019 \\ 0.043 \\ 0.051 \\ 0.037 \\ 0.038 \\ 0.017 \\ 0.037 \\ 0.038 \end{pmatrix}$$

Ошибка коэффициентов регрессии: $Sb_i := \sqrt{\frac{S2b_i}{N \cdot n}}$

Значения t-критерия для коэффициентов: $t_j := \frac{b_j}{Sb_{ij}}$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Количество степеней свободы: $v1 := n - 1$

Квантиль распределения Стьюдента:

$$T := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, v1\right) \quad T = 2.365$$

Проводим проверку значимости коэффициентов регрессии. Незначимые коэффициенты принимаем равными нулю: $to := 0$

$$b_j := \begin{cases} to & \text{if } T > |t_j| \\ b_j & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$t = \begin{pmatrix} 4.881 \times 10^3 \\ 159.208 \\ -26.445 \\ 23.575 \\ -75.171 \\ -132.039 \\ -66.609 \\ 98.301 \\ 82.811 \end{pmatrix} \quad Sb_i = \begin{pmatrix} 0.013 \\ 0.015 \\ 0.023 \\ 0.025 \\ 0.021 \\ 0.022 \\ 0.015 \\ 0.021 \\ 0.022 \end{pmatrix}$$

Число значимых коэффициентов в уравнении: $n + 1 = 9$

Дисперсия отклонения результатов расчета от опытов:

$$S_{2ад} := \frac{S_{2R}}{N - (n + 1)} \quad S_{2ад} = 0.0567$$

Доверительный интервал для коэффициентов регрессии с 95 %-й вероятностью:

$$\Delta b_j := t_j \cdot S_{2y} \cdot N^{-1}$$

Число степеней свободы: $v_2 := N - 1 \quad v_2 = 9$

F-критерий Фишера: $S_0 := S_{2ад} \quad S_1 := S_{2y}$

$$F := \frac{\max(S)}{\min(S)} \quad F = 1.345$$

Критическое значение F-критерия Фишера:

$$F_{кр} := qF(1 - \alpha, v_1, v_2) \quad F_{кр} = 3.293$$

$$|F| < F_{кр} = 1$$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод о равнозначности или равнорассеянности дисперсий (различия представленных выборок незначимы), следовательно, полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Анализ значений коэффициентов регрессии (по знакам перед числовым значением коэффициента) позволяет сделать вывод, что значение отклика увеличивают коэффициенты b_1, b_2, b_7, b_8 , а уменьшают – b_3, b_4, b_5, b_6 . Значит, в случае отсеивания факторов, при последующих сериях опытов следует зафиксировать значения отсеянных факторов на соответствующем уровне (с учетом направления оптимизации процесса).

Скорректированные средние квадратичные отклонения результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{рсп} - Y_{pi})^2} \quad S_y := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{сп} - Y_{спi})^2}$$

$$S_x = 7.76 \quad S_y = 7.39$$

Выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{сп} - Y_{спi}) \cdot (Y_{рсп} - Y_{pi}) \quad K_{xy} = 57.328$$

Коэффициент корреляции: $r := \frac{K_{xy}}{S_y \cdot S_x} \quad r = 0.9997$

Корреляционное отношение: $\eta := \sqrt{1 - \frac{S_{2ад}}{S_{2y} + S_{2ад}}} \quad \eta = 0.757$

Множественная мера определенности: $r^2 = 0.999$

t-критерий коэффициента корреляции: $tr := \frac{r \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad tr = 113.791$

Табличное значение t-критерия: $Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n + 1 - 1\right) \quad Tr = 2.306$

$$|tr| < Tr = 0$$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то мы должны сделать вывод о существенности различий в представленных выборках, то есть вычисленное значение коэффициента корреляции достоверно.

Проверка модели на линейность

Количество замеров в центре эксперимента: $n_0 := 3$

Значение отклика в центре эксперимента (дополнительные замеры):

$y_{01} := 61.5$ $y_{02} := 62.0$ $y_{03} := 61.4$

Среднеарифметическое значение: $y_{0cp} := \frac{\sum_{jj} y_{0jj}}{n_0}$ $y_{0cp} = 61.633$

Значение t-критерия в центре эксперимента: $t_{рас} := \frac{(b_0 - y_{0cp}) \cdot \sqrt{n_0}}{\sqrt{S_{2y}}}$ $t_{рас} = -0.592$

Табличное значение t-критерия: $Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n_0 - 1\right)$ $Tr = 4.303$ $|t_{рас}| < Tr = 1$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то мы должны сделать вывод о несущественности различий, то есть подтверждается адекватность линейной модели и по второму критерию с 95 %-й вероятностью

Корректировка результатов

Коэффициент, значение которого недостоверно (например, b_2): $b_2 = -0.612$

Представим матрицу Xx в виде векторов:

$X_0 := Xx^{(0)}$ $X_1 := Xx^{(1)}$ $X_2 := Xx^{(2)}$ $X_3 := Xx^{(3)}$ $X_4 := Xx^{(4)}$
 $X_5 := Xx^{(5)}$ $X_6 := Xx^{(6)}$ $X_7 := Xx^{(7)}$ $X_8 := Xx^{(8)}$

■!!!

Снимаем действие эффекта первого (данного b_2) фактора для значений $Xx_j = +1$:

$Y_{kk1j} := Y_j - (b_2)$ $X_{b1} := X_2$ $Y'_j := \begin{cases} Y_{kk1j} & \text{if } X_{b1j} > 0 \\ Y_j & \text{otherwise} \end{cases}$

При снятии эффектов дополнительно и других факторов следует повторить весь модуль (*интервал в пометках «!!!»*), при этом в скобку у Y_{kkj} следует вносить значения их коэффициентов регрессии b , а значение X_b соответственно менять и приравнивать.

■!!!

Полученные значения Y'_j подставляем в вектор s ранее принятыми результатами Y_{kj} .

Осуществляем сортировку значений отклика по уровням факторов у векторов X .

$X_{c1} := X_1$ $X_{c2} := X_2$
 $X_{c3} := X_3$ $X_{c4} := X_4$
 $X_{c5} := X_5$ $X_{c6} := X_6$
 $X_{c7} := X_7$ $X_{c8} := X_8$

$Y'_j =$
59.579
65.079
65.246
63.333
58.833
59.033
63.3
65.846
59

$Y_j =$

	0
0	58.967
1	64.467
2	64.633
3	63.333
4	58.833
5	59.033
6	63.3
7	65.233
8	59

$X_{b1} =$

	0
0	1
1	1
2	1
3	-1
4	-1
5	-1
6	-1
7	1
8	-1
9	-1

Результаты сортировки значений векторов и построение новых векторов (вручную),
нахождение медиан:

$$\begin{array}{l}
 Y1_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc1_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y1_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc1_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y6_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc6_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 Y2_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc2_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y2_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc2_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y6_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc6_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 Y3_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc3_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y3_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc3_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y7_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc7_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 Y4_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc4_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y4_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc4_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y7_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc7_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 Y5_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc5_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y5_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc5_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 Y8_{\max_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc8_j > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y8_{\min_j} := \begin{cases} Y_j & \text{if } Xc8_j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{array}$$

$$Y1_{\max_j} = Y1_{\min_j} = Y2_{\max_j} = Y2_{\min_j} = Y3_{\max_j} = Y3_{\min_j} = Y4_{\max_j} = Y4_{\min_j} =$$

0	58.967	58.967	0	58.967	0	0	58.967
64.467	0	64.467	0	64.467	0	64.467	0
64.633	0	64.633	0	0	64.633	0	64.633
63.333	0	0	63.333	0	63.333	0	63.333
0	58.833	0	58.833	58.833	0	58.833	0
59.033	0	0	59.033	59.033	0	0	59.033
0	63.3	0	63.3	0	63.3	63.3	0
0	65.233	65.233	0	65.233	0	65.233	0
0	59	0	59	0	59	59	0

$$Y5_{\max_j} = Y5_{\min_j} = Y6_{\max_j} = Y6_{\min_j} = Y7_{\max_j} = Y7_{\min_j} = Y8_{\max_j} = Y8_{\min_j} =$$

58.967	0	0	58.967	58.967	0	0	58.967
0	64.467	64.467	0	64.467	0	0	64.467
64.633	0	64.633	0	64.633	0	64.633	0
63.333	0	0	63.333	0	63.333	63.333	0
0	58.833	0	58.833	0	58.833	0	58.833
59.033	0	59.033	0	0	59.033	0	59.033
0	63.3	63.3	0	63.3	0	63.3	0
0	65.233	0	65.233	65.233	0	65.233	0
0	59	59	0	0	59	59	0

$$\begin{array}{lll}
 Y1_{\max} := (64.467 \ 64.633 \ 63.333 \ 59.033) & Y1_{\max} := \text{mediar}(Y1_{\max}) & Y1_{\max} = 63.9 \\
 Y1_{\min} := (58.967 \ 58.833 \ 63.3 \ 65.233 \ 59) & Y1_{\min} := \text{mediar}(Y1_{\min}) & Y1_{\min} = 59 \\
 Y2_{\max} := (58.967 \ 64.467 \ 64.633 \ 65.233) & Y2_{\max} := \text{mediar}(Y2_{\max}) & Y2_{\max} = 64.55 \\
 Y2_{\min} := (63.333 \ 58.833 \ 59.033 \ 63.3 \ 59) & Y2_{\min} := \text{mediar}(Y2_{\min}) & Y2_{\min} = 59.033 \\
 Y3_{\max} := (58.97 \ 64.47 \ 58.83 \ 59.03 \ 59) & Y3_{\max} := \text{mediar}(Y3_{\max}) & Y3_{\max} = 59 \\
 Y3_{\min} := (64.63 \ 63.33 \ 63.3 \ 65.233) & Y3_{\min} := \text{mediar}(Y3_{\min}) & Y3_{\min} = 63.98
 \end{array}$$

$Y4_{max} := (64.47 \ 58.83 \ 63.3 \ 65.23 \ 59)$	$Y4_{mx} := \text{mediar}(Y4_{max})$	$Y4_{mx} = 63.3$
$Y4_{min} := (58.97 \ 64.63 \ 63.3 \ 59.03)$	$Y4_{mn} := \text{mediar}(Y4_{min})$	$Y4_{mn} = 61.165$
$Y5_{max} := (58.97 \ 64.633 \ 63.333 \ 59.033)$	$Y5_{mx} := \text{mediar}(Y5_{max})$	$Y5_{mx} = 61.183$
$Y5_{min} := (64.47 \ 58.833 \ 63.3 \ 65.233 \ 59)$	$Y5_{mn} := \text{mediar}(Y5_{min})$	$Y5_{mn} = 63.3$
$Y6_{max} := (64.47 \ 64.63 \ 59.03 \ 63.3 \ 59)$	$Y6_{mx} := \text{mediar}(Y6_{max})$	$Y6_{mx} = 63.3$
$Y6_{min} := (58.97 \ 63.33 \ 58.83 \ 65.23)$	$Y6_{mn} := \text{mediar}(Y6_{min})$	$Y6_{mn} = 61.15$
$Y7_{max} := (58.97 \ 64.47 \ 64.63 \ 63.3 \ 65.23)$	$Y7_{mx} := \text{mediar}(Y7_{max})$	$Y7_{mx} = 64.47$
$Y6_{max} := (64.47 \ 64.63 \ 59.03 \ 63.3 \ 59)$	$Y6_{mx} := \text{mediar}(Y6_{max})$	$Y6_{mx} = 63.3$
$Y6_{min} := (58.97 \ 63.33 \ 58.83 \ 65.23)$	$Y6_{mn} := \text{mediar}(Y6_{min})$	$Y6_{mn} = 61.15$
$Y7_{max} := (58.97 \ 64.47 \ 64.63 \ 63.3 \ 65.23)$	$Y7_{mx} := \text{mediar}(Y7_{max})$	$Y7_{mx} = 64.47$
$Y7_{min} := (63.33 \ 58.83 \ 59.03 \ 59)$	$Y7_{mn} := \text{mediar}(Y7_{min})$	$Y7_{mn} = 59.015$
$Y8_{max} := (64.63 \ 63.33 \ 63.3 \ 62.23 \ 59)$	$Y8_{mx} := \text{mediar}(Y8_{max})$	$Y8_{mx} = 63.3$
$Y8_{min} := (58.97 \ 64.47 \ 58.83 \ 59.03)$	$Y8_{mn} := \text{mediar}(Y8_{min})$	$Y8_{mn} = 59$

Интервалы рассеяния:

$\Delta Y1 := Y1_{mx} - Y1_{mn} $	$\Delta Y1 = 4.9$	$\Delta Y5 := Y5_{mx} - Y5_{mn} $	$\Delta Y5 = 2.117$
$\Delta Y2 := Y2_{mx} - Y2_{mn} $	$\Delta Y2 = 5.517$	$\Delta Y6 := Y6_{mx} - Y6_{mn} $	$\Delta Y6 = 2.15$
$\Delta Y3 := Y3_{mx} - Y3_{mn} $	$\Delta Y3 = 4.98$	$\Delta Y7 := Y7_{mx} - Y7_{mn} $	$\Delta Y7 = 5.455$
$\Delta Y4 := Y4_{mx} - Y4_{mn} $	$\Delta Y4 = 2.135$	$\Delta Y8 := Y8_{mx} - Y8_{mn} $	$\Delta Y8 = 4.3$

Строим диаграмму рассеяния значений. Выбираем двумерный график и для ΔY задаем тип линии **stem** и **lines**.

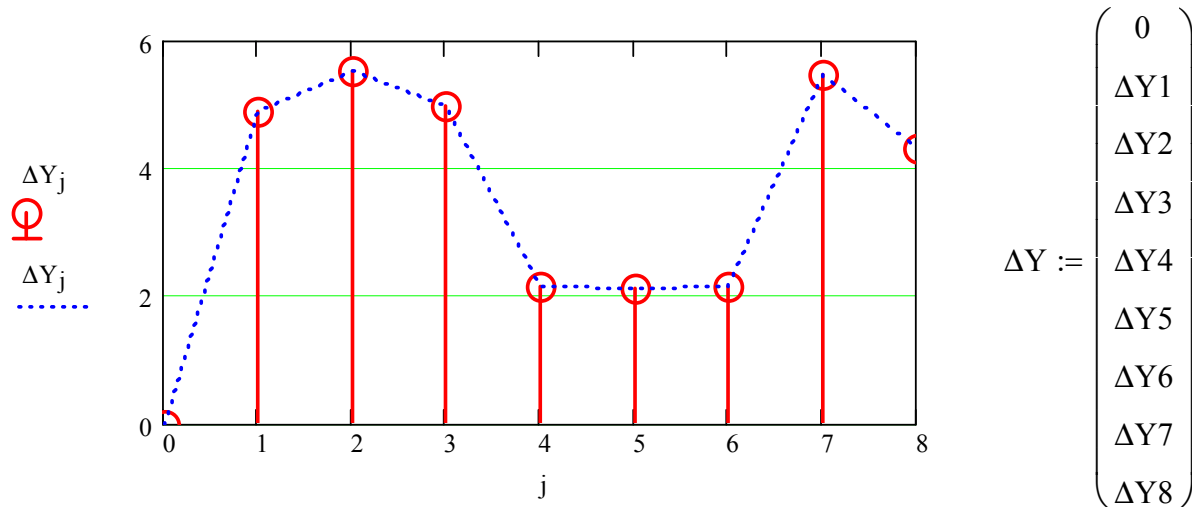


Рис. 2.22. Диаграмма рассеяния медиан результатов отсеивающих опытов

Анализ диаграммы рассеяния результатов опытов (рис.2.22) позволяет сделать вывод, что наиболее значимыми факторами являются (в порядке убывания): X2, X7, X1, X3, X8. При желании в последующих опытах можно добавить в число исследуемых факторов любой дополнительный при наличии на него обоснования.

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) сводится к выбору математической модели, описывающей поверхность отклика, построению плана эксперимента, расчету коэффициентов регрессии и оценке их значимости, анализу решений (пример 10).

При составлении плана эксперимента выбираются уровни варьирования факторов. Количественные факторы выбираются исходя из практической целесообразности. При этом не следует забывать, что чаще всего увеличение уровня варьирования приводит к росту значимости фактора (субъективное влияние на получаемый результат). Качественные факторы кодируют (-1; +1).

При составлении плана эксперимента уровни одного фактора сочетают с каждым уровнем других факторов, обеспечивая их сочетание (например, табл.2.4,2.5). Факторы должны быть некоррелированы (т.е. должна быть возможность сочетания любого уровня в выбранном интервале значений у каждого фактора с любым другим фактором). Связь между факторами нежелательна, однако допускается, если она нелинейна.

При числе факторов n число опытов N растет по показательной функции $N = P^n$, где P – число уровней.

Для проверки линейности модели проводятся дополнительно опыты в центре эксперимента.

Т а б л и ц а 2 . 4

Матрица планирования двухфакторного эксперимента (типа 2^2)

№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_{cp}
1	+	-	-	+				
2	+	+	-	-				
3	+	-	+	-				
4	+	+	+	+				

Т а б л и ц а 2 . 5

Матрица планирования трехфакторного эксперимента (типа 2^3)

№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_{cp}
1	+	-	-	-	+	+	+	-				
2	+	+	-	-	-	-	+	+				
3	+	-	+	-	-	+	-	+				
4	+	+	+	-	+	-	-	-				
5	+	-	-	+	+	-	-	+				
6	+	+	-	+	-	+	-	-				
7	+	-	+	+	-	-	+	-				
8	+	+	+	+	+	+	+	+				

планирование

При статистической оценке модели возможны два случая:

– Линейная модель адекватна. При решении интерполяционного вопроса заканчивается решение задачи. При оптимизации процесса отыскивают оптимум используя движение по градиенту.

– Линейная модель неадекватна. Проводят дополнительные опыты, чтобы удостовериться в неадекватности модели. Поиск оптимума можно производить и при неадекватной модели.

Таблица 2.6

Матрицы планирования 2^{5-2} и 2^{7-4}

№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y	№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Y
1	+	+	+	-	-	-		1	+	+	-	+	-	+	+	-	
2	+	-	+	-	+	-		2	+	-	-	+	+	-	-	-	
3	+	+	-	-	+	+		3	+	+	+	+	+	+	+	+	
4	+	-	-	-	-	+		4	+	-	+	+	-	-	-	+	
5	+	+	+	+	+	+		5	+	+	-	-	-	-	-	+	
6	+	-	+	+	-	+		6	+	-	-	-	+	+	+	+	
7	+	+	-	+	-	-		7	+	+	+	-	+	-	-	-	
8	+	-	-	+	+	-		8	+	-	+	-	-	+	+	-	

В случае проведения только части полнофакторного эксперимента (табл.2.6), план называют дробной репликой или планом **дробного факторного эксперимента**. Его используют при описании процессов, у которых в принципе невозможны некоторые сочетания факторов; при локальном описании небольших участков поверхности отклика полиномом первой степени, при числе факторов более трех. Он позволяет сократить число опытов.

Пример 10

Обработка результатов полнофакторного эксперимента (листинг программы для Mathcad)

Количество факторов: $n' := 3$

При двухуровневом планировании количество строк в опыте: $2^{n'} = 8$

принимает: $N := 8 \quad i := 0..N - 1$

Число коэффициентов в уравнении регрессии: $n := 8 \quad j := 0..n - 1$

Число повторностей опыта: $k := 4 \quad jj := 0..k - 1$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Значения факторов эксперимента X:

$x_{1,0} := -1$	$x_{2,0} := -1$	$x_{3,0} := -1$	$x_{4,0} := x_{1,0} \cdot x_{2,0}$
$x_{1,1} := 1$	$x_{2,1} := -1$	$x_{3,1} := -1$	$x_{4,1} := x_{1,1} \cdot x_{2,1}$
$x_{1,2} := -1$	$x_{2,2} := 1$	$x_{3,2} := -1$	$x_{4,2} := x_{1,2} \cdot x_{2,2}$
$x_{1,3} := 1$	$x_{2,3} := 1$	$x_{3,3} := -1$	$x_{4,3} := x_{1,3} \cdot x_{2,3}$
$x_{1,4} := -1$	$x_{2,4} := -1$	$x_{3,4} := 1$	$x_{4,4} := x_{1,4} \cdot x_{2,4}$
$x_{1,5} := 1$	$x_{2,5} := -1$	$x_{3,5} := 1$	$x_{4,5} := x_{1,5} \cdot x_{2,5}$
$x_{1,6} := -1$	$x_{2,6} := 1$	$x_{3,6} := 1$	$x_{4,6} := x_{1,6} \cdot x_{2,6}$
$x_{1,7} := 1$	$x_{2,7} := 1$	$x_{3,7} := 1$	$x_{4,7} := x_{1,7} \cdot x_{2,7}$
$x_{0,1} := 1$	$x_{5,1} := x_{1,1} \cdot x_{3,1}$	$x_{6,1} := x_{2,1} \cdot x_{3,1}$	$x_{7,1} := x_{1,1} \cdot x_{2,1} \cdot x_{3,1}$
$x_{0,2} := 1$	$x_{5,2} := x_{1,2} \cdot x_{3,2}$	$x_{6,2} := x_{2,2} \cdot x_{3,2}$	$x_{7,2} := x_{1,2} \cdot x_{2,2} \cdot x_{3,2}$

$$\begin{array}{llll}
x_{0,3} := 1 & x_{5,3} := x_{1,3} \cdot x_{3,3} & x_{6,3} := x_{2,3} \cdot x_{3,3} & x_{7,3} := x_{1,3} \cdot x_{2,3} \cdot x_{3,3} \\
x_{0,4} := 1 & x_{5,4} := x_{1,4} \cdot x_{3,4} & x_{6,4} := x_{2,4} \cdot x_{3,4} & x_{7,4} := x_{1,4} \cdot x_{2,4} \cdot x_{3,4} \\
x_{0,5} := 1 & x_{5,5} := x_{1,5} \cdot x_{3,5} & x_{6,5} := x_{2,5} \cdot x_{3,5} & x_{7,5} := x_{1,5} \cdot x_{2,5} \cdot x_{3,5} \\
x_{0,6} := 1 & x_{5,6} := x_{1,6} \cdot x_{3,6} & x_{6,6} := x_{2,6} \cdot x_{3,6} & x_{7,6} := x_{1,6} \cdot x_{2,6} \cdot x_{3,6} \\
x_{0,7} := 1 & x_{5,7} := x_{1,7} \cdot x_{3,7} & x_{6,7} := x_{2,7} \cdot x_{3,7} & x_{7,7} := x_{1,7} \cdot x_{2,7} \cdot x_{3,7} \\
x_{0,0} := 1 & x_{5,0} := x_{1,0} \cdot x_{3,0} & x_{6,0} := x_{2,0} \cdot x_{3,0} & x_{7,0} := x_{1,0} \cdot x_{2,0} \cdot x_{3,0}
\end{array}$$

Результаты опытов Y:

$$\begin{array}{lllll}
y_{0,0} := 21.75 & y_{0,1} := 23.55 & y_{0,2} := 23.05 & y_{0,3} := 24.25 & y_{0,4} := 23.85 \\
y_{1,0} := 22.15 & y_{1,1} := 24.05 & y_{1,2} := 22.35 & y_{1,3} := 25.25 & y_{1,4} := 23.45 \\
y_{2,0} := 22.25 & y_{2,1} := 23.8 & y_{2,2} := 23.4 & y_{2,3} := 24.05 & y_{2,4} := 23.1 \\
y_{3,0} := 22.6 & y_{3,1} := 23.45 & y_{3,2} := 21.7 & y_{3,3} := 23.9 & y_{3,4} := 23.15 \\
y_{0,5} := 25.4 & y_{0,6} := 25.4 & y_{0,7} := 26.95 & y_{1,5} := 25.7 & y_{1,6} := 24.4 \\
y_{1,7} := 26.45 & y_{2,5} := 25.2 & y_{2,6} := 24.95 & y_{2,7} := 26.1 & y_{3,5} := 25.2 \\
y_{3,6} := 25.1 & y_{3,7} := 27.05 & & &
\end{array}$$

Матрица плана эксперимента Xx:

$$X_x := \begin{pmatrix} x_{0,0} & x_{1,0} & x_{2,0} & x_{3,0} & x_{4,0} & x_{5,0} & x_{6,0} & x_{7,0} \\ x_{0,1} & x_{1,1} & x_{2,1} & x_{3,1} & x_{4,1} & x_{5,1} & x_{6,1} & x_{7,1} \\ x_{0,2} & x_{1,2} & x_{2,2} & x_{3,2} & x_{4,2} & x_{5,2} & x_{6,2} & x_{7,2} \\ x_{0,3} & x_{1,3} & x_{2,3} & x_{3,3} & x_{4,3} & x_{5,3} & x_{6,3} & x_{7,3} \\ x_{0,4} & x_{1,4} & x_{2,4} & x_{3,4} & x_{4,4} & x_{5,4} & x_{6,4} & x_{7,4} \\ x_{0,5} & x_{1,5} & x_{2,5} & x_{3,5} & x_{4,5} & x_{5,5} & x_{6,5} & x_{7,5} \\ x_{0,6} & x_{1,6} & x_{2,6} & x_{3,6} & x_{4,6} & x_{5,6} & x_{6,6} & x_{7,6} \\ x_{0,7} & x_{1,7} & x_{2,7} & x_{3,7} & x_{4,7} & x_{5,7} & x_{6,7} & x_{7,7} \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} y_{0,0} & y_{1,0} & y_{2,0} & y_{3,0} \\ y_{0,1} & y_{1,1} & y_{2,1} & y_{3,1} \\ y_{0,2} & y_{1,2} & y_{2,2} & y_{3,2} \\ y_{0,3} & y_{1,3} & y_{2,3} & y_{3,3} \\ y_{0,4} & y_{1,4} & y_{2,4} & y_{3,4} \\ y_{0,5} & y_{1,5} & y_{2,5} & y_{3,5} \\ y_{0,6} & y_{1,6} & y_{2,6} & y_{3,6} \\ y_{0,7} & y_{1,7} & y_{2,7} & y_{3,7} \end{pmatrix}$$

$$\sum_{jj} Y_{i,jj}$$

Среднее значение отклика для каждого опыта: $Y_{срi} := \frac{\sum_{jj} Y_{i,jj}}{k}$

Дисперсии для каждого опыта (строка плана эксперимента):

$$S2_i := \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{jj=0}^{k-1} (Y_{i,jj} - Y_{срi})^2$$

Значение G-критерия Кохрена: $G := \frac{\max(S2)}{\sum_i S2_i}$ $G = 0.339$

$Y_{срi} =$

22.188
23.713
22.625
24.362
23.388
25.375
24.962
26.637

при $\alpha = 0.05$

Количество степеней свободы: $v_1 := k - 1$ $v_1 = 3$

$v_2 := N - 1$ $v_2 = 7$

Критическое (табличное) значение критерия Кохрена: $G_{kp} := 0.4800$

G_{kp} можно рассчитать по эмпирической формуле для 5 %-го уровня значимости с достоверностью 98 %:

$$G_{kp} := -0.12016 + 1.929 \cdot v_1^{-0.207} \cdot v_2^{-0.487} \quad G_{kp} = 0.476$$

$$G < G_{kp} = 1$$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод об однородности дисперсий и, следовательно, о достаточной достоверности (воспроизводимости) эксперимента.

Дисперсия воспроизводимости (ошибки) эксперимента:

$$S2_y := \frac{\sum_i S2_i}{N} \quad S2_y = 0.21$$

Коэффициенты уравнения линейной регрессии (математической модели изучаемого процесса):

$$b_j := \frac{\sum_i X_{i,j} \cdot Y_{cp_i}}{N}$$

$$b = \begin{pmatrix} 24.156 \\ 0.866 \\ 0.491 \\ 0.934 \\ -0.013 \\ 0.05 \\ 0.219 \\ -0.066 \end{pmatrix} \quad S2_i = \begin{array}{|c|} \hline 0.122 \\ \hline 0.072 \\ \hline 0.571 \\ \hline 0.371 \\ \hline 0.119 \\ \hline 0.056 \\ \hline 0.176 \\ \hline 0.197 \\ \hline \end{array}$$

Дисперсия коэффициентов регрессии:

$$S2_b := \frac{S2_y}{N \cdot k} \quad S2_b = 0.006577$$

Число степеней свободы данной дисперсии:

$$v_b := N \cdot (k - 1) \quad v_b = 24$$

Значения t-критерия Стьюдента для полученных коэффициентов регрессии:

$$t_j := \frac{b_j}{\sqrt{S2_b}}$$

Критическое значение t-критериев: $t_{kp} := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, v_b\right) \quad t_{kp} = 2.064$

Незначимые коэффициенты, у которых значения t-критериев меньше критического значения, приравниваем нулю. Значимые коэффициенты уравнения регрессии обозначим другой переменной с помощью функции условия – **if**.

$$(b_b)_j := \text{if}(|t_j| < t_{kp}, 0, b_j)$$

Расчетные значения по уравнению регрессии: $Y_{p_i} := \sum_j (b_b)_j \cdot X_{i,j}$

$$b_b = \begin{pmatrix} 24.156 \\ 0.866 \\ 0.491 \\ 0.934 \\ 0 \\ 0 \\ 0.219 \\ 0 \end{pmatrix} \quad t = \begin{pmatrix} 297.859 \\ 10.674 \\ 6.05 \\ 11.521 \\ -0.154 \\ 0.617 \\ 2.697 \\ -0.809 \end{pmatrix} \quad Y_p = \begin{pmatrix} 22.08 \\ 23.82 \\ 22.63 \\ 24.36 \\ 23.52 \\ 25.25 \\ 24.93 \\ 26.67 \end{pmatrix} \quad Y_{cp} = \begin{pmatrix} 22.19 \\ 23.71 \\ 22.63 \\ 24.36 \\ 23.39 \\ 25.38 \\ 24.96 \\ 26.64 \end{pmatrix}$$

Визуальным анализом сверяем соответствие расчетных и опытных значений. Значимость парного взаимодействия говорит о необходимости исследования процесса уравнением более высокого порядка.

$$\text{Средние значения результатов:} \quad Y_{p_{cp}} := \frac{\sum_j Y_{pj}}{N} \quad Y_{cp} := \frac{\sum_j Y_{cpj}}{N}$$

$$Y_{p_{cp}} = 24.156 \quad Y_{cp} = 24.156$$

Число значимых коэффициентов уравнения регрессии: $d := 5$

Остаточная сумма квадратов (финальный остаток):

$$S_{2ад} := \frac{1}{N-d} \cdot \sum_i k \cdot (Y_{pi} - Y_{cpi})^2 \quad S_{2ад} = 0.074$$

$$\text{F-критерий Фишера:} \quad S_0 := S_{2ад} \quad S_1 := S_2y \quad F := \frac{\max(S)}{\min(S)} \quad F = 2.834$$

Число степеней свободы остаточной дисперсии $\nu_{ост} := N - d$

и дисперсии ошибки $\nu_{ош} := N \cdot (k - 1)$

Критическое значение F-критерия Фишера: $F_{кр} := qF(1 - \alpha, \nu_{ост}, \nu_{ош})$

$$|F| < F_{кр} = 1 \quad F_{кр} = 3.009$$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не 0), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод о равнозначности или равнорассеянности дисперсий (различия представленных выборок незначимы), следовательно, полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Скорректированные средние квадратичные отклонения результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{p_{cp}} - Y_{pi})^2} \quad S_y := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_i [Y_{cp} - (Y_{cp})_i]^2}$$

$$S_x = 1.478 \quad S_y = 1.48$$

Выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - Y_{cpi}) \cdot (Y_{p_{cp}} - Y_{pi}) \quad K_{xy} = 2.184$$

Коэффициент корреляции: $r := \frac{|K_{xy}|}{S_y \cdot S_x} \quad r = 0.9982$

Корреляционное отношение: $\eta := \sqrt{1 - \frac{S_{2ад}}{S_{2y} + S_{2ад}}} \quad \eta = 0.86$

t-критерий коэффициента корреляции: $tr := \frac{r \cdot \sqrt{N - 2}}{\sqrt{1 - r^2}} \quad tr = 40.579$

Табличное значение t-критерия: $Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n + 1 - 1\right) \quad Tr = 2.306 \quad |tr| < Tr = 0$

Поскольку условие оказалось ложным (равным 0, а не 1), то мы должны сделать вывод о существенности различий в представленных выборках, то есть вычисленное значение коэффициента корреляции достоверно.

Проверка модели на линейность

Количество замеров в центре эксперимента: $no := 4$

Значение отклика в центре эксперимента (дополнительные замеры):

$$y_{o1} := 25.5 \quad y_{o2} := 25.0 \quad y_{o3} := 25.4 \quad y_{o0} := 25.6$$

Среднеарифметическое значение: $y_{o_{cp}} := \frac{\sum_{jj} y_{o_{jj}}}{no} \quad y_{o_{cp}} = 25.375$

Значение t-критерия в центре эксперимента:

$$t_{pac} := \frac{(b_0 - y_{o_{cp}}) \cdot \sqrt{no}}{\sqrt{S_{2y}}} \quad t_{pac} = -5.313$$

Критическое значение t-критерия:

$$Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, no - 1\right) \quad Tr = 3.182$$

$$|t_{pac}| < Tr = 0$$

Поскольку условие оказалось ложным (равным 0, а не 1), то мы должны сделать вывод о существенности различий, то есть подтверждается неадекватность линейной модели по второму критерию с 95 %-й вероятностью.

Значит, обобщая сделанные выводы, для описания данной поверхности следует использовать уравнение более высокого порядка. Для этого строится либо новый план эксперимента, либо используется существующий, но добавляются недостающие точки плана.

Движение по градиенту – метод крутого восхождения по поверхности отклика (метод Бокса–Уилсона). Движение осуществляется «шагами», последовательно (рис.2.23).

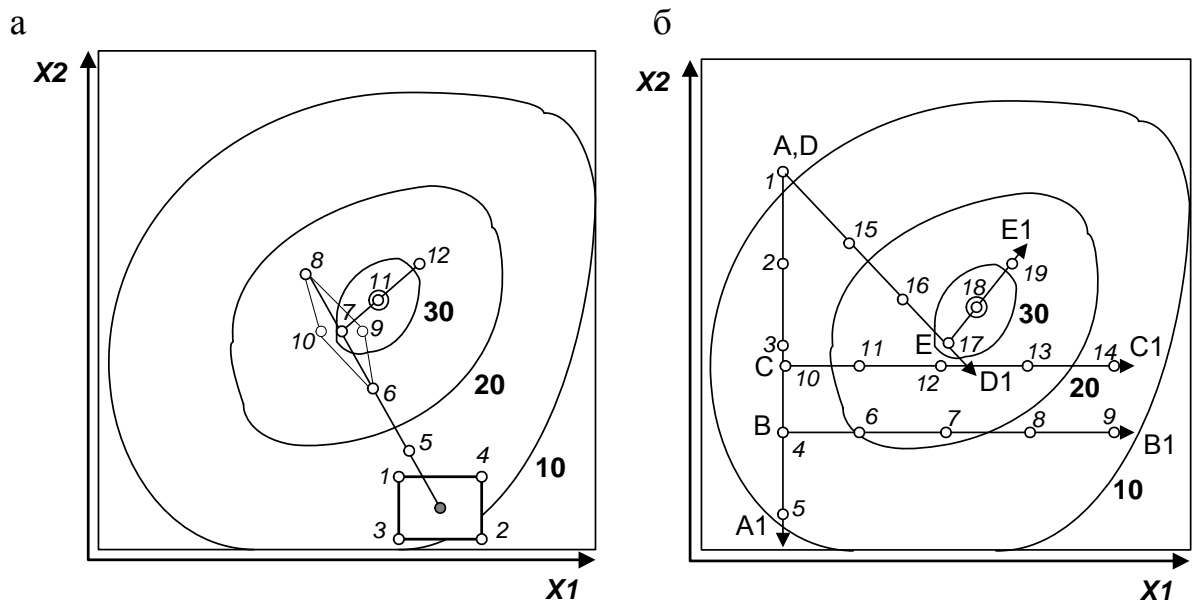


Рис. 2.23. Отыскание оптимума или почти стационарной области:
 а – движением по градиенту (крутым восхождением по поверхности отклика);
 б – однофакторными сериями эксперимента

Когда неизвестна поверхность отклика, то движение начинается от произвольной, или выбранной априори, точки. Движение производится по нормали к линиям равного выхода, т.е. в направлении градиента по наиболее кратчайшему и крутому пути. При достижении наивысшего (либо наинизшего) значения на выбранном направлении, делается уточнение нового направления пошагового движения (табл. 2.7). Шаги обычно округляются.

Т а б л и ц а 2 . 7

Матрица крутого восхождения

Номер строки	Показатели	Кодовые обозначения	Факторы и их размерность					Y
			X_1	X_2	X_3	...	X_n	
1	Основной уровень	0						
2	Верхний уровень	+1						
3	Нижний уровень	-1						
4	Интервал варьирования	ϵ						
5	Коеф регр. линейн. члена	b_i	b_1	b_2	B_3	...	b_n	
6	Произведение	$b_i \cdot \epsilon$	$b_1 \cdot \epsilon_1$	$b_2 \cdot \epsilon_2$	$b_3 \cdot \epsilon_3$...	$b_n \cdot \epsilon_n$	
7	Шаг (допустим 5 для X_3)	-	$\frac{5(b_1 \cdot \epsilon_1)}{b_3 \cdot \epsilon_3}$	$\frac{5(b_2 \cdot \epsilon_2)}{b_3 \cdot \epsilon_3}$	5	...	$\frac{5(b_n \cdot \epsilon_n)}{b_3 \cdot \epsilon_3}$	
8	Мысленный опыт	-						
9	Реализован 1-й опыт		0+шаг	0+шаг	0+шаг	...	0+шаг	
10	Реализован 2-й опыт		0+2шага	0+2шага	

После выбора центра эксперимента и назначения интервалов варьирования для каждого фактора ставится ПФЭ или дробные отклики от него (что предпочтительнее). Однако желательно использовать насыщенный план – минимальное соотношение между числом определяемых эффектов

и числом степеней свободы. Для трехфакторного эксперимента насыщенный план имеет 4 строки, для четырехфакторного – 5 строк. При этом количество опытов минимально, а парные взаимодействия включаются в линейное уравнение регрессии. Для полученного выражения проводится проверка на адекватность линейной модели и значимость коэффициентов регрессии. Если окажется, что линейная модель поверхности отклика неадекватна, то после обработки результатов первого шага начинается крутое восхождение по поверхности отклика. При наличии сильно выделяющегося линейного эффекта одного фактора суживают его интервал варьирования либо увеличивают остальные. Крутое восхождение наиболее эффективно, когда все коэффициенты при факторах значимы. Если, кроме b_0 , все коэффициенты незначимы, то это говорит либо о слишком узких интервалах варьирования факторов, либо о недостаточной точности эксперимента.

Если поверхность отклика локально была описана линейным уравнением, то частные производные будут равны коэффициентам регрессии. Поэтому, изменяя факторы пропорционально величинам и знакам коэффициентов регрессии, можно осуществить движение в направлении градиента функции отклика, т.е. по самому крутому пути. Если полученная в сериях опытов модель адекватна, то при движении по градиенту за область эксперимента сразу выходят хотя бы по одному фактору. При неадекватной модели вначале один-два опыта ставят в области эксперимента.

В табл.2.7 первые четыре строки заполняются значениями фактора от предыдущего уровня (первого шага). Крутое восхождение начинается со строки 9. Для этого ставится опыт и записывается результат. Вновь прибавляется шаг и реализуется опыт. Так производится до тех пор, пока не произойдет тенденция изменения (роста либо убывания) отклика Y . Взяв вилку точку местного экстремума, проводят новое крутое восхождение до вползания на «почти стационарную» область. На этом эксперимент может закончиться, а иногда начинается новый этап – описание поверхности отклика уравнением второго порядка.

Экономичным по числу опытов является последовательный поиск: одновременно проводят два-три опыта, оценивают их результаты и принимают решение о дальнейших опытах. В случае отсутствия улучшения результата движение по градиенту прекращают. При достижении почти стационарной области эксперимент либо заканчивают, либо линейный план достраивают до плана 2-го порядка для более тщательного изучения области оптимума. Важно убедиться, что наблюдалось вначале улучшение результата, а затем его ухудшение.

Пример 11

Поиск «почти» стационарной зоны методом движения по градиенту (листинг программы для Mathcad)

Количество уровней основного плана:	$N := 3$	$i := 0.. N - 1$	
Число факторов:	$n := 3 + 1$	$j := 0.. n - 1$	
	Первый фактор	Второй фактор	Третий фактор
Основной уровень:	$x_{1,0} := 300$	$x_{2,0} := 25$	$x_{3,0} := 12$
Верхний уровень:	$x_{1,1} := 350$	$x_{2,1} := 30$	$x_{3,1} := 14$
Нижний уровень:	$x_{1,2} := 250$	$x_{2,2} := 20$	$x_{3,2} := 10$
Дополнительные точки плана:	$x_{1,3} := 250$	$x_{2,3} := 30$	$x_{3,3} := 14$
	$x_{1,4} := 350$	$x_{2,4} := 20$	$x_{3,4} := 14$
	$x_{1,5} := 350$	$x_{2,5} := 30$	$x_{3,5} := 10$
Интервал варьирования фактора:	$\varepsilon_1 := x_{1,1} - x_{1,2}$	$\varepsilon_2 := x_{2,1} - x_{2,2}$	$\varepsilon_3 := x_{3,1} - x_{3,2}$
	$\varepsilon_1 = 100$	$\varepsilon_2 = 10$	$\varepsilon_3 = 4$
Критерий оптимизации:	$y_0 := 124.1$	$y_1 := 101.46$	$y_2 := 150$
	$y_3 := 129.7$	$y_4 := 122.26$	$y_5 := 98.12$

Матрица основного плана эксперимента:

$$X_X := \begin{pmatrix} 1 & x_{1,0} & x_{2,0} & x_{3,0} \\ 1 & x_{1,1} & x_{2,1} & x_{3,1} \\ 1 & x_{1,2} & x_{2,2} & x_{3,2} \\ 1 & x_{1,3} & x_{2,3} & x_{3,3} \\ 1 & x_{1,4} & x_{2,4} & x_{3,4} \\ 1 & x_{1,5} & x_{2,5} & x_{3,5} \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_2 \\ y_4 \\ y_5 \end{pmatrix}$$

Коэффициенты уравнения линейной регрессии:

$$b_j := \frac{\sum_i X_{X_{i,j}} \cdot Y_i}{N} \quad b = \begin{pmatrix} 125.19 \\ 36747 \\ 3048.77 \\ 1469.88 \end{pmatrix}$$

Произведение интервала варьирования на коэффициент регрессии:

$$\begin{aligned} \varepsilon b_1 &:= \varepsilon_1 \cdot b_1 & \varepsilon b_2 &:= \varepsilon_2 \cdot b_2 & \varepsilon b_3 &:= \varepsilon_3 \cdot b_3 \\ \varepsilon b_1 &= 3674700 & \varepsilon b_2 &= 30487.7 & \varepsilon b_3 &= 5879.5 \end{aligned}$$

Шаг, для X2 (выбранного) фактора: $\Delta 2 := 1$

$$\text{Шаг} \quad \Delta b_1 := \frac{\Delta 2 \cdot \varepsilon b_1}{\varepsilon b_2} \quad \Delta b_2 := \frac{\Delta 2 \cdot \varepsilon b_2}{\varepsilon b_2} \quad \Delta b_3 := \frac{\Delta 2 \cdot \varepsilon b_3}{\varepsilon b_2}$$

$$\Delta b_1 = 120.5 \quad \Delta b_2 = 1 \quad \Delta b_3 = 0.2$$

Первый опыт: $x_{1,6} := x_{1,0} + \Delta b_1$ $x_{2,6} := x_{2,0} + \Delta b_2$ $x_{3,6} := x_{3,0} + \Delta b_3$
 $x_{1,6} = 420.5$ $x_{2,6} = 26$ $x_{3,6} = 12.2$

При поиске максимума в выражении – знак «-», при поиске минимума – знак «+».
 Значение отклика: $y_6 := 91.6$

Второй опыт: $x_{1,7} := x_{1,0} + 2 \cdot \Delta b_1$ $x_{2,7} := x_{2,0} + 2 \cdot \Delta b_2$ $x_{3,7} := x_{3,0} + 2 \cdot \Delta b_3$
 $x_{1,7} = 541.1$ $x_{2,7} = 27$ $x_{3,7} = 12.4$

Значение отклика: $y_7 := 71.2$

Третий опыт: $x_{1,8} := x_{1,0} + 3 \cdot \Delta b_1$ $x_{2,8} := x_{2,0} + 3 \cdot \Delta b_2$ $x_{3,8} := x_{3,0} + 3 \cdot \Delta b_3$
 $x_{1,8} = 661.6$ $x_{2,8} = 28$ $x_{3,8} = 12.6$

Значение отклика: $y_8 := 62.64$

Четвертый опыт: $x_{1,9} := x_{1,0} + 4 \cdot \Delta b_1$ $x_{2,9} := x_{2,0} + 4 \cdot \Delta b_2$ $x_{3,9} := x_{3,0} + 4 \cdot \Delta b_3$
 $x_{1,9} = 782.1$ $x_{2,9} = 29$ $x_{3,9} = 12.8$

Значение отклика: $y_9 := 66.05$

Произошло возрастание (смена тенденций) значений отклика (критерия оптимизации), то есть пересекли впадину (либо гребень) значений.

Выбираем направление нового движения по градиенту. Для этого используем значения трех последних опытов и ставим три дополнительных точки.

$$z_{1,0} := x_{1,7} \quad z_{2,0} := x_{2,7} \quad z_{3,0} := x_{3,7}$$

$$z_{1,1} := x_{1,8} \quad z_{2,1} := x_{2,8} \quad z_{3,1} := x_{3,8}$$

$$z_{1,2} := x_{1,9} \quad z_{2,2} := x_{2,9} \quad z_{3,2} := x_{3,9}$$

Значение отклика: $Y_0 := y_7$ $Y_1 := y_8$ $Y_2 := y_9$

$$z_{1,3} := 540 \quad z_{2,3} := 29 \quad z_{3,3} := 12.6$$

$$z_{1,4} := 660 \quad z_{2,4} := 27 \quad z_{3,4} := 12.8$$

$$z_{1,5} := 780 \quad z_{2,5} := 28 \quad z_{3,5} := 12.4$$

Значение отклика: $Y_3 := 69.3$ $Y_4 := 63.34$ $Y_5 := 65.85$

Матрица нового плана эксперимента:

$$Z_Z := \begin{pmatrix} 1 & z_{1,0} & z_{2,0} & z_{3,0} \\ 1 & z_{1,1} & z_{2,1} & z_{3,1} \\ 1 & z_{1,2} & z_{2,2} & z_{3,2} \\ 1 & z_{1,3} & z_{2,3} & z_{3,3} \\ 1 & z_{1,4} & z_{2,4} & z_{3,4} \\ 1 & z_{1,5} & z_{2,5} & z_{3,5} \end{pmatrix} \quad Y' := \begin{pmatrix} Y_0 \\ Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \end{pmatrix}$$

Коэффициенты уравнения линейной регрессии:

$$(b_b)_j := \frac{\sum_i Z_{z_{i,j}} \cdot Y'_i}{N} \quad b_b = \begin{pmatrix} 66.63 \\ 43874.97 \\ 1863.92 \\ 837.78 \end{pmatrix}$$

Интервал варьирования фактора:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &:= z_{1,5} - z_{1,3} & \varepsilon_2 &:= z_{2,3} - z_{2,4} & \varepsilon_3 &:= z_{3,4} - z_{3,5} \\ \varepsilon_1 &= 240 & \varepsilon_2 &= 2 & \varepsilon_3 &= 0.4 \end{aligned}$$

Произведение интервала варьирования на коэффициент регрессии:

$$\begin{aligned} \varepsilon b_{b_1} &:= \varepsilon_1 \cdot b_{b_1} & \varepsilon b_{b_2} &:= \varepsilon_2 \cdot b_{b_2} & \varepsilon b_{b_3} &:= \varepsilon_3 \cdot b_{b_3} \\ \varepsilon b_1 &= 3674700 & \varepsilon b_2 &= 30487.7 & \varepsilon b_3 &= 5879.5 \end{aligned}$$

Шаг, для X1 (выбранного) фактора: $\Delta 1 := 15$

$$\Delta b_1 := \frac{\Delta 1 \cdot \varepsilon b_{b_1}}{\varepsilon b_{b_1}} \quad \Delta b_2 := \frac{\Delta 1 \cdot \varepsilon b_{b_2}}{\varepsilon b_{b_1}} \quad \Delta b_3 := \frac{\Delta 1 \cdot \varepsilon b_{b_3}}{\varepsilon b_{b_1}}$$

Шаг $\Delta b_1 = 15$ $\Delta b_2 = 0$ $\Delta b_3 = 0.00048$

Первый опыт: $z_{1,6} := z_{1,1} + \Delta b_1$ $z_{2,6} := z_{2,1} + \Delta b_2$ $z_{3,6} := z_{3,1} + \Delta b_3$
 $z_{1,6} = 676.6$ $x_{2,6} = 26$ $x_{3,6} = 12.2$

Значение отклика: $Y_6 := 63.3$

Второй опыт: $z_{1,7} := z_{1,1} + 2 \cdot \Delta b_1$ $z_{2,7} := z_{2,1} + 2 \cdot \Delta b_2$ $z_{3,7} := z_{3,1} + 2 \cdot \Delta b_3$
 $z_{1,7} = 691.6$ $z_{2,7} = 28$ $z_{3,7} = 12.6$

Значение отклика: $Y_7 := 62.48$

Третий опыт: $z_{1,8} := z_{1,1} + 3 \cdot \Delta b_1$ $z_{2,8} := z_{2,1} + 3 \cdot \Delta b_2$ $z_{3,8} := z_{3,1} + 3 \cdot \Delta b_3$
 $z_{1,8} = 706.6$ $z_{2,8} = 28$ $z_{3,8} = 12.6$

Значение отклика: $Y_8 := 62.65$

Четвертый опыт: $z_{1,9} := z_{1,1} + 4 \cdot \Delta b_1$ $z_{2,9} := z_{2,1} + 4 \cdot \Delta b_2$ $z_{3,9} := z_{3,1} + 4 \cdot \Delta b_3$
 $z_{1,9} = 721.6$ $z_{2,9} = 28$ $z_{3,9} = 12.6$

Значение отклика: $Y_9 := 63.02$

Произошло возрастание (смена тенденций) значений отклика (критерия оптимизации), то есть мы пересекли впадину (либо гребень) значений либо определили вершину минимума (либо максимума) значений.

В результате движения по градиенту снизили величину отклика (параметра оптимизации) в два раза и определили ориентировочные границы почти стационарной зоны: X1=675..705; X2=27,5..28,5; X3=12,55..12,65. Зная границы данной зоны, уже можно реализовать план оптимизации. Общее количество точек замеров составило 17 шт.

При использовании данного метода следует иметь предварительный опыт аналогичного моделирования, так как неправильно выбранный шаг изменения параметров может увести исследователя мимо почти стационарной зоны. Это увеличит количество точек, а следовательно, и трудоемкость эксперимента.

Приведенное моделирование осуществлялось, используя ранее полученное уравнение регрессии, поэтому тенденции значений в последних опытах достаточно устойчивые. Учитывая вариабельность данных в конкретных опытах, выявить достаточно точно зону оптимума будет значительно сложнее.

Программа получения навыков движения по градиенту
Экспериментальные кодированные значения факторов:

$$X1 := 1.43 \quad X2 := -1.4 \quad X3 := -0.12$$

Экспериментальные натуральные значения факторов:

$$x1 := 650 + X1 \cdot 50 \quad x2 := 35 + X2 \cdot 5 \quad x3 := 13 + X3 \cdot 3$$

$$x1 = 721.5 \quad x2 = 28 \quad x3 = 12.6$$

Значения коэффициентов:

$$a1 := 0.156523 \quad a11 := 0.946724 \quad a12 := 1.021252$$

$$a2 := 0 \quad a23 := -0.205307 \quad a22 := 1.052632$$

$$a3 := 0.864599 \quad a13 := 0 \quad a33 := -2.146406 \quad a0 := 61.0128$$

Уравнение регрессии:

$$Y1 := a0 + a1 \cdot X1 + a2 \cdot X2 + a3 \cdot X3 + a11 \cdot (X1)^2 + a22 \cdot (X2)^2 + a33 \cdot X3^2$$

$$Y := Y1 + a12 \cdot X1 \cdot X2 + a13 \cdot X1 \cdot X3 + a23 \cdot X2 \cdot X3 \quad Y = 63.022$$

Изменяя кодированное значение факторов, добиваются соответствия натуральных значений величине параметров в рассматриваемом шаге движения по градиенту. Величина Y покажет значение отклика (параметра оптимизации).

Описание «почти» стационарной области. После нахождения расположения участка (зоны), где значения показателя оптимизации существенно не изменяются, производится уточнение поверхности отклика с помощью уравнения второго порядка, а если потребуется, то и более высокого порядка. В результате определяются координаты оптимума (если он существует) и изучаются свойства поверхности отклика в окрестностях оптимума. Найденное значение оптимума подлежит обязательной экспериментальной проверке (рис. 2.24).

Аналогичные проблемы возникают при описании многих технологических процессов, в том числе при очистке поверхностей. Как правило, в последнем случае имеем дело с гиперболами (с увеличением воздействий на поверхность качество очистки растет, а загрязненность, $\text{кг}/\text{м}^2$, снижается, но никогда не достигнет нуля и не может увеличиться, так как новому загрязнению неоткуда взяться), полиномиальные зависимости, имеющие в своей основе параболы (вторая ветвь когда-то тоже должна подниматься) неприменимы. Отыскание экстремума здесь в принципе невозможно.

В данном случае придется искать рациональные значения, а при обработке результатов качественных показателей использовать обратные данные (единица, деленная на число) либо подвергнутые логарифмированию.

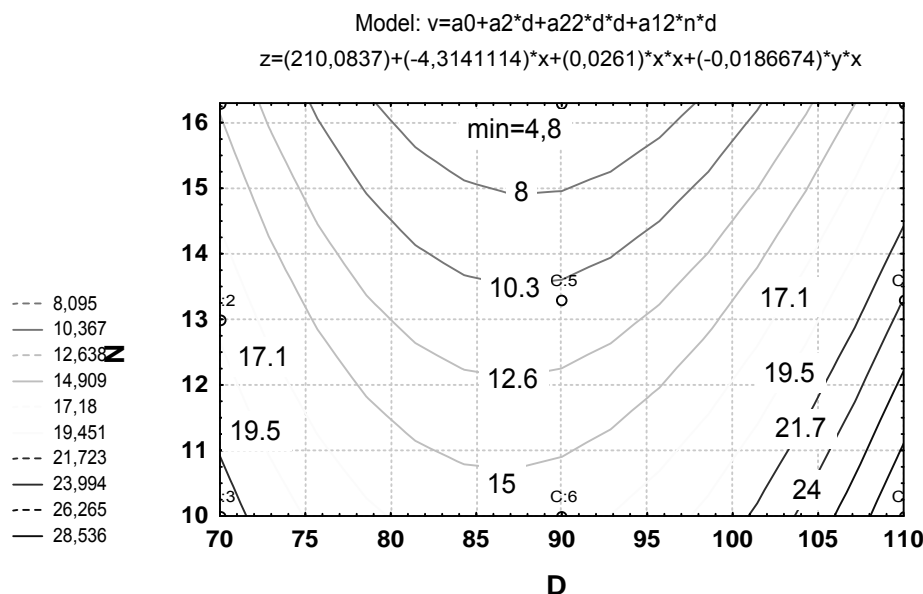


Рис.2.24. Влияние диаметра смесительной камеры D (мм) и частоты вращения n (с^{-1}) на неравномерность смешивания компонентов V (коэффициент вариации), %

Для описания поверхности отклика используется центральное композиционное планирование, в частности применяя ротатбельные, ортогональные и D -оптимальные планы.

Композиционное планирование отличается равным количеством уровней у разных факторов (рис.2.25).

Для отыскания оптимума у полученной математической модели можно использовать численные методы (например, метод крутого восхождения), иногда методы классического анализа (берутся первые производные по каждой переменной и приравнивают их к нулю, а решение системы всех уравнений позволяет найти экстремум), графический анализ двумерными сечениями.

Нахождение точки выявленного экстремума модели вне исследуемой зоны по плану эксперимента говорит о неправильном нахождении зоны оптимума либо, что чаще, о несоответствии принятой модели реальному процессу (несмотря на статистическую достоверность результата).

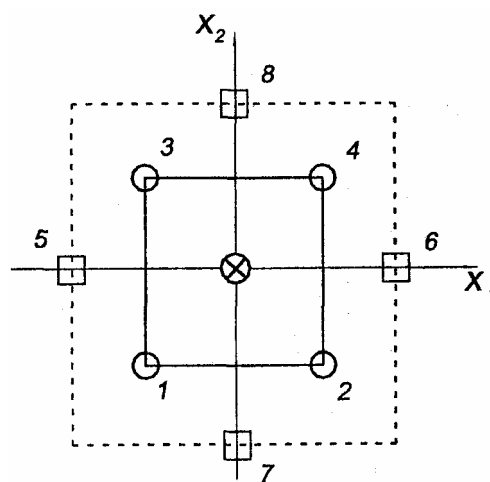


Рис. 2.25. Точки факторного пространства, центрального композиционного планирования двухфакторной модели:
 ○ – точки ядра плана;
 □ – звёздные точки;
 ⊗ – точки в центре плана

Планирование эксперимента при описании поверхности отклика полиномом второго порядка получается при добавлении некоторого количества специально расположенных точек к «ядру», образованных планированием для линейного приближения: «звездных» точек, расположенных от центра эксперимента на расстоянии звездного плеча α , и центральной точки. Ядром плана может быть и не полный факторный эксперимент, а полуреплика от него. Такое планирование требует меньшего числа опытов, чем полный факторный эксперимент типа 3^n . Пример трехфакторного центрального композиционного плана представлен в табл.2.8.

Т а б л и ц а 2 . 8

Матрица трехфакторного центрального композиционного плана

№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	Ядро полнофакторного эксперимента
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	
4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	
7	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
9	+1	$-\alpha$	0	0				Звездные точки
10	+1	$+\alpha$	0	0				
11	+1	0	$-\alpha$	0				
12	+1	0	$+\alpha$	0				
13	+1	0	0	$-\alpha$				
14	+1	0	0	$+\alpha$				
15	+1	0	0	0				Нулевая точка

Широко используются в зависимости от критерия оптимизации ортогональное композиционное планирование и ротатабельное планирование.

План называют **ортогональным**, если скалярное произведение всех векторов – столбцов матрицы равно нулю. Величина звездного плеча α при ортогональном планировании, количество точек куба (гиперкуба-ядра) N_c при полнофакторном эксперименте, число звездных точек N_α , число точек в центре эксперимента N_0 и общее число точек факторного пространства N для n факторов приведены в табл.2.9. Матрица ортогонального планирования приведена в табл. 2.10. Проверка адекватности описания объекта полиномом 2-го порядка проводится с помощью критерия Фишера. Следует помнить, что точность предсказаний по различным направлениям неодинакова.

Таблица 2.9

Параметры ортогонального планирования

n	α	$N\alpha$	No	Nc	N
2	1	4	1	4	9
3	1.215	6	1	8	15
4	1.414	8	1	16	25
5	1.547	10	1	32	43

Таблица 2.10

Матрица ортогонального планирования для трех факторов

№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1^2-0,73$	$X_2^2-0,73$	$X_3^2-0,73$	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	Примечание
1	1	1	1	1	0,27	0,27	0,27	1	1	1	Ядро 2^3
2	1	1	1	-1	0,27	0,27	0,27	1	-1	-1	
3	1	1	-1	1	0,27	0,27	0,27	-1	1	-1	
4	1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	-1	-1	1	
5	1	-1	1	1	0,27	0,27	0,27	-1	-1	1	
6	1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27	-1	1	-1	
7	1	-1	-1	1	0,27	0,27	0,27	1	-1	-1	
8	1	-1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	1	1	1	
9	1	-1,215	0	0	0,745	-0,73	-0,73	0	0	0	Звездные точки
10	1	1,215	0	0	0,745	-0,73	-0,73	0	0	0	
11	1	0	-1,215	0	-0,73	0,745	-0,73	0	0	0	
12	1	0	1,215	0	-0,73	0,745	-0,73	0	0	0	
13	1	0	0	-1,215	-0,73	-0,73	0,745	0	0	0	
14	1	0	0	1,215	-0,73	-0,73	0,745	0	0	0	
15	1	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	0	0	0	Нулевая точка

Симметричные информационные контуры можно получить с помощью ротатабельного композиционного планирования.

Ротатабельные планы не требуют ортогонализации вектор-столбцов. Все его точки расположены на концентрических гипосферах, число которых не менее двух. Одна из сфер может быть вырожденной – нулевой точкой. Планы, у которых внутренняя дисперсия предсказанного значения постоянна, т.е. не зависит от расстояния до центра плана, называются равномер-планированием. Композиционные центральные ротатабельные равномер-планы (табл.2.11) состоят из трех сфер: центральных точек No , точек куба Nc и звездных точек $N\alpha$. Общее число точек факторного пространства N для n факторов приведено в табл.2.12–2.13.

Т а б л и ц а 2 . 1 1

Данные для построения равномер-ротатбельного плана 2-го порядка

n	N_c	N_o	N_α	α	N	Примечание
2	4	5	4	1,414	13	ПФЭ
3	8	6	6	1,682	20	ПФЭ
4	16	7	8	2,000	31	ПФЭ
5	32	10	10	2,378	52	ПФЭ
5	16	10	6	2,000	32	Полуреплика
6	64	12	15	2,828	91	Полуреплика
6	32	12	9	2,378	53	Полуреплика
7	128	14	21	3,333	163	ПФЭ
7	64	14	14	2,828	92	Полуреплика
8	256	16	1	4,000	273	ПФЭ
8	128	16	1	3,333	145	Полуреплика

Т а б л и ц а 2 . 1 2

Данные для построения ротатбельного плана 2-го порядка

n	N_c	N_o	N_α	N	Примечание
2	4	3	4	11	ПФЭ
3	8	2	6	16	ПФЭ
4	16	2	8	26	ПФЭ
5	32	3	10	45	ПФЭ
5	16	1	10	27	Полуреплика
6	64	3	12	79	ПФЭ
6	32	2	12	46	Полуреплика
7	128	1	14	143	ПФЭ
7	64	3	14	81	Полуреплика
8	256	0	16	272	ПФЭ

Т а б л и ц а 2 . 1 3

Центральное композиционное ротатбельное равномер-планирование
второго порядка

№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	1	-1	-1	-1	-1	Ядро плана 2^4
2	1	1	-1	-1	-1	
3	1	-1	1	-1	-1	
4	1	1	1	-1	-1	
5	1	-1	-1	1	-1	
6	1	1	-1	1	-1	
7	1	-1	1	1	-1	
8	1	1	1	1	-1	
9	1	-1	-1	-1	1	
10	1	1	-1	-1	1	
11	1	-1	1	-1	1	
12	1	1	1	-1	1	
13	1	-1	-1	1	1	
14	1	1	-1	1	1	
15	1	-1	1	1	1	
16	1	1	1	1	1	

Окончание табл. 2.13

1	2	3	4	5	6	7
17	1	-2	0	0	0	Звездные точки
18	1	2	0	0	0	
19	1	0	-2	0	0	
20	1	0	2	0	0	
21	1	0	0	-2	0	
22	1	0	0	2	0	
23	1	0	0	0	-2	
24	1	0	0	0	2	
25	1	0	0	0	0	Нулевые точки
26	1	0	0	0	0	
27	1	0	0	0	0	
28	1	0	0	0	0	
29	1	0	0	0	0	
30	1	0	0	0	0	
31	1	0	0	0	0	

D-оптимальные планы. Основаны на теории совместных эффективных оценок, развитой американским математиком Кифером. Они позволяют минимизировать обобщенную дисперсию, или объем эллипсоида рассеяния оценок параметров за счет оптимального расположения точек в пространстве факторов. Вторым достоинством является трехуровневое планирование. Это важно при малом количественном значении факторов, когда возможны только целые значения, например при количестве лопастей менее 15. В то время как при ином планировании имеются звездные точки, а соответственно и дополнительные значения – с дробным значением факторов, при трехуровневом значении их можно избежать.

Некомпозиционное планирование отличается различным количеством уровней у разных факторов. Они более эффективны по сравнению с композиционными планами, если на основе априорной информации известно, что рассматриваемый процесс можно описать полиномом второго порядка.

Данный план для двух факторов (рис.2.26) требует проведения десяти опытов (вместо тринадцати – при композиционном плане), а кроме того, один фактор изменяется на трех уровнях, а второй – на пяти.

Это немаловажно, когда один из факторов может применять только целые либо определенные значения. Планы для трех, четырех и пяти факторов приведены в приложении.

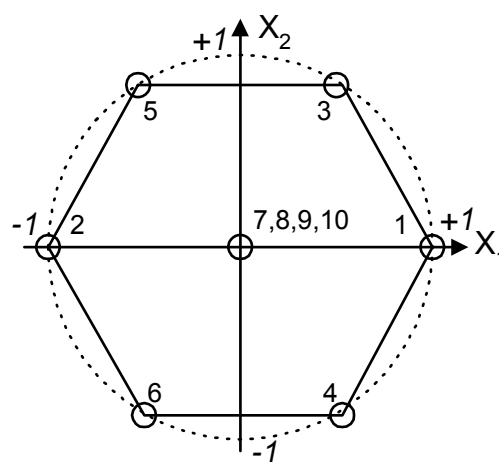


Рис.2.26. Некомпозиционный ротатабельный план второго порядка для двух факторов

Пример 12

Обработка результатов плана оптимизации (листинг программы для Mathcad)

Реализован план оптимизации двухфакторного плана для определения показателей полинома второго порядка.

Максимальный размер матрицы у Mathcad составляет 10x10 ячеек.

В результате парного взаимодействия количество факторов для получения модели составит:

$$n := (1 + 2 + 1 + 2) - 1 \quad n = 5 \quad j := 0 .. n$$

Количество строк в опыте: $N := 8$ $i := 1 .. N$ $x_{0,i} := 1$

Матрица плана эксперимента:

$$\begin{array}{lllll} x_{1,1} := 1 & x_{2,1} := 1 & x_{3,1} := x_{1,1} \cdot x_{2,1} & x_{4,1} := (x_{1,1})^2 & x_{5,1} := (x_{2,1})^2 \\ x_{1,2} := -1 & x_{2,2} := 1 & x_{3,2} := x_{1,2} \cdot x_{2,2} & x_{4,2} := (x_{1,2})^2 & x_{5,2} := (x_{2,2})^2 \\ x_{1,3} := 1 & x_{2,3} := -1 & x_{3,3} := x_{1,3} \cdot x_{2,3} & x_{4,3} := (x_{1,3})^2 & x_{5,3} := (x_{2,3})^2 \\ x_{1,4} := -1 & x_{2,4} := -1 & x_{3,4} := x_{1,4} \cdot x_{2,4} & x_{4,4} := (x_{1,4})^2 & x_{5,4} := (x_{2,4})^2 \\ x_{1,5} := 1 & x_{2,5} := 0 & x_{3,5} := x_{1,5} \cdot x_{2,5} & x_{4,5} := (x_{1,5})^2 & x_{5,5} := (x_{2,5})^2 \\ x_{1,6} := -1 & x_{2,6} := 0 & x_{3,6} := x_{1,6} \cdot x_{2,6} & x_{4,6} := (x_{1,6})^2 & x_{5,6} := (x_{2,6})^2 \\ x_{1,7} := 0 & x_{2,7} := 1 & x_{3,7} := x_{1,7} \cdot x_{2,7} & x_{4,7} := (x_{1,7})^2 & x_{5,7} := (x_{2,7})^2 \\ x_{1,8} := 0 & x_{2,8} := -1 & x_{3,8} := x_{1,8} \cdot x_{2,8} & x_{4,8} := (x_{1,8})^2 & x_{5,8} := (x_{2,8})^2 \end{array}$$

$$Xx := \begin{pmatrix} x_{0,1} & x_{1,1} & x_{2,1} & x_{3,1} & x_{4,1} & x_{5,1} \\ x_{0,2} & x_{1,2} & x_{2,2} & x_{3,2} & x_{4,2} & x_{5,2} \\ x_{0,3} & x_{1,3} & x_{2,3} & x_{3,3} & x_{4,3} & x_{5,3} \\ x_{0,4} & x_{1,4} & x_{2,4} & x_{3,4} & x_{4,4} & x_{5,4} \\ x_{0,5} & x_{1,5} & x_{2,5} & x_{3,5} & x_{4,5} & x_{5,5} \\ x_{0,6} & x_{1,6} & x_{2,6} & x_{3,6} & x_{4,6} & x_{5,6} \\ x_{0,7} & x_{1,7} & x_{2,7} & x_{3,7} & x_{4,7} & x_{5,7} \\ x_{0,8} & x_{1,8} & x_{2,8} & x_{3,8} & x_{4,8} & x_{5,8} \end{pmatrix}$$

Количество повторностей опыта: $k := 3$ $jj := 1 .. 3$

Результаты проведения опыта:

$$\begin{array}{llll} y_{1,1} := 58.5 & y_{1,2} := 64.0 & y_{1,3} := 64.1 & y_{1,4} := 62.9 \\ y_{1,5} := 58.0 & y_{2,1} := 59.0 & y_{2,2} := 64.9 & y_{2,3} := 65.0 \\ y_{2,4} := 63.8 & y_{2,5} := 59.9 & y_{3,1} := 59.4 & y_{3,2} := 64.5 \\ y_{3,3} := 64.8 & y_{3,4} := 63.3 & y_{3,5} := 58.6 & y_{1,6} := 69 \\ y_{1,7} := 63.3 & y_{1,8} := 64.8 & y_{2,6} := 69.5 & y_{2,7} := 63.0 \\ y_{2,8} := 65.7 & y_{3,6} := 68.6 & y_{3,7} := 63.6 & y_{3,8} := 65.2 \end{array}$$

Среднее значение результата:
$$Y_{cp_i} := \frac{\sum_{jj} y_{jj, i}}{k}$$

Корректированный отклик Y_k
(см. коррекция в конце)

Дисперсия каждого опыта:

$$S2_i := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{jj} (y_{jj, i} - Y_{cp_i})^2$$

Наибольшее значение дисперсии:

$$S2_{max} := \max(S2) \quad S2_{max} = 0.27$$

Количество степеней свободы:

$$k1 := k - 1 \quad k1 = 2$$

$$k2 := N - 1 \quad k2 = 7$$

$Y_{cp_i} =$	$S2_i =$
58.967	0.058
64.467	0.058
64.633	0.064
63.333	0.058
58.833	0.27
69.033	0.058
63.3	0.026
65.233	0.058

$$Y_i := \begin{pmatrix} Y_{cp1} \\ Y_{cp2} \\ Y_{cp3} \\ Y_{cp4} \\ Y_{cp5} \\ Y_{cp6} \\ Y_{cp7} \\ Y_{cp8} \end{pmatrix} \quad Y_{kj} := \begin{pmatrix} 58.97 \\ 64.47 \\ 64.63 \\ 63.33 \\ 58.83 \\ 63.3 \\ 65.23 \\ 59 \end{pmatrix}$$

Определяемся в потребности коррекции отклика:

$$Y := Y_i$$

Значение G-критерия Кохрена:

$$G := \frac{S2_{max}}{\sum_i S2_i}$$

$$G = 0.415$$

Табличное значение критерия Кохрена: $G_{табл} := 0.8010$

$$G < G_{табл} = 1$$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не нулю), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод об однородности дисперсий и, следовательно, о достаточной достоверности (воспроизводимости) эксперимента.

Дисперсия воспроизводимости эксперимента:
$$S2_y := \frac{\sum_i S2_i}{N} \quad S2_y = 0.081$$

Построение матрицы, транспонированной Xx :

$$Xx' := Xx^T$$

Умножим слева матрицу Xx на матрицу Xx' :

$$H := Xx' \cdot Xx$$

Умножим слева матрицу Xx на матрицу Y :

$$Xy := Xx' \cdot Y$$

Обратная матрица H :

$$C := (Xx' \cdot Xx)^{-1}$$

$$Xx' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 & 6 & 6 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 6 & 4 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 4 & 6 \end{pmatrix}$$

$$Xy = \begin{pmatrix} 507.8 \\ -14.4 \\ -6.467 \\ -6.8 \\ 379.267 \\ 379.933 \end{pmatrix}$$

Значения коэффициентов регрессии:

$$b := (C \cdot Xy)$$

Расчетные значения по уравнению регрессии: $Y_{pi} := b_0 + \sum_{j=1}^n x_{j,i} \cdot b_j$

$$b = \begin{pmatrix} 65.35 \\ -2.4 \\ -1.078 \\ -1.7 \\ -1.417 \\ -1.083 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1.25 & 0 & 0 & 0 & -0.75 & -0.75 \\ 0 & 0.167 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.167 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ -0.75 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0.25 \\ -0.75 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.75 \end{pmatrix} \quad Xx = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Визуальным анализом сверяем соответствие расчетных и опытных значений (учитывая смещение показателей).

Средние значения результатов:

$$Y_{pcp} := \frac{\sum Y_{pj}}{N-1} \quad Y_{cp} := \frac{\sum Y_j}{N}$$

$$Y_{pcp} = 44.705 \quad Y_{cp} = 47.408$$

Остаточная сумма квадратов (финальный остаток):

$$S2_R := \sum_{i=1}^k (Y_{pi+1} - Y_i)^2 \quad S2_R = 5.627$$

$$j := 0..n$$

$$Y_p = \begin{pmatrix} 0 \\ 57.67 \\ 65.87 \\ 63.23 \\ 64.63 \\ 61.53 \\ 66.33 \\ 63.19 \\ 65.34 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} 58.97 \\ 64.47 \\ 64.63 \\ 63.33 \\ 58.83 \\ 69.03 \\ 63.3 \\ 65.23 \end{pmatrix}$$

Коэффициенты ковариации, характеризующие статистическую зависимость факторов:

$$Cov := C \cdot S2_y$$

Дисперсии факторов: $S2_{bi_j} := C_{j,j} \cdot S2_y$

$$Cov = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 & 0 & -0.06 & -0.06 \\ 0 & 0.01 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.02 & 0 & 0 \\ -0.06 & 0 & 0 & 0 & 0.06 & 0.02 \\ -0.06 & 0 & 0 & 0 & 0.02 & 0.06 \end{pmatrix} \quad S2_{bi} = \begin{pmatrix} 0.101 \\ 0.014 \\ 0.014 \\ 0.02 \\ 0.061 \\ 0.061 \end{pmatrix}$$

Ошибка коэффициентов регрессии: $S_{bi} := \sqrt{\frac{S2_{bi}}{N \cdot n}}$

Значения t-критерия для коэффициентов: $t_j := \frac{b_j}{S_{bi_j}}$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

Количество степеней свободы: $v1 := n - 1$

Квантиль распределения Стьюдента:

$$T := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, \nu_1\right) \quad T = 2.776$$

Проводим проверку значимости коэффициентов регрессии. Незначимые коэффициенты принимаем равными нулю:

$$t_0 := 0 \quad b_j := \begin{cases} t_0 & \text{if } T > |t_j| \\ b_j & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$t = \begin{pmatrix} 1.297 \times 10^3 \\ -130.486 \\ -58.598 \\ -75.467 \\ -36.309 \\ -27.766 \end{pmatrix} \quad S_{bi} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.018 \\ 0.018 \\ 0.023 \\ 0.039 \\ 0.039 \end{pmatrix}$$

Число значимых коэффициентов в уравнении:

$$n + 1 = 6$$

Дисперсия отклонения результатов расчета от опытов:

$$S_{2ад} := \frac{S_{2R}}{N - (n + 1)} \quad S_{2ад} = 2.8134$$

Доверительный интервал для коэффициентов регрессии с 95 %-й вероятностью:

$$\Delta b_j := t_j \cdot S_{2y} \cdot N^{-1}$$

Число степеней свободы: $\nu_2 := N - 1 \quad \nu_2 = 7$

F-критерий Фишера:

$$S_0 := S_{2ад} \quad S_1 := S_{2y}$$

$$F := \frac{\max(S)}{\min(S)} \quad F = 34.652$$

$$\Delta b = \begin{pmatrix} 13.167 \\ -1.324 \\ -0.595 \\ -0.766 \\ -0.368 \\ -0.282 \end{pmatrix} \quad b = \begin{pmatrix} 65.35 \\ -2.4 \\ -1.078 \\ -1.7 \\ -1.417 \\ -1.083 \end{pmatrix}$$

Критическое значение F-критерия Фишера:

$$F_{кр} := qF(1 - \alpha, \nu_1, \nu_2) \quad F_{кр} = 4.12$$

$$|F| < F_{кр} = 0$$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то гипотезу следует отвергнуть (не принять), то есть мы должны сделать вывод о неравнозначности или неравнорассеянности дисперсий (различия представленных выборок значимы), значит, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов и следует перейти к модели более высокого порядка.

При адекватной модели определяют скорректированные средние квадратичные отклонения результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{N - 1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{p_{cp}} - Y_{p_i})^2}$$

$$S_x = 20.266$$

$$S_y := \sqrt{\frac{1}{N - 1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{cp} - Y_{cp_i})^2}$$

$$S_y = 17.498$$

Выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} := \frac{1}{N - 1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_{cp} - Y_{cp_i}) \cdot (Y_{p_{cp}} - Y_{p_i}) \quad K_{xy} = 352.704$$

Коэффициент корреляции:

$$r := \frac{K_{xy}}{S_y \cdot S_x} \quad r = 0.9946$$

Корреляционное отношение:

$$\eta := \sqrt{1 - \frac{S_{2ад}}{S_{2y} + S_{2ад}}} \quad \eta = 0.167$$

Множественная мера определенности:

$$r^2 = 0.989$$

t-критерий коэффициента корреляции:
$$tr := \frac{r \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad tr = 23.492$$

Табличное значение t-критерия:
$$Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n+1-1\right) Tr = 2.571 \quad |tr| < Tr = 0$$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то мы должны сделать вывод о существенности различий в представленных выборках, то есть вычисленное значение коэффициента корреляции достоверно.

Корректировка результатов

Коэффициент, значение которого недостоверно (например, b1): $b_1 = -2.4$

Представим матрицу Xx в виде векторов:

$$X_0 := Xx^{(0)} \quad X_1 := Xx^{(1)} \quad X_2 := Xx^{(2)} \quad X_3 := Xx^{(3)} \quad X_4 := Xx^{(4)} \quad X_5 := Xx^{(5)}$$

|!!!

Снимаем действие эффекта первого (данного b1) фактора для значений $X_{x_i} = +1$:

$$Y_{kk1j} := Y_j - (b_1) \quad X_{b1} := X_1 \quad Y_j \quad \left| \begin{array}{l} Y_{kk1j} \text{ if } X_{b1j} = 0 \\ Y_{j \text{ otherwise}} \end{array} \right.$$

При снятии эффектов дополнительно и других факторов следует повторить весь модуль (интервал в пометках «!!!»), при этом в скобку у Y_{kkj} следует вносить значения их коэффициентов регрессии b, а значение X_b соответственно менять и приравнять.

|!!!

Составим уравнение регрессии второго порядка:

$$Y_{rcs,d} := b_0 + b_1 \cdot X_s + b_2 \cdot Z_d + b_3 \cdot X_s \cdot Z_d + b_4 \cdot (X_s)^2 + b_5 \cdot (Z_d)^2$$

Полученные значения Y_j сравним с ранее принятыми результатами Y_j .

Осуществим графический анализ (рис. 2.27) полученного уравнения регрессии.

Перейдем к координатам X и Z, для этого введем векторизацию:

$$s := 0..11 \quad d := 0..10$$

$$X_s := -1.2 + 0.2 \cdot s \quad Z_d := -1 + 0.2 \cdot d$$

	0	58.967	$Y_j \quad X_{b1} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot$
	1	64.467	
	2	64.633	
	3	63.333	
	4	58.833	
	5	69.033	

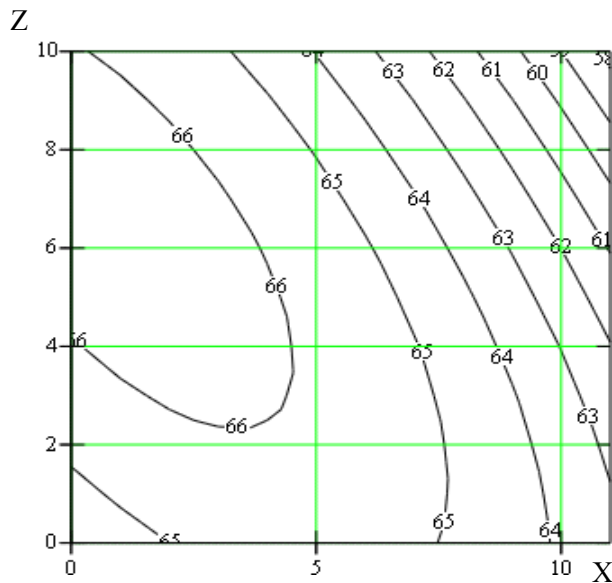
Построим трехмерный график Y_{rc} :

по горизонтали координата X,

по вертикали координата Z (рис. 2.28).

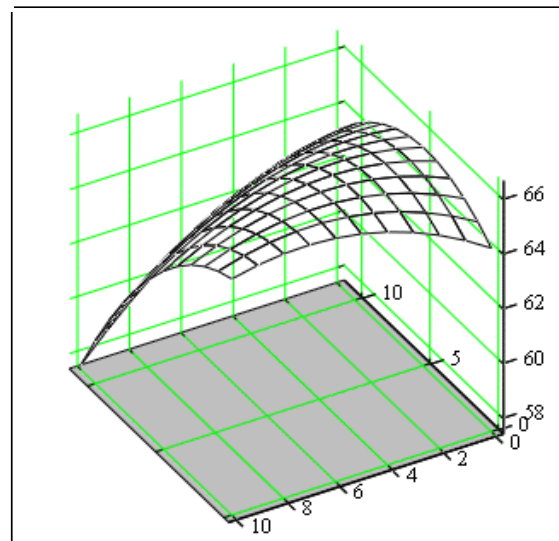
В некоторых версиях Matchcad происходит смещение координатной сетки (вместо от -1 до +1 к участку от 0 до 10) при сохранении надлежащих числовых значений Y_{rc} .

Анализ полученного графика позволяет сделать вывод, что имеется экстремум в районе $X=-1$ и $Z=+5$. Однако маловероятно, что экстремальное значение находится в плане эксперимента. Скорее всего, придется проводить дополнительные мероприятия по определению или уточнению месторасположения оптимума. Получаемые при этом значения включаются в план-матрицу эксперимента.



Урс

Рис.2.27. Двумерное сечение поверхности отклика



Урс

Рис.2.28. Пространственное изображение поверхности отклика

В случае расположения экстремума в зоне эксперимента надлежит провести серию опытов для экспериментального уточнения и подтверждения экстремальности выбранной точки.

Матрица расчетных значений

0	64.144	64.727	65.223	65.632	65.954	66.19	66.339	66.402	66.377	66.266	
1	64.628	65.142	65.57	65.911	66.166	66.333	66.414	66.409	66.317	66.138	
2	64.998	65.444	65.804	66.077	66.264	66.363	66.376	66.303	66.143	65.896	
3	65.254	65.633	65.925	66.13	66.248	66.28	66.225	66.084	65.855	65.54	
4	65.398	65.708	65.932	66.069	66.12	66.083	65.96	65.751	65.455	65.072	
Урс	5	65.428	65.67	65.826	65.895	65.878	65.773	65.582	65.305	64.941	64.49
6	65.344	65.519	65.607	65.608	65.522	65.35	65.091	64.746	64.313	63.794	
7	65.148	65.254	65.274	65.207	65.054	64.813	64.486	64.073	63.573	62.986	
8	64.838	64.876	64.828	64.693	64.472	64.163	63.768	63.287	62.719	62.064	
9	64.414	64.385	64.269	64.066	63.776	63.4	62.937	62.388	61.751	61.028	
10	63.878	63.78	63.596	63.325	62.968	62.523	61.992	61.375	60.671	59.88	
11	63.228	63.062	62.81	62.471	62.046	61.533	60.934	60.249	59.477	58.618	

Подставим значения факторов, соответствующих максимуму значений:

$$s := 1 \quad d := 6 \quad X_s := -1.2 + 0.2 \cdot s \quad Z_d := -1 + 0.2 \cdot d \quad X_s = -1 \quad Z_d = 0.2$$

$$Y_{рс, d} := b_0 + b_1 \cdot X_s + b_2 \cdot Z_d + b_3 \cdot X_s \cdot Z_d + b_4 \cdot (X_s)^2 + b_5 \cdot (Z_d)^2 \quad Y_{рс, d} = 66.414$$

Определим значение экстремума методом подбора:

$$X_0 := -1.08 \quad Z_0 := 0.306$$

$$Y_{рс_0} := b_0 + b_1 \cdot X_0 + b_2 \cdot Z_0 + b_3 \cdot X_0 \cdot Z_0 + b_4 \cdot (X_0)^2 + b_5 \cdot (Z_0)^2 \quad Y_{рс_0} = 66.42$$

Для облегчения поиска оптимума имеется возможность пространственного изображения получаемого отклика (Surface Plot) или в виде горизонтальных площадок (Pat Plot).

Пример 13

Построение графиков линий равного выхода по уравнению регрессии отклика (листинг программы для Mathcad)

Значения коэффициентов уравнения регрессии:

$$\begin{array}{lll} a1 := 0.156523 & a11 := 0.946724 & a12 := 1.021252 \\ a2 := 0 & a23 := -0.205307 & a22 := 1.052632 \\ a3 := 0.864599 & a13 := 0 & a33 := -2.146406 \\ a4 := -0.16022 & a14 := 0 & a24 := 0 \\ a34 := 0 & a44 := 0 & a0 := 61.0128 \end{array}$$

Поиск координаты оптимума

Запишем многочлен рассматриваемого полинома (не приравнивая его ни к чему):

$$a0 + a1 \cdot X1 + a2 \cdot X2 + a3 \cdot X3 + a4 \cdot X4 + a11 \cdot X1^2 + a22 \cdot X2^2 + a33 \cdot X3^2 + a44 \cdot X4^2 + \\ + a12 \cdot X1 \cdot X2 + a13 \cdot X1 \cdot X3 + a14 \cdot X1 \cdot X4 + a23 \cdot X2 \cdot X3 + a24 \cdot X2 \cdot X4 + a34 \cdot X3 \cdot X4$$

Выделяем одну из переменных и нажимаем функцию в меню **Символика** – **Переменная** – **Дифференцировать**. Появляется одно из выражений. Аналогично выполняем действия и по другим переменным.

$$\begin{array}{l} a4 + 2 \cdot a44 \cdot X4 + a14 \cdot X1 + a24 \cdot X2 + a34 \cdot X3 \\ a2 + 2 \cdot a22 \cdot X2 + a12 \cdot X1 + a23 \cdot X3 + a24 \cdot X4 \\ a3 + 2 \cdot a33 \cdot X3 + a13 \cdot X1 + a23 \cdot X2 + a34 \cdot X4 \\ a1 + 2 \cdot a11 \cdot X1 + a12 \cdot X2 + a13 \cdot X3 + a14 \cdot X4 \end{array}$$

Представим данные выражения как функции:

$$\begin{array}{l} f4(X1, X2, X3, X4) = a4 + 2 \cdot a44 \cdot X4 + a14 \cdot X1 + a24 \cdot X2 + a34 \cdot X3 \\ f3(X1, X2, X3, X4) = a3 + 2 \cdot a33 \cdot X3 + a13 \cdot X1 + a23 \cdot X2 + a34 \cdot X4 \\ f2(X1, X2, X3, X4) = a2 + 2 \cdot a22 \cdot X2 + a12 \cdot X1 + a23 \cdot X3 + a24 \cdot X4 \\ f1(X1, X2, X3, X4) = a1 + 2 \cdot a11 \cdot X1 + a12 \cdot X2 + a13 \cdot X3 + a14 \cdot X4 \end{array}$$

Начальные условия: $X1 := 0$ $X2 := 0$ $X3 := 0$ $X4 := 0$

Ключевое слово вычислительного блока: Given

Система уравнений, записанная равенствами или неравенствами:

$$\begin{array}{l} a1 + 2 \cdot a11 \cdot X1 + a12 \cdot X2 + a13 \cdot X3 + a14 \cdot X4 = 0 \\ a2 + 2 \cdot a22 \cdot X2 + a12 \cdot X1 + a23 \cdot X3 + a24 \cdot X4 = 0 \\ a3 + 2 \cdot a33 \cdot X3 + a13 \cdot X1 + a23 \cdot X2 + a34 \cdot X4 = 0 \\ a4 + 2 \cdot a44 \cdot X4 + a14 \cdot X1 + a24 \cdot X2 + a34 \cdot X3 = 0 \end{array}$$

Функция для решения системы относительно переменных (предварительно включается в меню **Математика** кнопка **Оптимизация**, а в кнопке **Опции** задаются параметры встроенных переменных – для допуска константы STOL=0.2 (при необходимости требуется увеличить):

$$\text{Find}(X1, X2, X3, X4) = \begin{pmatrix} -0.126 \\ 0.08 \\ 0.198 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Расшифровка координат оптимума:

$$v_0 := -0.126 \quad v_1 := 0.08 \quad v_2 := 0.198 \quad v_3 := 0$$

Проверка правильности решения системы уравнений:

$$f1(X1, X2, X3, X4) := a1 + 2 \cdot a11 \cdot X1 + a12 \cdot X2 + a13 \cdot X3 + a14 \cdot X4 \quad *$$

$$f2(X1, X2, X3, X4) := a2 + 2 \cdot a22 \cdot X2 + a12 \cdot X1 + a23 \cdot X3 + a24 \cdot X4 \quad *$$

$$f3(X1, X2, X3, X4) := a3 + 2 \cdot a33 \cdot X3 + a13 \cdot X1 + a23 \cdot X2 + a34 \cdot X4 \quad *$$

$$f4(X1, X2, X3, X4) := a4 + 2 \cdot a44 \cdot X4 + a14 \cdot X1 + a24 \cdot X2 + a34 \cdot X3 \quad *$$

$$f1(v_0, v_1, v_2, v_3) = -3.513 \times 10^{-4} \quad f2(v_0, v_1, v_2, v_3) = -9.074 \times 10^{-4}$$

$$f3(v_0, v_1, v_2, v_3) = -1.802 \times 10^{-3} \quad f4(v_0, v_1, v_2, v_3) = -0.16$$

Значения производной в выбранных точках стремятся к нулю, поэтому (с учетом погрешности) данную точку условно можно считать экстремумом. Однако достаточно большое значение погрешности у четвертого фактора говорит об возможности отсутствия у него экстремума как на рассматриваемом интервале значений, так и в общем случае. Значение $f4 = -0.16$ как раз входит в интервал $STOL = 0.2$.

Произведем графическую проверку модели в выбранной точке двумерными сечениями поверхности отклика.

Первое сечение

Экспериментальные факторы:

$$i := 0..10 \quad j := 0..10$$

первый

$$X1_i := -1 + i \cdot 0.2$$

второй

$$X2_j := -1 + j \cdot 0.2$$

третий

$$X3 := v_2 \quad *$$

четвертый

$$X4 := v_3 \quad *$$

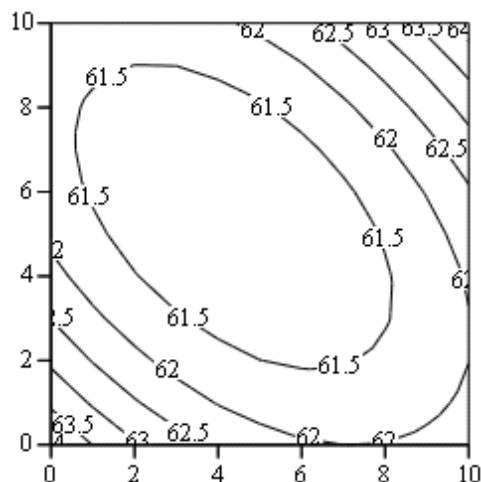
пятый

$$Y_{i,j} := (a0 + a1 \cdot X1_i + a2 \cdot X2_j + a3 \cdot X3 + a4 \cdot X4) + [a11 \cdot (X1_i)^2 + a22 \cdot (X2_j)^2 + a33 \cdot X3^2 + a44 \cdot X4^2]$$

$$Y_{i,j} := Y_{i,j} + (a12 \cdot X1_i \cdot X2_j + a13 \cdot X1_i \cdot X3 + a14 \cdot X1_i \cdot X4) + (a23 \cdot X2_j \cdot X3 + a24 \cdot X2_j \cdot X4 + a34 \cdot X3 \cdot X4)$$

В данном сечении (рис. 2.29) функция имеет выраженный минимум.

Представленные на графиках интервалы от 0 до 10, следует рассматривать как участки от «-1» до «1» (сказываются настройки и погрешности версии программы Mathcad).



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	64	63.4	62.9	62.5	62.1	61.9	61.7	61.6	61.6	61.7
1	63.5	62.9	62.5	62.1	61.8	61.6	61.5	61.4	61.4	61.6
2	63.1	62.5	62.1	61.8	61.5	61.3	61.3	61.3	61.3	61.5
3	62.7	62.2	61.8	61.5	61.3	61.2	61.1	61.2	61.3	61.5
4	62.4	62	61.6	61.4	61.2	61.1	61.1	61.2	61.3	61.6
5	62.2	61.8	61.5	61.3	61.2	61.1	61.1	61.3	61.5	61.7
6	62.1	61.7	61.4	61.3	61.2	61.2	61.2	61.4	61.6	62
7	62	61.7	61.5	61.3	61.3	61.3	61.4	61.6	61.9	62.3
8	62	61.8	61.6	61.5	61.5	61.5	61.7	61.9	62.3	62.7
9	62.1	61.9	61.7	61.7	61.7	61.8	62	62.3	62.7	63.1
10	62.3	62.1	62	62	62	62.2	62.4	62.8	63.2	63.7

Y

(выраженная «яма» либо «холм»)

Рис.2.29. Двумерное сечение поверхности отклика факторами X1 и X2

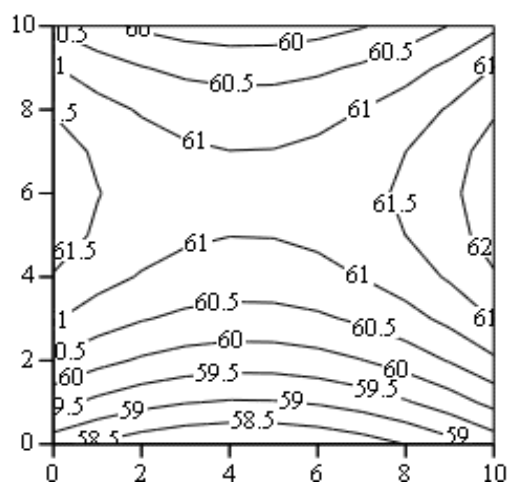
Второе сечение:

первый $X1_i := -1 + i \cdot 0.2$
 второй $X2 := v_1$
 третий $X3_j := -1 + j \cdot 0.2$
 четвертый $X4 := v_3$ *
 пятый

$$Y_{1,i,j} := (a_0 + a_1 \cdot X1_i + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot X3_j + a_4 \cdot X4) + [a_{11} \cdot (X1_i)^2 + a_{22} \cdot X2^2 + a_{33} \cdot (X3_j)^2 + a_{44} \cdot X4^2]$$

$$Y_{i,j} := Y_{1,i,j} + (a_{12} \cdot X1_i \cdot X2 + a_{13} \cdot X1_i \cdot X3_j + a_{14} \cdot X1_i \cdot X4) + (a_{23} \cdot X2 \cdot X3_j + a_{24} \cdot X2 \cdot X4 + a_{34} \cdot X3_j \cdot X4)$$

В данном сечении (рис. 2.30) функция имеет выраженный минимакс:



Y =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	58.7	59.7	60.4	61	61.5	61.7	61.8	61.7	61.5	61
1	58.4	59.4	60.2	60.8	61.2	61.4	61.5	61.4	61.2	60.7
2	58.2	59.2	59.9	60.5	61	61.2	61.3	61.2	61	60.5
3	58.1	59	59.8	60.4	60.8	61.1	61.2	61.1	60.8	60.4
4	58	59	59.7	60.3	60.8	61	61.1	61	60.7	60.3
5	58	59	59.7	60.3	60.8	61	61.1	61	60.8	60.3
6	58.1	59.1	59.8	60.4	60.8	61.1	61.2	61.1	60.8	60.4
7	58.3	59.2	60	60.6	61	61.3	61.4	61.3	61	60.6
8	58.5	59.5	60.2	60.8	61.2	61.5	61.6	61.5	61.2	60.8
9	58.8	59.8	60.5	61.1	61.6	61.8	61.9	61.8	61.6	61.1
10	59.2	60.2	60.9	61.5	61.9	62.2	62.3	62.2	61.9	61.5

Y

Рис.2.30. Двумерное сечение поверхности отклика факторами X1 и X3

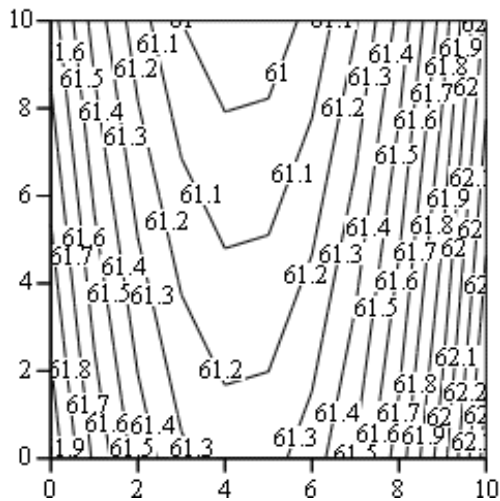
Третье сечение

первый $X1_i := -1 + i \cdot 0.2$
 второй $X2 := v_1$
 третий $X3 := v_2$ *
 четвертый $X4_j := -1 + j \cdot 0.2$
 пятый

$$Y_{1,i,j} := (a_0 + a_1 \cdot X1_i + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot X3 + a_4 \cdot X4_j) + [a_{11} \cdot (X1_i)^2 + a_{22} \cdot X2^2 + a_{33} \cdot X3^2 + a_{44} \cdot (X4_j)^2]$$

$$Y_{i,j} := Y_{1,i,j} + (a_{12} \cdot X1_i \cdot X2 + a_{13} \cdot X1_i \cdot X3 + a_{14} \cdot X1_i \cdot X4_j) + (a_{23} \cdot X2 \cdot X3 + a_{24} \cdot X2 \cdot X4_j + a_{34} \cdot X3 \cdot X4_j)$$

В данном сечении (рис. 2.31) функция имеет выраженную ложбину (в противоположном случае – гребень).



Y =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	62	61.9	61.9	61.9	61.8	61.8	61.8	61.7	61.7	61.7
1	61.7	61.6	61.6	61.6	61.6	61.5	61.5	61.5	61.4	61.4
2	61.5	61.4	61.4	61.4	61.3	61.3	61.3	61.2	61.2	61.2
3	61.3	61.3	61.3	61.2	61.2	61.2	61.1	61.1	61.1	61
4	61.3	61.2	61.2	61.2	61.1	61.1	61.1	61	61	61
5	61.3	61.2	61.2	61.2	61.1	61.1	61.1	61	61	61
6	61.3	61.3	61.3	61.3	61.2	61.2	61.2	61.1	61.1	61.1
7	61.5	61.5	61.4	61.4	61.4	61.4	61.3	61.3	61.3	61.2
8	61.7	61.7	61.7	61.7	61.6	61.6	61.6	61.5	61.5	61.5
9	62.1	62	62	62	61.9	61.9	61.9	61.8	61.8	61.8
10	62.4	62.4	62.4	62.4	62.3	62.3	62.3	62.2	62.2	62.2

Y

Рис.2.31. Двумерное сечение поверхности отклика факторами X1 и X4

Согласно анализу полученных цифровых данных более рационально сечение (рис.2.32):

первый $X1_i := -1 + i \cdot 0.2$

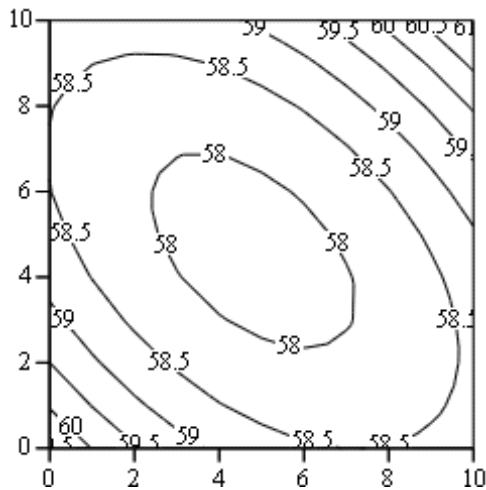
второй $X2_j := -1 + j \cdot 0.2$

третий $X3 := -1$

четвертый $X4 := 1$

пятый

$$Y_{1,j} := (a_0 + a_1 \cdot X1_i + a_2 \cdot X2_j + a_3 \cdot X3 + a_4 \cdot X4) + [a_{11} \cdot (X1_i)^2 + a_{22} \cdot (X2_j)^2 + a_{33} \cdot X3^2 + a_{44} \cdot X4^2]$$

$$Y_{i,j} := Y_{1,j} + (a_{12} \cdot X1_i \cdot X2_j + a_{13} \cdot X1_i \cdot X3 + a_{14} \cdot X1_i \cdot X4) + (a_{23} \cdot X2_j \cdot X3 + a_{24} \cdot X2_j \cdot X4 + a_{34} \cdot X3 \cdot X4)$$


Y =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	60.5	60	59.5	59.1	58.8	58.6	58.5	58.5	58.5	58.7
1	60	59.5	59.1	58.7	58.5	58.3	58.2	58.2	58.3	58.5
2	59.5	59.1	58.7	58.4	58.2	58.1	58	58.1	58.2	58.4
3	59.2	58.8	58.4	58.2	58	57.9	57.9	58	58.2	58.4
4	58.9	58.5	58.2	58	57.9	57.8	57.9	58	58.2	58.5
5	58.7	58.4	58.1	57.9	57.8	57.8	57.9	58.1	58.3	58.7
6	58.6	58.3	58	57.9	57.9	57.9	58	58.2	58.5	58.9
7	58.5	58.2	58.1	58	58	58.1	58.2	58.5	58.8	59.2
8	58.5	58.3	58.2	58.1	58.2	58.3	58.5	58.8	59.1	59.6
9	58.6	58.4	58.3	58.3	58.4	58.6	58.8	59.2	59.6	60.1
10	58.8	58.6	58.6	58.6	58.7	58.9	59.2	59.6	60.1	60.6

Y

Рис.2.32. Двумерное сечение поверхности отклика факторами X1 и X2

Наименьшее значение функции находится в данном сечении. После экспериментального подтверждения данного факта можно говорить о нахождении рационального минимального значения.

Сравнительный эксперимент и испытания. Определенные в процессе экспериментов параметры используют при изготовлении опытного образца. Изготовленный образец подлежит как пробным, так и сравнительным испытаниям. Пробные испытания проводятся для проверки работоспособности машины и необходимости доводки конструкции машины.

Опытные образцы вновь разработанных машин, а также образцы из опытных партий подвергают государственным приемочным испытаниям в соответствии с действующими ОСТами на данный вид машин. Как правило, вначале проводятся предварительные испытания для выявления возможности представления машин на приемочные испытания. При предварительных испытаниях минимальная наработка должна составлять не менее 25 % годовой загрузки испытываемой машины.

Если испытания проводят как сравнительные, то в качестве аналогов принимают лучшие отечественные, как правило, серийные образцы, а в отдельных случаях – опытные и импортные образцы. При сравнительных испытаниях условия их проведения должны быть сопоставимы для испытываемой машины и машины-аналога. Условия считают сопоставимыми, если значение основных показателей отличается друг от друга на более чем на 15 %.

Вначале определяют показатели, предусмотренные техническим заданием на разработку машин, стандартами общетехнических требований и технической документацией.

В процессе испытаний осуществляется техническая экспертиза (показателей изготовления машины); технологическая (агротехническая, зоотехническая) оценка (качественные и технологические показатели работы); энергетическая оценка (привод, затраты мощности, энергоемкость, коэффициент полезного действия машин); показатели безопасности и эргономичности; по результатам осуществляют эксплуатационно-технологическую оценку и экономическую оценку.

В процессе опытов нередко стоит задача сравнения двух каких-либо объектов. Для этого проводятся испытания с несколькими повторностями.

При сравнительных испытаниях машин условия считают сопоставимыми, если значения основных показателей не отличаются друг от друга более чем на 15 %. Существенность различия между измеряемыми показателями работы объектов определяют по критерию Стьюдента. Разница принимается существенной, если:

$$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) > t_{\alpha, 2k-2} \cdot \sqrt{S_{X1}^2 + S_{X2}^2}$$

где $t_{\alpha, 2N-2}$ – значение коэффициента Стьюдента для уровня значимости ошибки α и степеней свободы $(2N-2)$;

k – количество замеров показателя;

- \bar{X}_1 – среднее значение результата первой машины;
- \bar{X}_2 – среднее значение результата второй машины;
- α – уровень значимости;
- S_{X1}, S_{X2} – среднеквадратичное отклонение среднего значения результата первой и второй машин.

Либо второй вариант определения значимости разницы средних величин (ОСТ 10.19.1-85):

$$t_c = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{k_1} + \frac{\sigma_2^2}{k_2}}} > t_{0,05;v},$$

с числом степеней свободы:

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{k_1} + \frac{\sigma_2^2}{k_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{k_1}\right)^2}{k_1 + 1} + \frac{\left(\frac{\sigma_2^2}{k_2}\right)^2}{k_2 + 1}} - 2$$

где k_1, k_2 – соответствующее количество измерений в опыте ($k_1=k_2$);

σ_1^2, σ_2^2 – соответствующие дисперсии показателей;

$t_{0,05;v}$ – критическое значение критерия Стьюдента с уровнем значимости ошибки 0,05 и v степенями свободы.

Среднюю производительность машины при этом рассчитывают по формуле:

$$W = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k W_i,$$

где W_i – производительность в i -й повторности, кг/ч;

k – количество повторностей, выбираемое из соотношения:

$$k = \left(\frac{Z_2 \cdot \sigma_w}{\alpha \cdot \bar{W}}\right)^2,$$

здесь Z_2 – квантиль нормального распределения, 1.96;

σ_w – среднеквадратическое отклонение производительности;

α – уровень значимости ошибки, 0,05;

\bar{W} – средняя производительность.

При этом, например, по ОСТ 70.5.1–82 для посевных машин, величина контрольного допуска параметров должна укладываться в интервал:

$$\left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \cdot m_{\text{теор}} \leq m_{\text{факт}} \leq \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \cdot m_{\text{теор}}$$

где $\alpha=0,95$ – уровень доверительной вероятности;

$m_{\text{теор}}$ – расчетное (теоретическое) значение контрольного параметра;

$m_{\text{факт}}$ – опытное (фактическое) значение контрольного параметра.

Пример 14

Обработка результатов сравнительного эксперимента (листинг программы для Mathcad)

В результате проведения сравнительного эксперимента (либо при обработке опытных данных программой *Statistica*) получены две выборки результатов: первая – данные по проектируемой машине (либо расчетные значения по математической модели), вторая – данные по базовой машине (либо исходные результаты опытов при регрессионном моделировании).

Количество значений в выборках (число строк плана): $N := 6$ $i := 1..N$

Результаты опыта:

Базовая машина (либо результаты опытов)

$$y_1 := 16.5 \quad y_2 := 16.5 \quad y_3 := 16 \quad y_4 := 10 \quad y_5 := 14 \quad y_6 := 17$$

Проектируемая машина (либо результаты расчетов)

$$x_1 := 17.797 \quad x_2 := 16.597 \quad x_3 := 14.184 \quad x_4 := 11.349 \quad x_5 := 13.648 \quad x_6 := 16.422$$

$$\begin{aligned} \text{Среднее значение результата:} \quad Y_{\text{ср}} &:= \frac{\sum_i y_i}{N} & X_{\text{ср}} &:= \frac{\sum_i x_i}{N} \\ Y_{\text{ср}} &= 15 & X_{\text{ср}} &= 14.999 \end{aligned}$$

Дисперсия каждой серии опыта:

$$S_{2y} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (y_i - Y_{\text{ср}})^2 \quad S_{2x} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (x_i - X_{\text{ср}})^2 \quad S_{2y} = 7.1 \quad S_{2x} = 5.644$$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

$$\text{F-критерий Фишера:} \quad S_0 := S_{2x} \quad S_1 := S_{2y} \quad F := \frac{\max(S)}{\min(S)} \quad F = 1.258$$

Число степеней свободы остаточной дисперсии: $\nu := N - 1$

$$\text{Критическое значение F-критерия Фишера:} \quad F_{\text{кр}} := qF(1 - \alpha, \nu, \nu) \quad F_{\text{кр}} = 5.05$$

$$|F| < F_{\text{кр}} = 1$$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не 0), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод о равнозначности или равномерности дисперсий (различия представленных выборок незначимы), значит полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Квантиль распределения Стьюдента (критическое значение):

$$T := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, 2N - 2\right) \quad T = 2.228$$

Проверка на существенность различия между измеряемыми значениями объектов:

$$T1 := T \cdot \sqrt{S2_y + S2_x} \quad T1 = 7.954 \quad T0 := X_{cp} - Y_{cp} \quad T0 = -5 \times 10^{-4}$$

$$|X_{cp} - Y_{cp}| > T \cdot \sqrt{S2_y + S2_x} = 0$$

Разница принимается существенной, если выполняется условие: значение равно 1, а не нулю. Так как условие не выполнено, разница между выборками не существенна.

Скорректированные средние квадратичные отклонения результатов:

$$S_x := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (X_{cp} - x_i)^2} \quad S_y := \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - y_i)^2}$$

$$S_x = 2.376 \quad S_y = 2.665$$

Выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Y_{cp} - y_i) \cdot (X_{cp} - x_i) \quad K_{xy} = 5.645$$

Коэффициент корреляции: $r := \frac{K_{xy}}{S_y \cdot S_x} \quad r = 0.8918$

Корреляционное отношение: $\eta := \sqrt{1 - \frac{S2_x}{S2_y + S2_x}} \quad \eta = 0.746$

Множественная мера определенности: $r^2 = 0.795$

t-критерий коэффициента корреляции: $tr := \frac{r \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad tr = 3.942$

Табличное значение t-критерия: $Tr := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, N-1\right) \quad Tr = 2.571$

$$|tr| < Tr = 0$$

Поскольку условие оказалось ложным (равным нулю, а не 1), то мы должны сделать вывод о существенности различий в представленных выборках, то есть вычисленное значение коэффициента корреляции достоверно.

Коэффициенты уравнения линейной регрессии (математической модели изучаемого процесса), например:

$$b_0 := 0.01 \quad b_1 := 1.043$$

Число коэффициентов в уравнении регрессии: $n := 2 \quad j := 0..n-1$

В ряде случаев программа Statistica рассчитывает числовые значения коэффициентов регрессии, финальный остаток и коэффициент корреляции. Однако данные по значимости коэффициентов регрессии отсутствуют. Данный пример позволит уточнить состав коэффициентов математической модели.

Расчетные значения по уравнению регрессии: $Y_{pi} := \sum_j b_j \cdot x_i$

Дисперсия коэффициентов регрессии:

$$S2_b := \frac{S2_y}{n \cdot N} \quad S2_b = 0.591667$$

Число степеней свободы данной дисперсии:

$$vb := N \cdot (n - 1) \quad vb = 6$$

Значения t-критерия Стьюдента для полученных

$$\text{коэффициентов регрессии: } t_j := \frac{b_j}{\sqrt{S2_b}}$$

$$Y_p = \begin{pmatrix} 0 \\ 18.74 \\ 17.477 \\ 14.936 \\ 11.95 \\ 14.371 \\ 17.292 \end{pmatrix} \quad y = \begin{pmatrix} 0 \\ 16.5 \\ 16.5 \\ 16 \\ 10 \\ 14 \\ 17 \end{pmatrix}$$

Критическое значение t-критериев: $t_{кр} := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, vb\right) \quad t_{кр} = 2.447$

Незначимые коэффициенты, у которых значения t-критериев меньше критического значения, приравниваются к нулю. Значимые коэффициенты уравнения регрессии обозначим другой переменной b_b с помощью функции условия – **if**.

$$(b_b)_j := \text{if}(|t_j| < t_{кр}, 0, b_j) \quad b_b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad t = \begin{pmatrix} 0.013 \\ 1.356 \end{pmatrix}$$

Незначимые коэффициенты регрессии следует удалить из математической модели. Если модель получена, используя программу Statistica, то следует внести соответствующие изменения в исходное уравнение регрессии и повторить расчет. В этом случае данные достаточно совпадают, поэтому коэффициенты незначимы.

Контрольные вопросы

1. Цели научного исследования.
2. Этапы научного исследования.
3. Что такое допустимая погрешность средств измерений?
4. Что такое абсолютная погрешность средств измерений?
5. Дайте определение доверительного интервала (интервал оценивания) среднеквадратической ошибки.
6. Что такое статистическое значение математического ожидания или выборочного среднего (n – числовое значение выборки) \bar{x} случайной величины x_i ?
7. Что такое статистическое значение дисперсии \bar{D} для экспериментальных данных?
8. Что такое статистическое значение дисперсии $D(x)$ случайной величины?
9. Что такое статистическое значение среднеквадратического отклонения $S(x)$?
10. Что такое среднеквадратическое или стандартное отклонение $\sigma(x)$?
11. Что такое коэффициент вариации $V(x)$?
12. Что такое экстремальный эксперимент?
13. Что такое интерполяционный эксперимент?
14. Что называют уровнем фактора?
15. Что такое полный факторный эксперимент (ПФЭ)?
16. Что такое ротатабельность плана эксперимента?

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПАКЕТОМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ STATISTICA

3.1. Редактирование таблиц и предварительный анализ

STATISTICA – мощнейший пакет компьютерных программ для статистической обработки данных. Включает в себя модули: *Основные статистики и таблицы*, *Непараметрическая статистика*, *Дисперсионный анализ*, *Множественная регрессия*, *Нелинейное оценивание*, *Анализ временных рядов и прогнозирование*, *Кластерный анализ*, *Факторный анализ*, *Дискриминантный функциональный анализ*, *Анализ длительностей жизни*, *Каноническая корреляция*, *Моделирование структурных уравнений* и др.

Исходя из задач, наиболее часто стоящих перед исследователем, приведены несколько примеров их решения. Более подробно обработка аналогичных и иных задач дана в специальной литературе. К сожалению, в основном используются англоязычные версии пакета, что затрудняет анализ полученных данных. В связи с этим приведен перевод наиболее часто встречающихся показателей.

3.1.1. Ввод данных в программе STATISTICA

Используя кнопку **Пуск**, запускаете программу **STATISTICA** и появляется окно (рис. 3.1). Нажав вне панели **Quick Basic Stats (Быстрые основные статистики)**, Вы свернете (временно) эту панель и можете вводить данные. При необходимости новый файл открывается как обычно в Windows кнопкой **New data** из меню **File**.

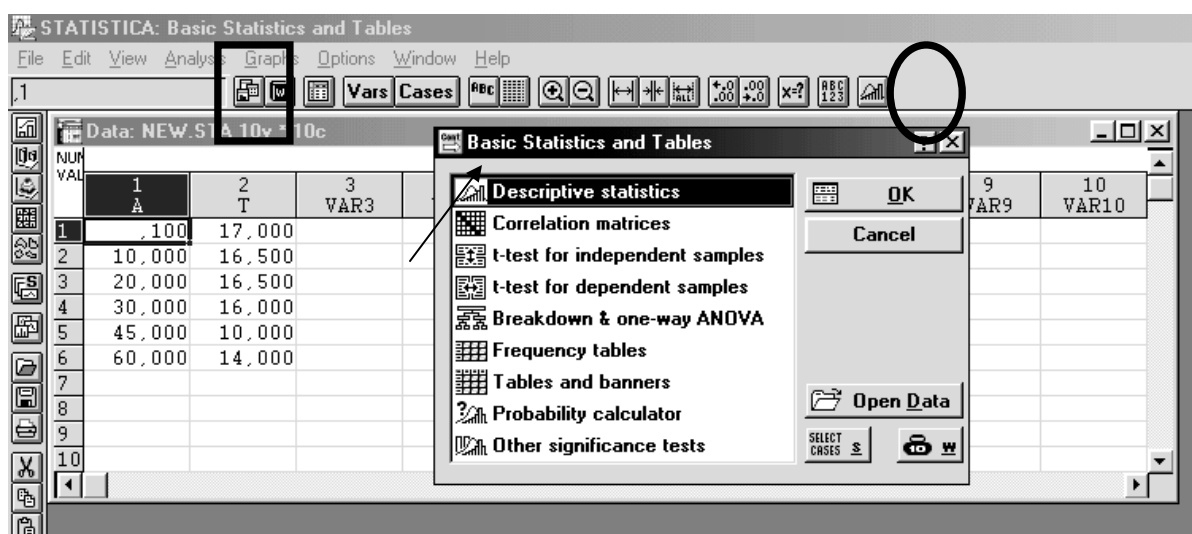


Рис. 3.1. Окно программы STATISTICA при ее запуске

При вводе обрабатываемых данных гораздо проще использовать вставку готовой матрицы данных из программы **Excel**. При недостатке количества строк для ввода опытных данных нажимается кнопка **Cases** и строка **Add** (рис.3.2). Указывается необходимое количество дополнительных строк. При недостатке количества факторов нажимается кнопка **Vars**.

Программа различает точку и запятую. Если после знака («.» или «,») проставляются нули, то ввод осуществлен правильно (строка 2), если нет – ошибка знака (строка 4).

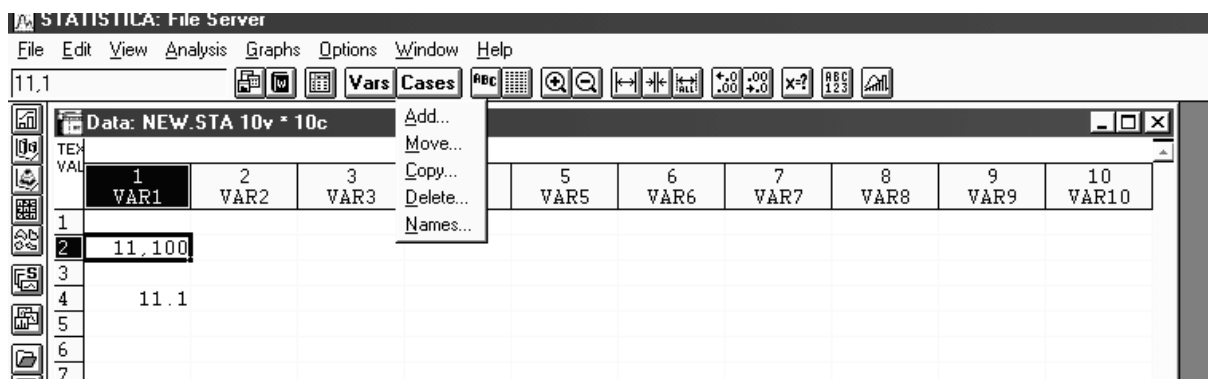


Рис.3.2. Ввод данных

При двойном щелчке на номере фактора **VAR1** и т.п. появится панель для переименования обозначения фактора. Для обозначения используются только английские буквы. Пример ввода данных для факторов *A* и *T* на рис.3.3.

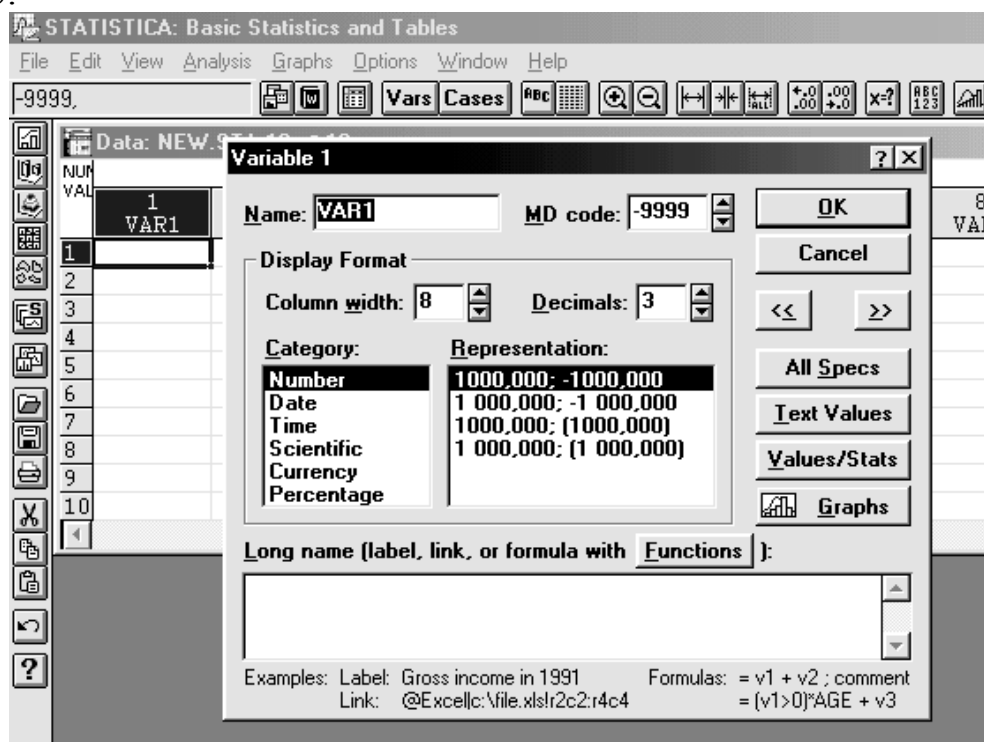


Рис.3.3. Изменение названия факторов

3.1.2. Предварительный анализ данных

Вновь открываем панель **Basic Statistics and Tables** – описательные статистики (см. рис. 3.1, указана стрелкой) и проводим необходимую обработку данных. При необходимости её запускают левой кнопкой панели инструментов (она обведена прямоугольной рамкой) либо аналогичные операции можно выполнить и иным блоком, вызвав её правой кнопкой на панели инструментов (обведена в кружок) **Quick Basic Stats (Быстрые основные статистики)**.

Данная кнопка позволяет быстро рассчитать основные статистики и все виды анализа для одной или целого списка переменных (например, корреляционные матрицы для всех переменных в файле данных).

Выбрав из меню **Basic Statistics and Tables** строчку **Descriptive Statistics**, получим панель с кнопками-функциями.

При этом таблица результатов отличается от таблицы с исходными данными. Этот специальный тип таблиц в **STATISTICA** носит название **scrollsheets**.

В качестве примера рассмотрим обработку данных выборок *A* и *T* из файла **new.sta**, в каждой из которых по шесть значений. Обработка проводится при выборе в кнопке **Variables** необходимых выборок *A* и *T*:

Кнопка **Detailed descriptive Statistics** позволит получить табл. 3.1 (при выборе в кнопке **More statistics** – позицию **All**):

Т а б л и ц а 3 . 1
Результаты обработки Descriptive Statistics

Descriptive Statistics (new.sta)															
Показатель	Количество	Сумма	Минимум	Максимум	Нижн. квартиль	Верхн. квартиль	Размах	Квартиль размаха	Выб. дисперсия	Ст. отклон	Ст. ошибка	Выб. коэф. асимметрии	Ст. ош. коэф. асимметрии	Выбор. коэф. эксц.	Ст. ош. коэф. эксцеса
	Valid N	Sum	Minimum	Maximum	Lower Quartile	Upper Quartile	Range	Quartile Range	Variance	Std. Dev.	Standard Error	Skewness	Std. Err. Skewness	Kurtosis	Std. Err. Kurtosis
<i>A</i>	6	165,1	0,1	60	10	45	59,9	35	496,4	22,28	9,09	0,359	0,845	-0,94	1,741
<i>T</i>	6	90	10	17	14	16,5	7	2,5	7,1	2,66	1,09	-1,75	0,845	2,82	1,741

В таблице видны слева направо следующие описательные статистики:

- Valid N – истинное число случаев переменной (число случаев без пропусков);
- Mean–выборочное Среднее;
- Coafid – 95 % – нижняя граница 95 %-го доверительного интервала для среднего;
- Confid + 95 % – верхняя граница 95 %-го доверительного интервала для среднего;
- Sum – сумма (сумма значений переменной);
- Minimum – минимум (минимальное значение переменной);

- Maximum – максимум (максимальное значение переменной);
- Range – размах (то есть разность между максимумом и минимумом);
- Variance – выборочная дисперсия;
- Std.Dev. – стандартное отклонение;
- Std.Err. – стандартная ошибка;
- Skewness – выборочный коэффициент асимметрии;
- Std.Err. Skewness – стандартная ошибка коэффициента асимметрии;
- Kurtosis – выборочный коэффициент эксцесса;
- Std.Err. Kurtosis – стандартная ошибка эксцесса.

Кнопка **Frequency tables** позволит получить табл. 3.2 анализа данных по классовым интервалам (по частотам) для каждой выборки (например, T):

Т а б л и ц а 3 . 2

Результаты обработки Frequency tables

T (new.sta)	Кол-во значений	Накопление значений	Процент от кол-ва	Накопление значений	Процент от всех случаев	Накопление % от всех случаев
	Count	Cumul. Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumul. % of All
9,0000 < x <= 10,000	1	1	16,666	16,66667	10	10
10,000 < x <= 11,000	0	1	0	16,66667	0	10
11,000 < x <= 12,000	0	1	0	16,66667	0	10
12,000 < x <= 13,000	0	1	0	16,66667	0	10
13,000 < x <= 14,000	1	2	16,666	33,33333	10	20
14,000 < x <= 15,000	0	2	0	33,33333	0	20
15,000 < x <= 16,000	1	3	16,666	50	10	30
16,000 < x <= 17,000	3	6	50	100	30	60
Missing (кол-во неиспольз. интервалов)	4	10	66,666		40	100

Под ней метки для получения *Ожидаемых нормальных частот; Критерия нормальности Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса; Критерия Шапиро-Уилка W.*

Кнопка **Histograms** позволит получить график-гистограмму столбцов опытных значений и кривую нормальной зависимости (красная кривая) распределения значений (рис.3.4). Чем больше соответствуют столбцы профилю кривой – тем лучше подпадают под закон распределения.

Кнопка **Box & whisker plot for all variables** – диаграмма размаха для всех переменных позволит получить графики: Median/Se/Sd – размещения медианы, размаха значений и интервала для квантилей, соответствующих 25 и 75 % (рис.3.5); Mean/Se/Sd – размещения среднего, стандартного отклонения и стандартной ошибки; Mean/Sd/1.96*Sd – размещения среднего, ст.отклонения и его интервала с коэффициентом 1.96; Mean/Sd/1.96*Sd – размещения среднего, ст.ошибки и ее интервала с коэффициентом 1.96.

В случае сравнения опытных и расчетных выборок будет визуально видно их соответствие, что позволит сделать правильный вывод. Данный график носит название «ящик с усами» и дает поверхностное представление о характере кривой распределения значений: интервал изменения, 25–75 %-й интервал значений, медиана. Сравнивая два показателя, видно несовпадение их интервалов, что скажется на соответствии данных одного параметра данным другого при проверке их адекватности.

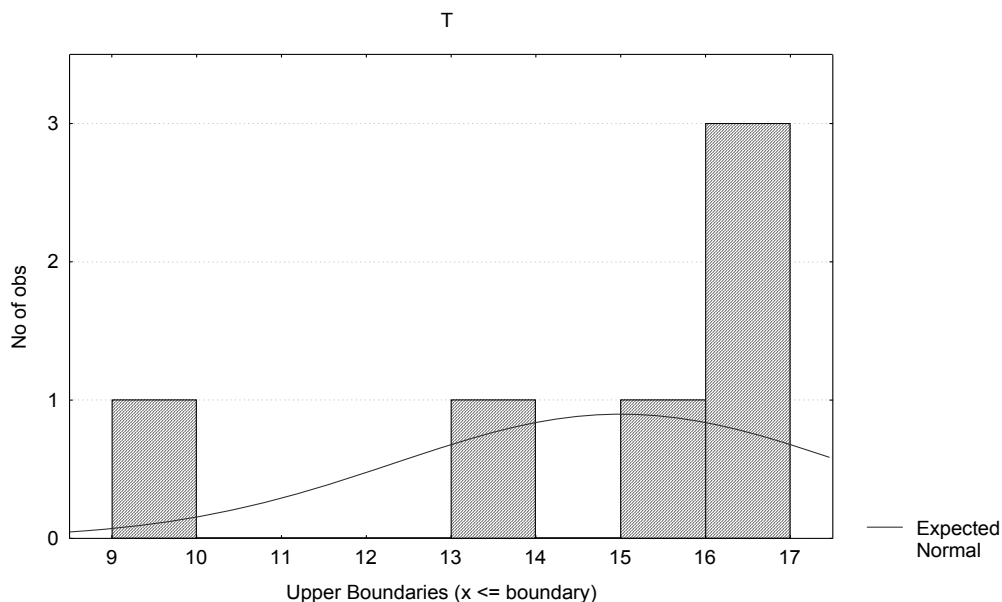


Рис. 3.4. Гистограмма опытных значений выборки *T*: по горизонтали – цифровые значения; по вертикали – количество повторностей

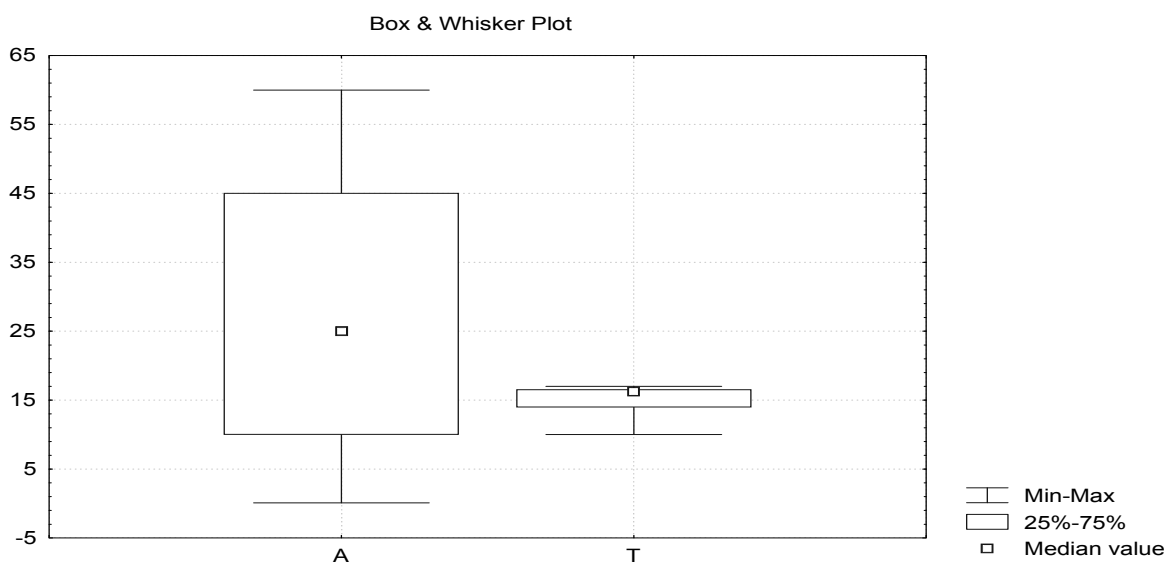


Рис. 3.5. Величины средних, стандартных отклонений и ошибок

Кнопка **Normal probability plots** – нормальные вероятностные графики – позволит получить график размещения значений на нормальной бумаге (рис. 3.6). Чем равномернее распределены значения относительно линии,

тем лучше соответствуют они нормальному закону. Чем меньше абсолютные значения по вертикали (величина погрешности) – тем лучше.

Ниже расположены кнопки: **Полунормальные вероятностные графики (абсолютные значения); Нормальные вероятностные графики без линейного тренда.**

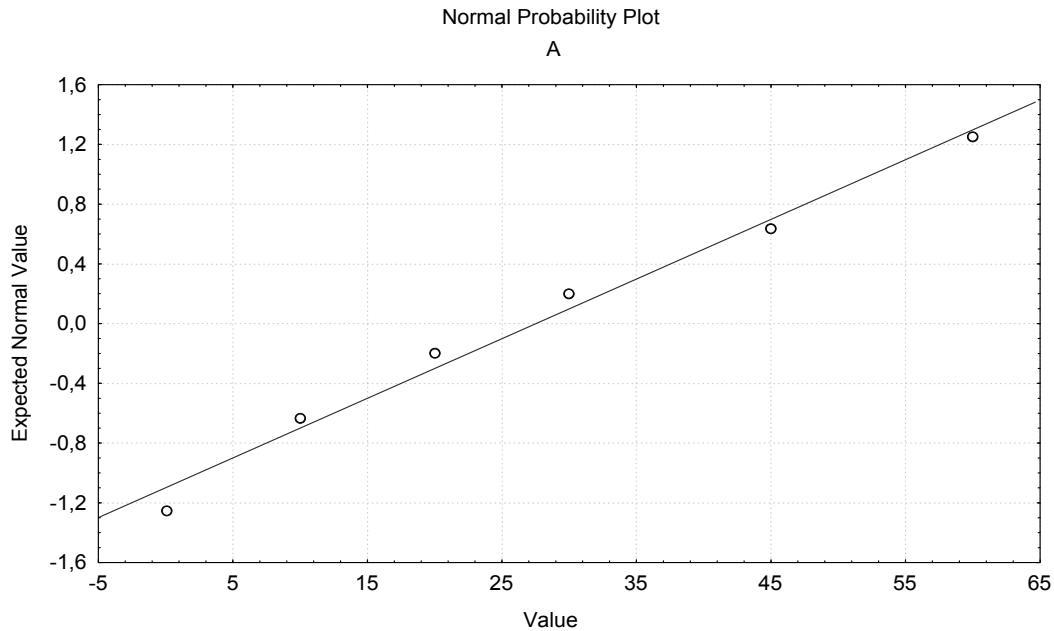


Рис. 3.6. Размещение значений выборки *A* на нормальной бумаге

Кнопка **2D scatter** – 2-мерное рассеяние – позволит получить график линейной регрессии (при настройке в **Select two var: A – T**) показателей между собой с указанием коэффициента линейной корреляции и 95 %-го доверительного интервала (рис. 3.7). Расположение точек вне данного интервала позволяет отнести их к выпадающим значениям и отсеять. Иногда используют график для проверки соответствия данной модели изучаемому процессу.

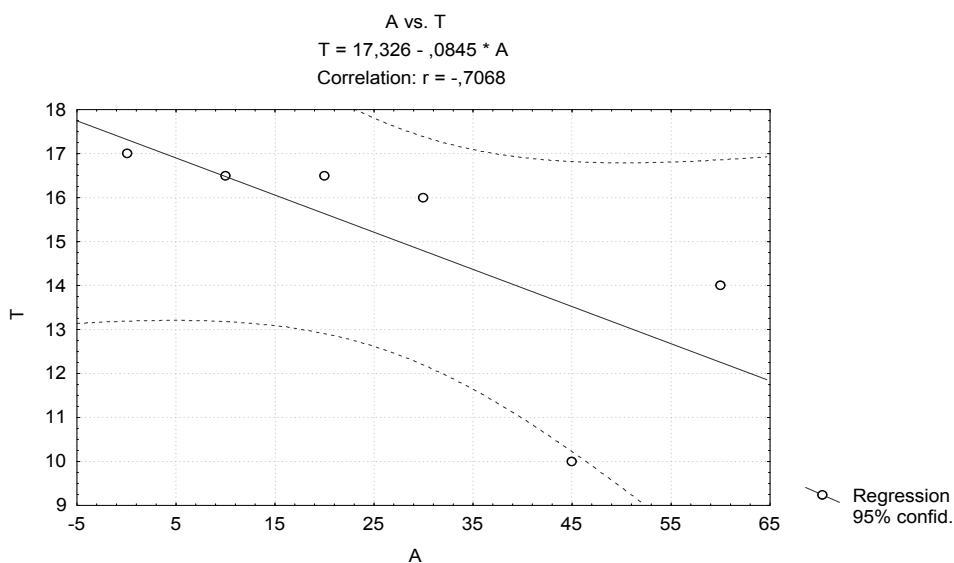


Рис. 3.7. Соответствие линейной модели *A-T* нормальному закону и 95 %-му доверительному интервалу

Кнопка **Matrices** – матричный – позволит получить график частной (выборочной) корреляции факторов (рис.3.8). Чем круче направление прямой, тем выше коррелированы факторы. Рост значений говорит о положительной корреляции. Данный график можно использовать при отсеивающем эксперименте с целью выбора уровня отсеиваемых факторов для последующих опытов.

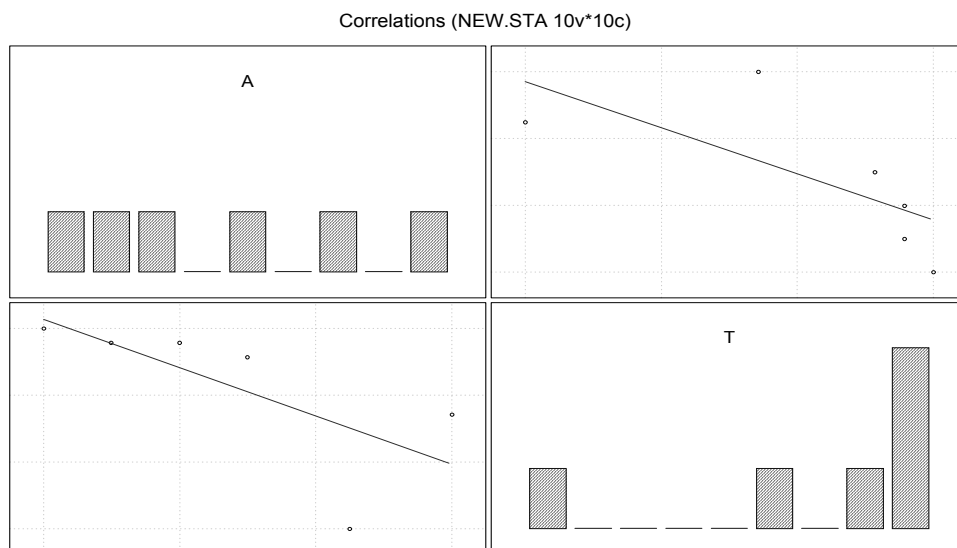


Рис. 3.8. Выборочная корреляция факторов

Кнопкой **У** задаются условия выбора наблюдений – отсева ряда значений.

Выбрав из меню **Basic Statistics and Tables** строчку **Correlations matrices**, настроив выборки А и Т, кнопку **Display – Detailed table of results** (подробную таблицу результатов), увидим табл. 3.3 со значениями коэффициентов корреляции и другими показателями. Над данной меткой: верхняя – выделить значимые, пониже – отображать *P* и *N*. В верхней части диалогового окна клавиши: Квадратная матрица (один список) и Прямоугольная матрица (два списка).

Таблица 3.3

Результаты обработки Correlations matrices

Correlations (new.sta) – Основные корреляционные статистики											
Marked correlations are significant at $p < 0,050$ – Отмеченные корреляции значимы на уровне ...											
Название выборки	Среднее	Станд. откл.	Коэф. корреляции	Коэф. детерминации	Критерий Стьюдента	Ур-нь знач. ошибки	Кол-во значений	Постоян коэф ур. регрес	Коэф. регрес. незав. перем.	Своб. член зависим X	Углов. коэф-т завис. X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Mean	Std.Dv.	r(X,Y)	rI	t	p	N	Constant dep: Y	Slope dep: Y	Constant dep: X	Slope dep: X
A	27,51	22,280									
A	27,51	22,280	1	1			6	0	1	0	1

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	27,51	22,280									
T	15	2,6645	-0,71	0,499	-1,998	0,116	6	17,32	-0,08	116,16	-5,90986
T	15	2,6645									
A	27,51	22,280	-0,71	0,499	-1,998	0,116	6	116,1	-5,91	17,325	-0,08453
T	15	2,6645									
T	15	2,6645	1	1			6	-3,3E-15	1	-3,3E-15	1

Выбрав из меню **Basic Statistics and Tables** строчку **T-Test for independent Samples (Т-Тест независимых переменных)**, выбрав переменные, пометив все опции и нажав кнопку **t-tests**, увидим табл. 3.4 с результатами расчета показателей:

Таблица 3.4
Результаты обработки T-Test for independent Samples

Назв. выборки	Среднее выборки 1	Среднее выборки 2	t-критерий	Число степ. свободы	Ур. значим. ошибки	t-критерий	Число степеней свободы	Ур. значим. ошибки у 2 сторон
	Mean G 1:1	Mean G 2:2	t-value	df	p	t separ. var.est.	df	p 2-sided
Кол-во 1-й выборки	Кол-во 2-й выборки	Станд. откл. 1-й выборки	Станд. откл. 2-й выборки	F-относит. дисперс.	P-дисперсии	Критер. Левена односторон. дисперсии	Число степеней свободы Левена	Ур. значим. ошибки для Левена
Valid N G 1:1	Valid N G 2:2	Std.Dev. G 1:1	Std.Dev. G 2:2	F-ratio variancs	p variancs	Levene F(1,df)	df Levene	p Levene

Выбрав из меню **Basic Statistics and Tables** строчку **T-Test for dependent Samples (Т-Тест зависимых переменных)**, осуществив выбор переменных и нажав кнопку **t-tests**, увидим табл. 3.5 с результатами расчета показателей.

Таблица 3.5
Результаты обработки T-Test for dependent Samples

T-test for Dependent Samples (new.sta)								
Marked differences are significant at p < 0,05000								
(Casewise deletion of missing data)								
	Среднее	Ст. откл.	Кол-во знач.		Ст.откл.	t-крит.	Число степ. свободы	Вероятн. ошибки
	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p
A	27,5167	22,2801						
T	15	2,66458	6	12,5167	24,2368	1,265	5	0,26162

После выбора из меню **Basic Statistics and Tables** строчки **Breskdown & one wey ANOVA (Группировка и однофакторная ANOVA)** появится панель Внутри групповые описательные статистики и корреляции (после выбора переменных и нажатия ОК). Левая верхняя строчка – Итоговая таблица средних; по ней – Подробные двухходовые таблицы; ниже – Маргинальные средние, Дисперсионный анализ, Апостериорные сравнения средних; Левена; Брауна-Форсайта (ОД); Внутригрупповые корреляции; Опции; Переупорядочить факторы в таблице. Справа сверху: Статистики (Число наблюдений, Суммы, Ст.отклонения, Дисперсии, Медиана и квантили); Категоризованные диаграммы размаха; Категоризованные гистограммы; Графики взаимодействий; Категоризованные диаграммы рассеяния; Графики средних и стандартных отклонений. После нажатия кнопки **Дисперсионный анализ – Analysis of Variance** появится табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3 . 6

Результаты обработки дисперсионного анализа

Analysis of Variance (new.sta)								
Marked effects are significant at p <0 ,05000								
Переменная	Сум. квад. эффекта	Число степеней свободы эффекта	Ср. квадр. эффект	Сум. квад. ошибки	Число степеней свободы ошибки	Ср. квадр. ошибки	F-критерий	Ур. значим. ошибки
	SS	df	MS	SS	df	MS		
	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error	F	p
T	35,5	5	7,1	0	0			

Открыв кнопку **Апостериорные сравнения средних**, можем определить (сверху вниз): Критерий наименьшей значимой разности (НЭР); Критерий Шеффе; Критерий Ньюим.-Кеулса и критерий Размахи; Критерий Тьюки ДЗР; Критерий Тьюки ДЗР для неравных *N*.

После нажатия меток **Statistics** и **ОК** появится таблица частот (табл. 3.7).

Т а б л и ц а 3 . 7

Статистические показатели по интервалам

Summary Table of Means (new.sta)								
N=6 (No missing data in dep. var. list)				N=6 (Объем выборки)				
T	Среднее	Объем интервала	Сумма	Ст. откл.	Дисперсия	Квартиль	Медиана	Квартиль
	Means	N	Sum	Std. Dev.	Variance	Q25	Median	Q75
G 1:0	17	1	17	0	0			
G 2:10	16,5	1	16,5	0	0			
G 3:20	16,5	1	16,5	0	0			
G 4:30	16	1	16	0	0			
G 5:45	10	1	10	0	0			
G 6:60	14	1	14	0	0			
All Grps Накопл.значений	15	6	90	2,664583	7,1	14	16,25	16,5

После выбора из меню **Basic Statistics and Tables** строчку **Probability Calculator (Вероятностный калькулятор)**, появится панель калькулятора вероятностных распределений (рис.3.9).

В левой его части приведен список распределений **Distribution (Распределение)**, из которого можно выбрать необходимое. В нашем случае – нижнюю строчку **Z (Normal)** – Нормальное распределение. Автоматически справа появляются поля с параметрами данного распределения: среднее значение – **mean** и стандартное отклонение – **st.dev.** Задавая их значение (например, 24 и 2), можем задаться либо уровнем вероятности соответствия (например, $p=0,2$), либо значением параметра **X** (тот который из них не задан, вычисляется автоматически: $X=22,317$). Автоматически на калькуляторе появляются графики: **Density Function (Функция плотности)**, **Distribution Function (Функция распределения)**. Опции в верхней части окна: **Inverse (обратная функция распределения)**, **Two-tailed (двухсторонний)**, **1-Cumulative p-1-p**, **Print (печать)**, **Create graph (создать график)**. При нажатии кнопки **Compute (Вычислить)** на экране появляется график плотности и функции распределения (см. на заднем плане, внизу рис. 3.9). Опция **Fixed Scaling** под списком распределений **Distribution (Распределение)** указывает, выбрана ли фиксированная шкала.

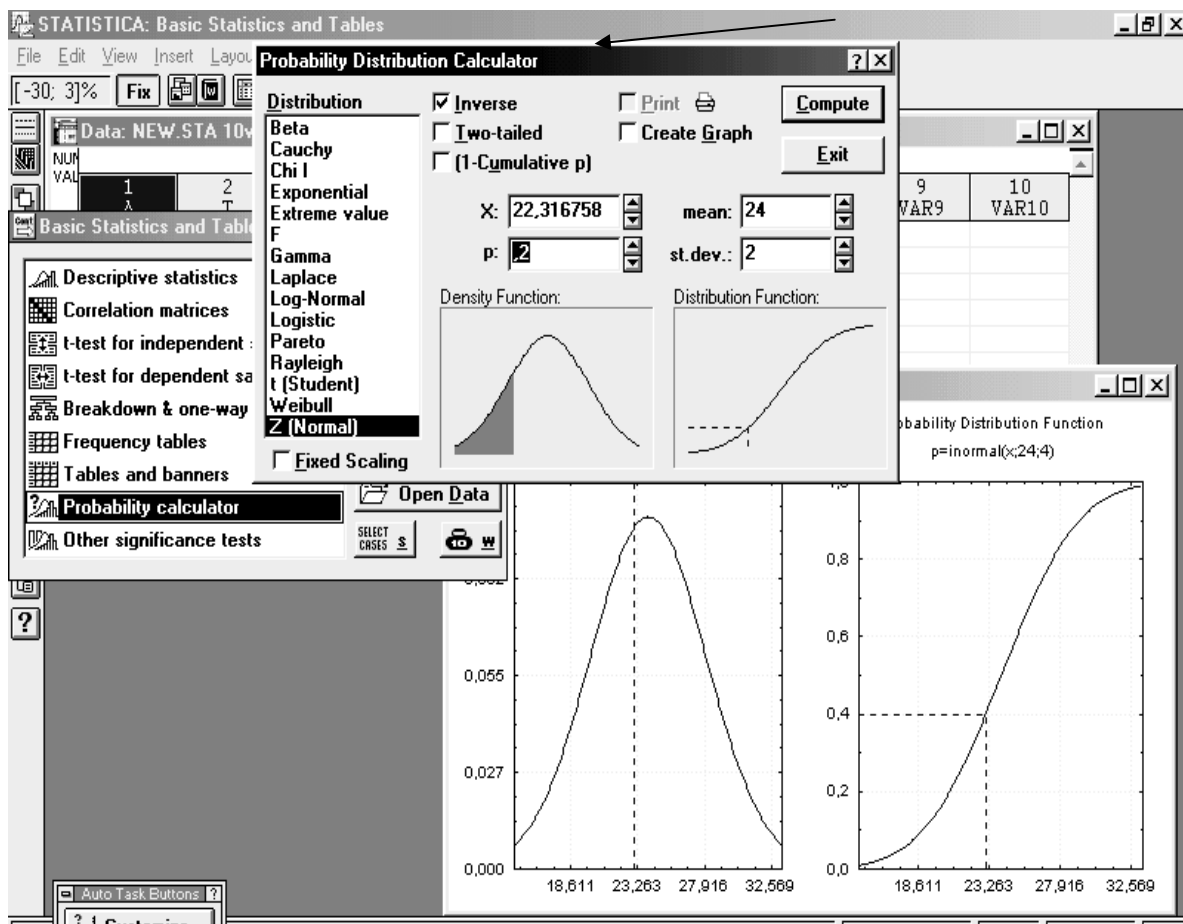


Рис.3.9. Панель вероятностного калькулятора

При выборе распределения **Chi I** (Хи-квадрат) строка **df** – число степеней свободы (целое положительное число), вероятность соответствия $p=0,95$. Нажав **Compute** в строке **Chi I**, увидим: 0,95 – квантиль **хи-квадрат-распределение** с *df* степенями свободы. Его используют при исследовании оценки дисперсии нормальной выборки, а также при проверке зависимостей в таблицах сопряженности и в критериях согласия.

При рассмотрении оценки среднего и неизвестной дисперсии выборки используют выборочную дисперсию и **t-распределение**. Данное распределение применяется в регрессионном анализе и анализе временных рядов. В списке распределений оно – **t (Student)** (t-распределение Стьюдента). Число степеней свободы – **df**. При степенях свободы более 30 t-распределение практически совпадает со стандартным нормальным распределением.

F-распределение возникает в регрессионном, дисперсионном и дискриминантном анализе, а также при многомерных анализах данных. Степень свободы 1 – **df1**, степень свободы 2 – **df2**.

Аналогично работают и с другими распределениями. Более подробно данные вопросы рассмотрены в специальной литературе.

3.1.3. Построение гистограмм

Вдоль правого края панели имеются кнопки с графиками. Верхняя кнопка обозначена красным графиком и гистограммой. После нажатия на нее появляется панель (Возле строки 5). На ней кнопка с красными графиками. Нажимаем на нее (под клавишей **OK**).

Появляется панель **Grafics Gallery** (рис. 3.10). Выделяем строки, как показано на рис. 3.10. Нажимаем **OK**. Появившаяся панель (рис. 3.11) позволяет выбрать необходимый закон распределения. При нажатии кнопки **Variables** выбираем тип графика **Graf type** (у нас факторы S и T). Так как два фактора, то выбираем **Multiple**. Вид распределения выбираем в **Fit Tup**. В левом нижнем углу кнопки дополнительных возможностей: Cumulative counts; Breaks between counts; Show percentages. Количество интервалов задается цифрой у правого края (у нас **13**). **OK**. Появляется график гистограмм (рис.3.12). По совпадению с законом распределения выбранного закона визуально судится о правомочности выбора.

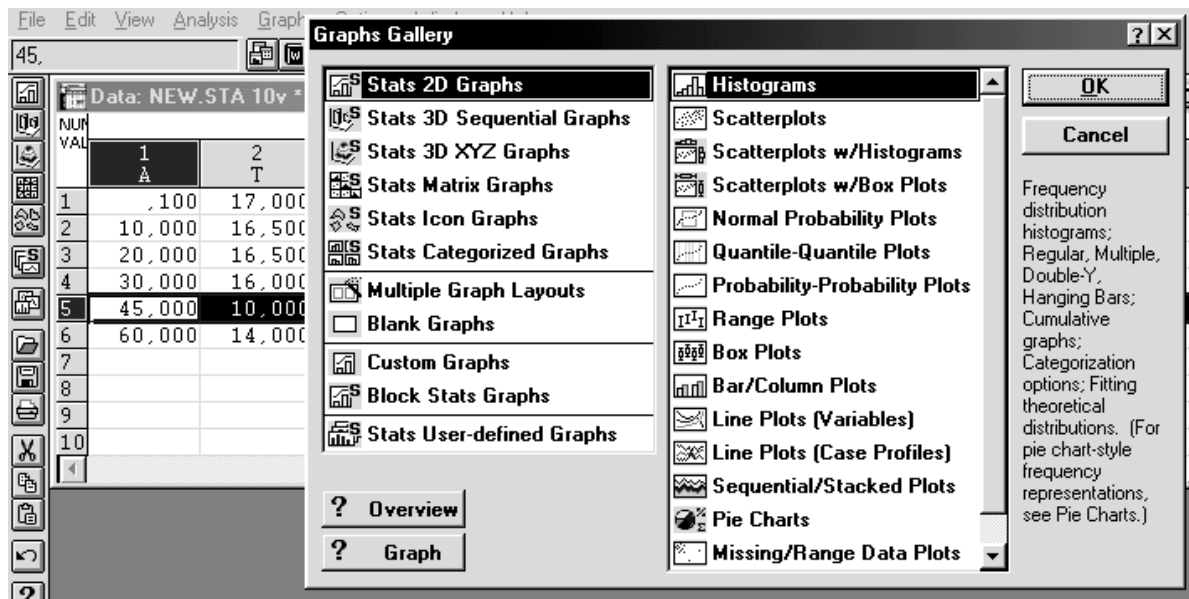


Рис.3.10. Панель выбора графика

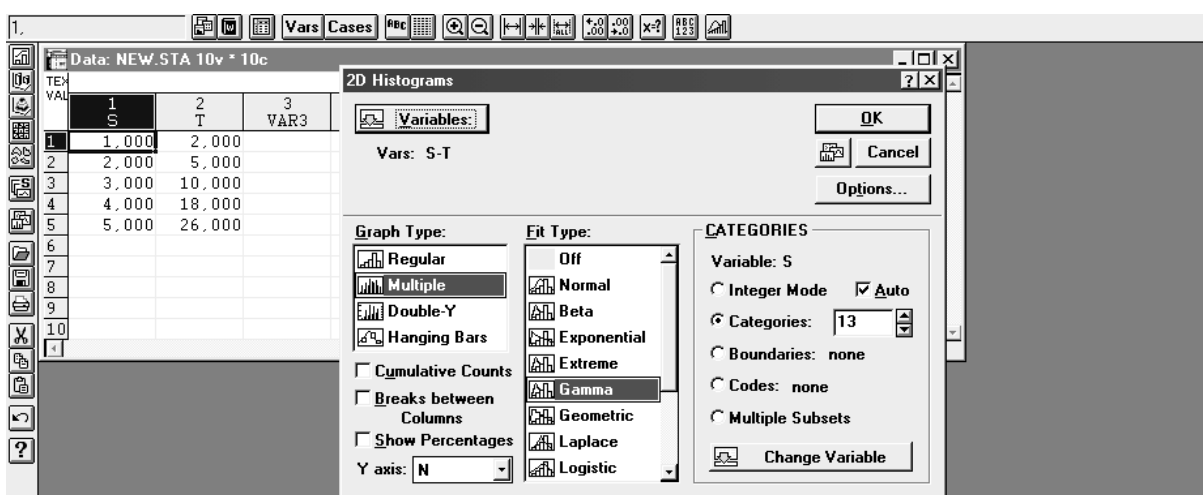


Рис.3.11. Панель выбора закона распределения

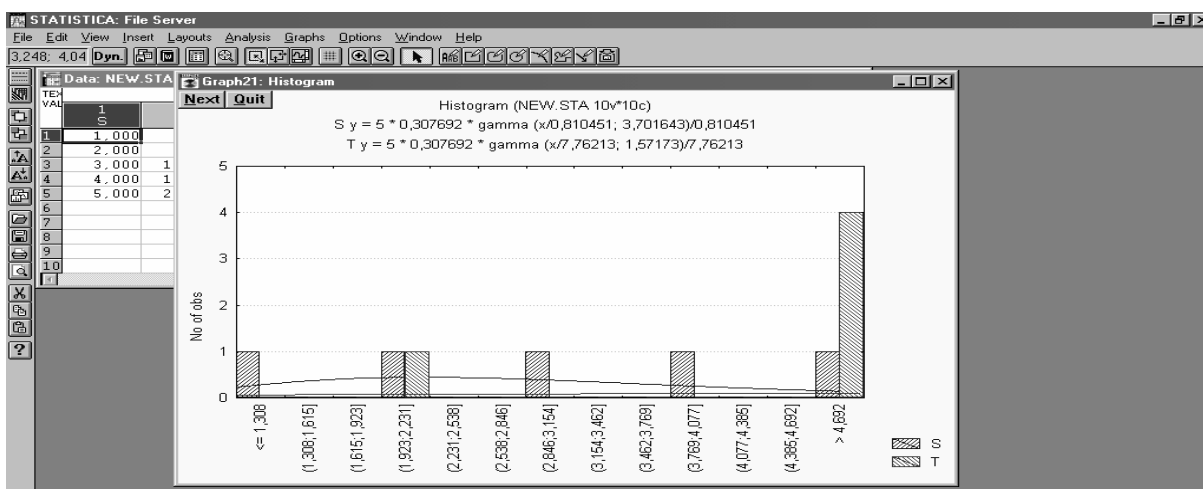


Рис.3.12. Панель с графиком закона распределения выборки

3.2. Обработка данных модулем «Нелинейное оценивание» Nonlinear Estimation

После подготовки базы данных запускается соответствующий модуль расчета: вторая строка, вторая кнопка слева (три зеленых листочка с графиками), называемая (желтым текстом) **STATISTICA Module Swicher**.

После нажатия на кнопку появится экран (рис. 3.13). Выбирается нелинейное оценивание (как на рис. 3.13) – нажимаем **Enter**. Появится запрос на использование данных из файлов сервера (рис. 3.14). Нажать **Yes**.

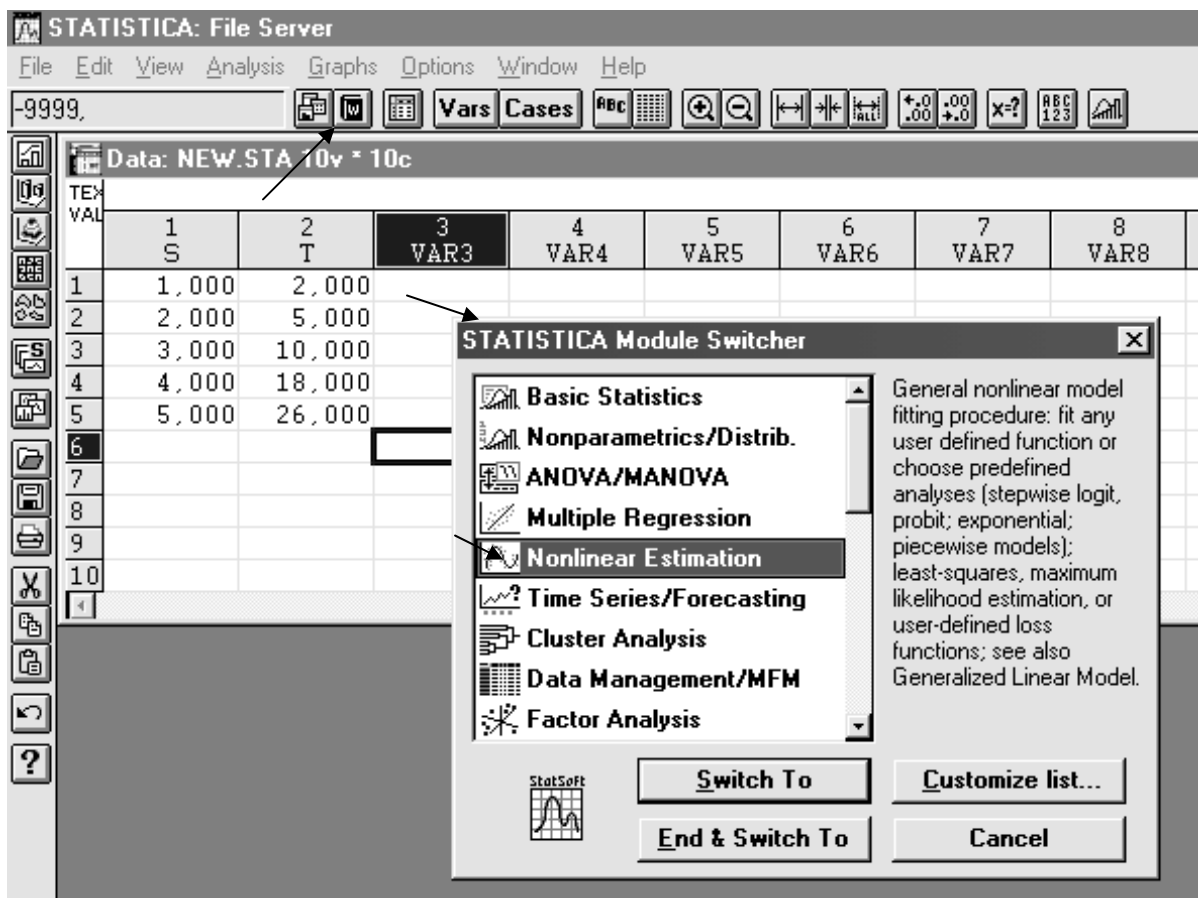


Рис. 3.13. Выбор модуля обработки данных STATISTICA Module Swicher

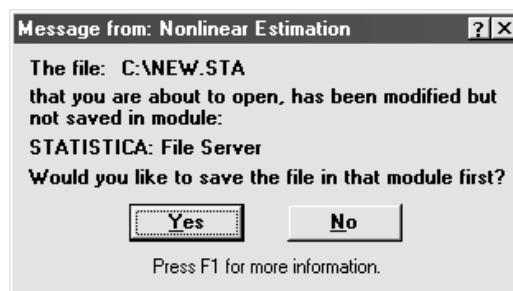


Рис. 3.14. Выбор источника данных

Выбираем вид функции уравнения регрессии: **User-specified regression** –
Определенная пользователем регрессия; **Logistic regression** –

Логистическая регрессия; **Exponential growth regression** – Регрессия экспоненциального роста; **Piecewise linear regression** – Кусочно-линейная регрессия. Принимаем функцию, задаваемую пользователем (рис. 3.15).

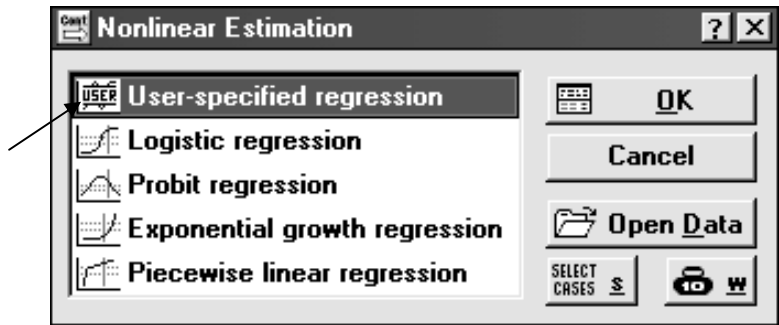


Рис.3.15. Стартовая панель модуля Нелинейное оценивание

Появляется окно (рис.3.16). Кнопка **Select Cases** – Выбрать случаи – задаются условия выбора случаев. Кнопка **10-W** позволяет приписать разные веса переменным. Мы ее не используем. Нажимаем клавишу с зеленой стрелкой **Function to be...**

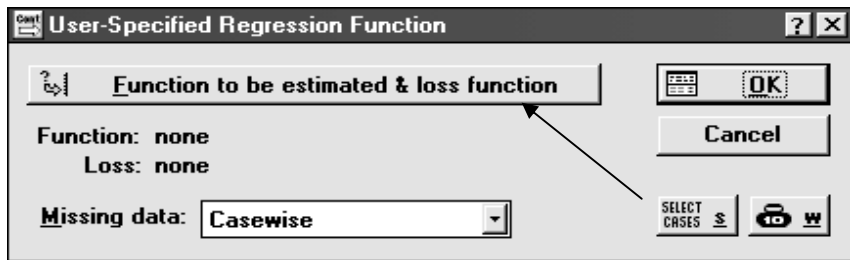


Рис.3.16. Запуск окна для выбора уравнения регрессии

Появляется окно для набора уравнения функции (рис.3.17).

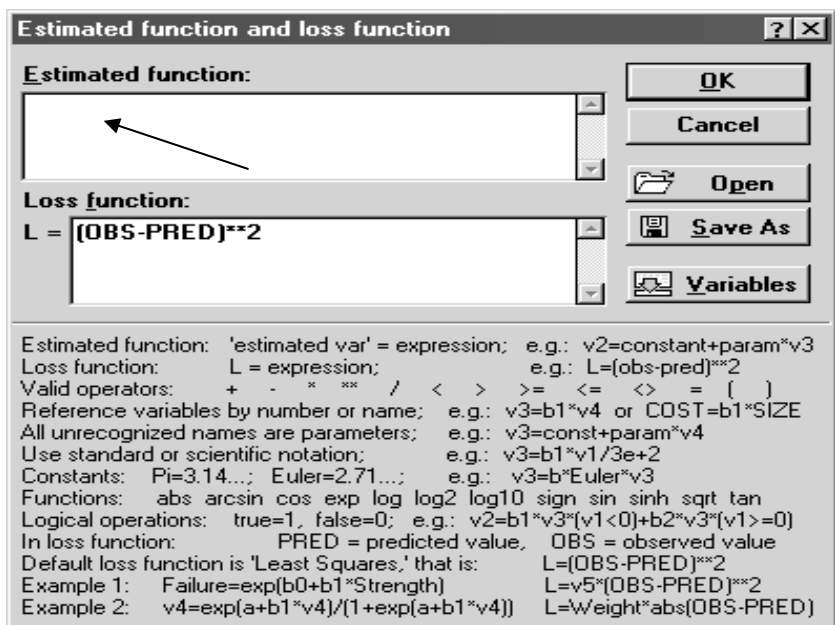


Рис.3.17. Запуск окна для набора уравнения регрессии

Вводим уравнение предполагаемой функции (рис.3.18). При этом можем в качестве примера выбирать функции, расположенные в нижней части окна. Нажимаем **ОК**. Потом еще раз **ОК**.

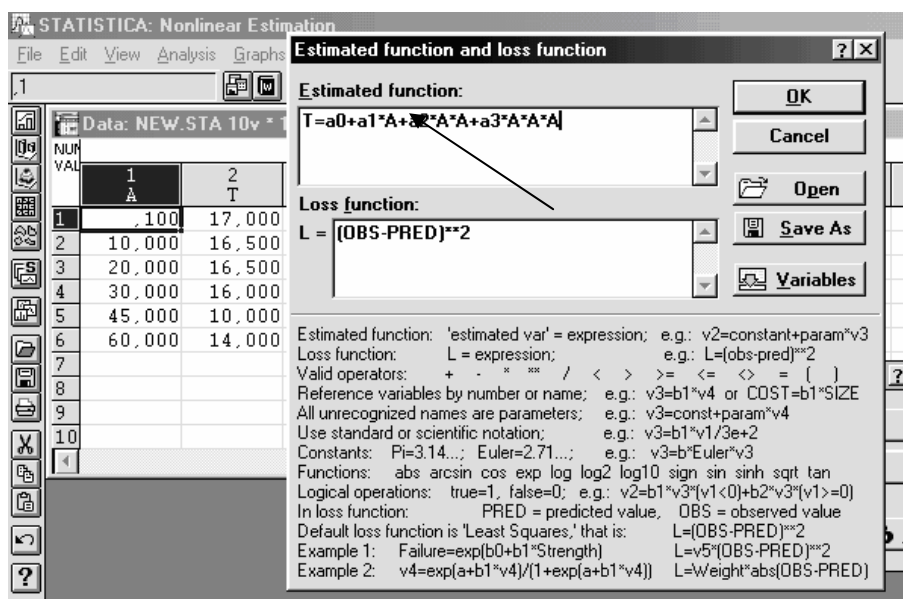


Рис.3.18. Окно для набора уравнения регрессии

Если нет математической ошибки в наборе функции, то появляется окно (рис.3.19).

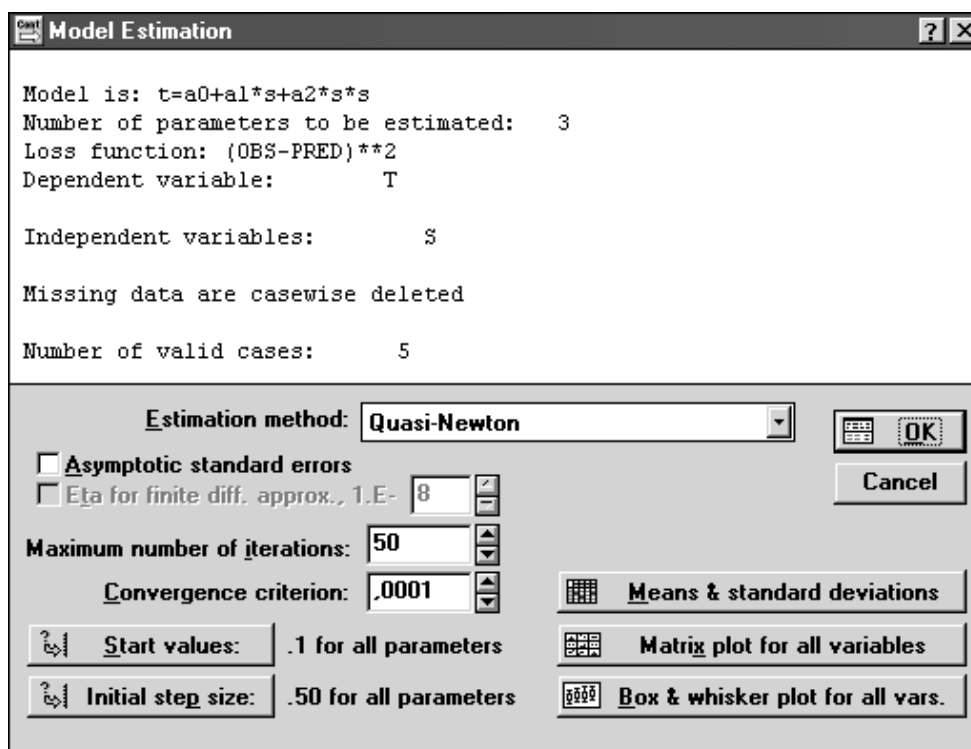


Рис. 3.19. Окно выбора процедуры оценивания и установки начальных значений

По нему можно выбрать при необходимости: максимальное значение итераций – **Maximum number of iterations**, допустимую погрешность –

Asymptotic standard errors, стартовое значение факторов – **Start values** и настройку размера шага – **Initial step size** (левая половина) Как правило, можно обойтись без этого. Для предварительной оценки даются медиана и стандартная ошибка; матрица корреляции факторов; интервалы изменения значений факторов (в правом нижнем углу три кнопки). Нажимаем **ОК**.

После итерации подбора функций (рис.3.20) должна промелькнуть красная лента и появится надпись **Parameter estimation process converged** – Процесс оценки параметров сошелся. Если нет, может быть не подходит уравнение функции. Первая колонка – номера итераций, далее – значения функции потерь, а далее оценки коэффициентов. Увеличение количества итераций при моделировании – нежелательный процесс и симптом низкого качества модели.

Iteration	Loss	Parameters			
* 5	,628691	,377951	,546398	,925696	
* 6	,628584	,393117	,534156	,927653	
* 7	,628584	,393117	,534156	,927653	
* 8	,628571	,400002	,528571	,928571	
* 9	,628571	,400000	,528571	,928571	
* 10	,628571	,400000	,528571	,928571	
* 11	,628571	,400000	,528571	,928571	

Parameter estimation process converged

Рис. 3.20. Окно итераций подбора коэффициентов функций

Вынуждены повторно нажать **ОК**.

Появляются результаты расчета (рис. 3.21):

Модель: $t = a_0 + a_1 * s + a_2 * s * s$

Зависимый фактор: **T**

Независимых факторов: **1**

Метод: **наименьших квадратов**

Финальный остаток: **0,628571429**

Доля объясненной дисперсии (мера множествен. определенности): **0,998366498**

Множественный коэффициент корреляции: **R=0,999182915,**

а также кнопки: Левый ряд сверху – **Parameter estimates** – оценка параметров.

Ранее указанные результаты расчета представлены в виде табл. 3.8. Наличие только численных значений коэффициентов (рис. 3.22 в центре) при отсутствии значений коэффициентов Стьюдента, уровней значимости факторов говорит о том, что данная модель (а скорее матрица для данной модели) не совсем корректна. (Однако иногда применяют и данную модель, используя показатели Быстрых основных статистик). Поэтому придется уточнять исходную функцию. Для этого следует нажать кнопку **Cancel** и изменить исходную модель.

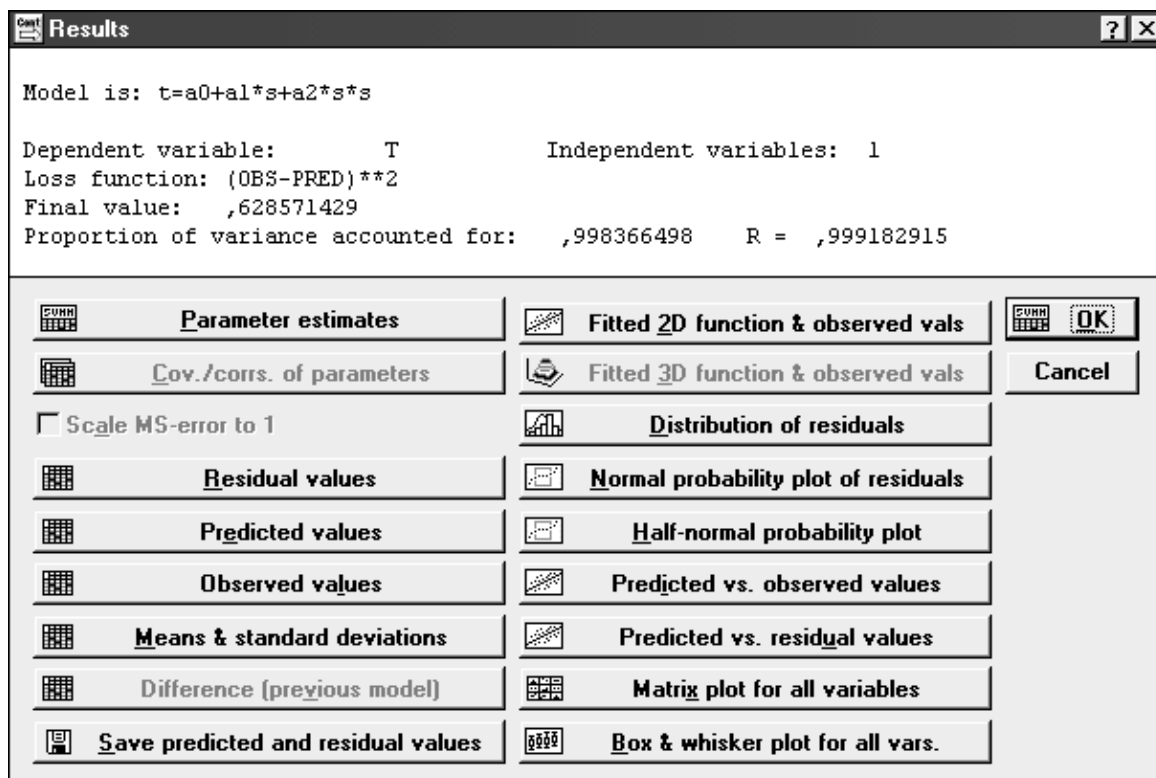


Рис. 3.21. Окно результатов оценивания параметров модели

Т а б л и ц а 3 . 8

Результаты оценивания

Показатели	N	Const A0	Const A1
Estimate / численное значение коэффициента	0,004761	-7,91822	2,074394
Std.Err / стандартная ошибка	0,026792	22,12701	2,77872
t(1) / значение коэф. Стьюдента для 1-й степ.свободы	0,177694	-0,35785	0,746529
p-level / уровень значимости ошибки фактора (желательно не более чем: 1-0,95=0,05)	0,888045	0,781223	0,591701

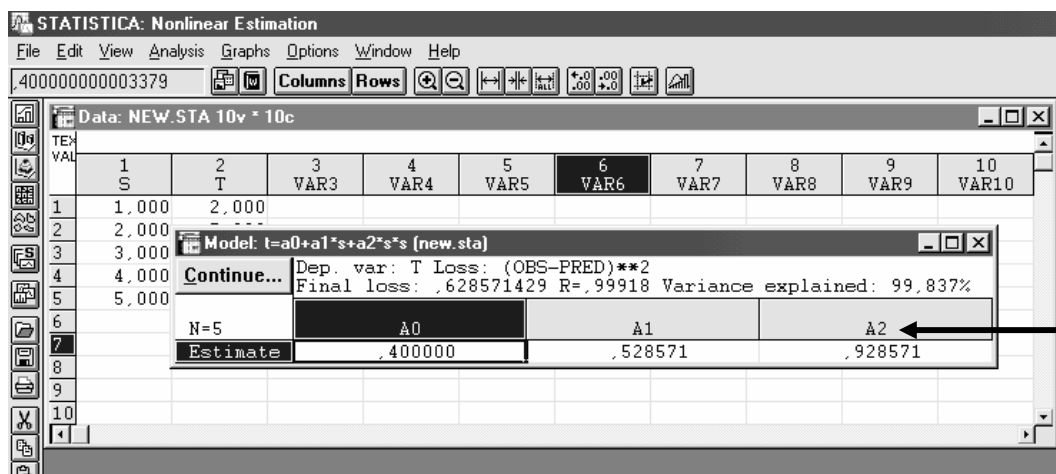


Рис.3.22. Окно результатов оценивания параметров модели

Кнопки: **Residual values** – Результаты расчета значений: разность между опытным и расчетным значением; **Predicted values** – расчетное зна-

чение; **Observed values** – опытное (исходное) значение. Позволяют оценить сходимость опытных значений и расчетных, полученных по модели. По ним в **Excel** можно найти **F-тест** – он возвращает F-распределение вероятности. Используют, чтобы определить, имеют ли обе выборки данных различные степени плотности, т.е. сравнивают их степени разброса. Чем ближе значение F-теста к 1, тем лучше.

Кнопка **Means & standard deviations** позволяет найти у фактора: **mean** – среднее; **st.dev.** – стандартное отклонение; **minimum**; **maximum**.

Правый ряд кнопок (сверху)

Две верхних – графики (двумерные или трехмерные в зависимости от функции и исходных факторов) с указанием уравнения функции. При числе независимых факторов более двух графики не строятся. В таком случае придется воспользоваться возможностями **Mathcad**. Для нашего варианта см. рис.3.23. С просмотра данных графиков начинается оценивание моделей.

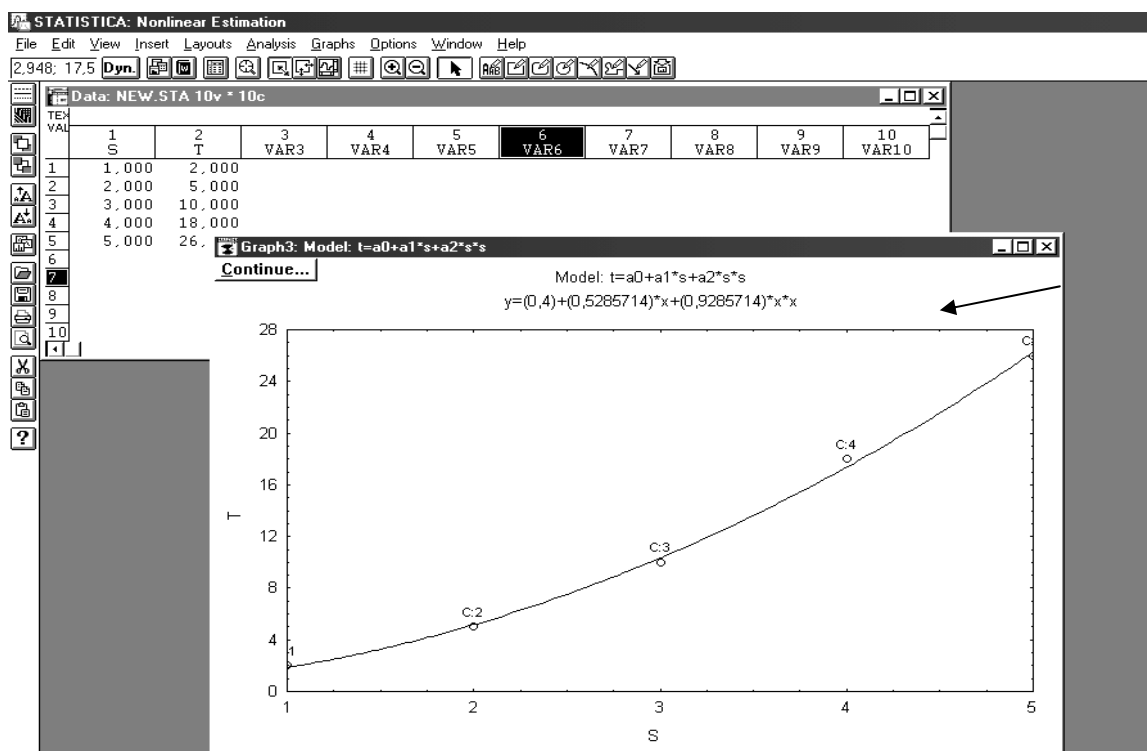


Рис.3.23. Окно с графическими результатами модели

Порядок редактирования графиков приведен в специальной литературе.

Гистограмма остатков **Distribution of residuals** (разности между начальными значениями и расчетными значениями) и их соответствие нормальному закону (красная кривая) показаны на рис. 3.24. Чем меньше

числовой интервал разброса абсолютных значений (у нас от -0,5 до +0,8) и ближе к нормальному закону, тем лучше.

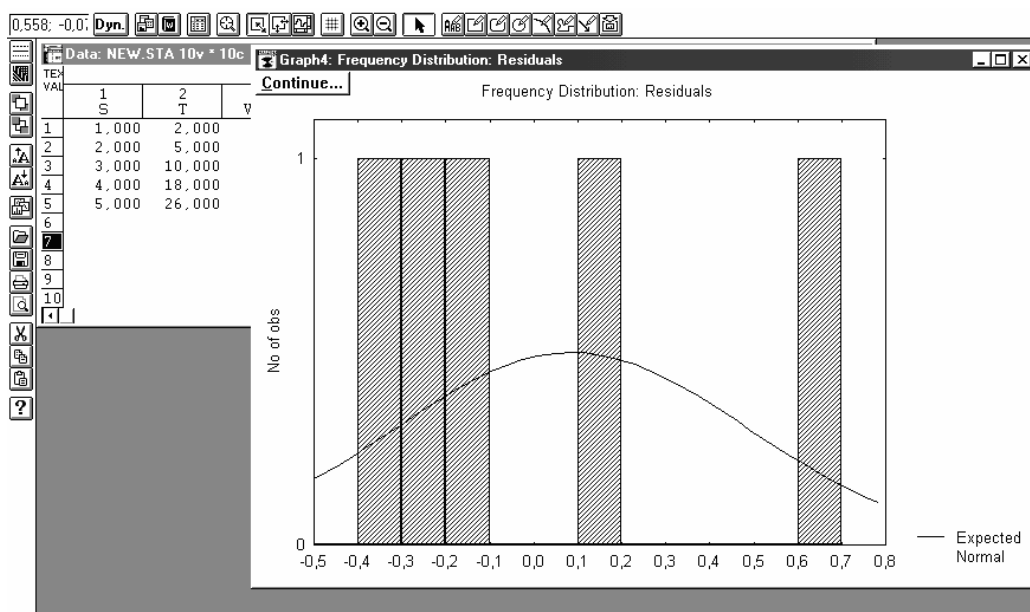


Рис.3.24. Окно с гистограммой остатков модели

Распределение остатков на нормальной бумаге – **Normal probaliute** – показаны на рис.3.25. Красная линия – нормальный закон.

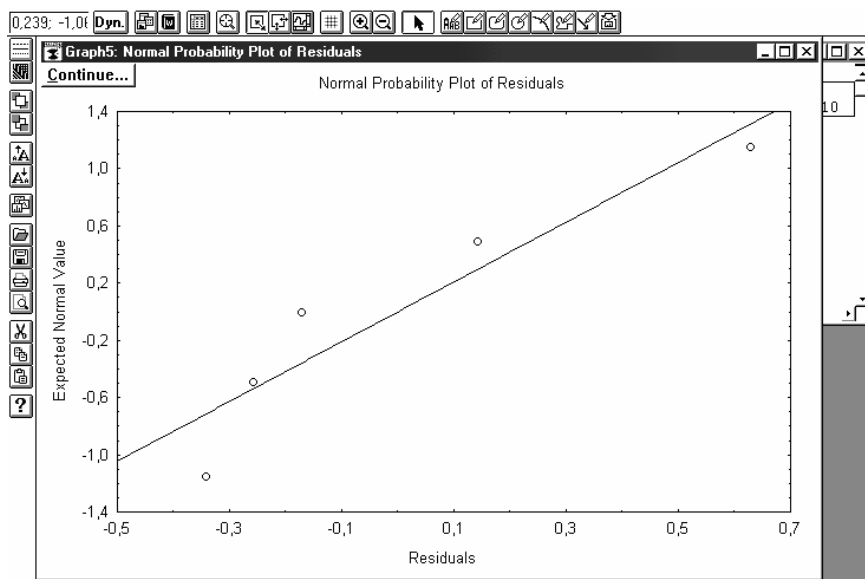


Рис.3.25. Окно с распределением остатков на нормальной бумаге

Остатки – разности наблюдаемых величин и прогнозируемых моделью. При правильно подобранной модели они ведут себя хаотически, напоминая белый шум. Данный график аналогичен гистограмме остатков, однако дополнительно дает возможность оценить влияние факторов: случайный ли разброс значений или если что-то не учитывается. У нас видно, что имеется какая-то зависимость (может быть, следует ввести дополнительный член

в функцию). Чем ближе значения к красной линии – тем лучше (с учетом абсолютных значений неучтенных остатков).

Когда интересуются лишь абсолютной величиной остатков, используют их график на полунормальной вероятностной бумаге – **Half-normal probability plot**.

При расхождении исходных данных с моделью либо изменяют критерий сходимости в методе (метод наименьших квадратов на другой), начальный шаг, начальное значение параметров и т.п. в настройках, либо выбирают другой метод оценивания параметров модели **Model Estimation**, либо переходят к более сложной модели, постепенно усложняя ее.

Кнопку **Корреляционные матрицы Matrics plot of residuals** (аналогично рис. 3.8) используют для предварительного анализа значимости факторов.

Для оценки разброса значений факторов используются графики на рис.3.26. Они позволяют также визуально оценить соответствие распределений плотности значений исходных и расчетных значений. В нашем случае по ширине размаха и расположению интервалов и медианы явно видна неадекватность показателей.

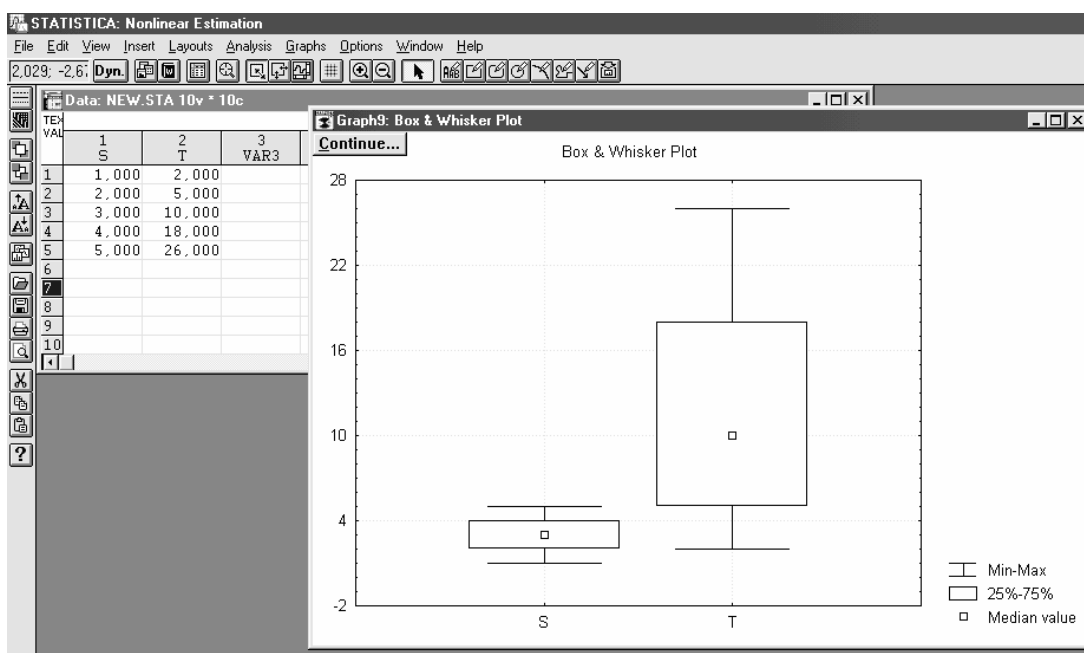


Рис.3.26. Величины крайних значений и медиана

Аналогична работа с другими модулями.

3.3. Обработка модулем «Множественная регрессия» Multiple Regression

Вернемся к окну на рис 3.27 и выберем модуль **Multiple Regression** (строка, расположенная над выделенной). Определим переменные в модели (зависимые и предикты-независимые). Используем опцию Пошаговая с включением. Имеется возможность использовать пошаговый метод как с включением предиктов, так и с их исключением. На каждом шаге добавления предиктов рассчитывают коэффициент множественной корреляции. Его квадрат – коэффициент детерминации – показывает качество построенной модели ОК. В диалоговом окне результатов указываются стандартизованные коэффициенты регрессии.

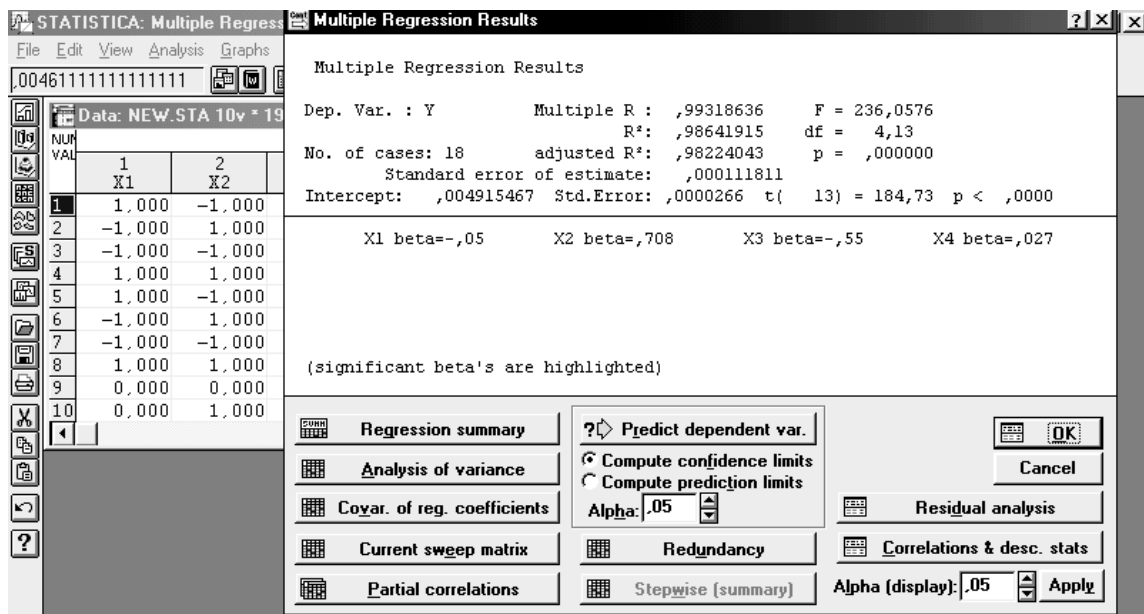


Рис.3.27. Окно результатов оценивания параметров модели

Т а б л и ц а 3 . 9
Результаты оценивания параметров переменных

Regression Summary for Dependent Variable: Y (new.sta)						
Множественный коэффициент корреляции – R= 0,99318636						
Коэффициент детерминации – RI= 0,98641915 – <i>очень хорошее значение</i>						
Скорректированный [1-(1-R2)(n/n-КолКоэфПерр)] – Adjusted RI= 0,98224043						
F(4,13)=236,06 – <i>значимость регрессии, но не адекватность</i>					Уровень значимости ошибки	
Станд.ошибка оценки – Std.Error of estimate: 0,00011					p<0,00000 – <i>крайне незначителен</i>	
	Стандартиз. коэф регрес	Ст.ошибка БЕТА	Не стандарт. коэф.регресс	Ст.ошибка В	Критерий Стьюдента	Ур.знач. ошибки
Своб.чл.	БЕТА	St.Err.ofBETA	B	St. Err.of B	t(13)	p-level
Intercpt			0,004915	2,66E-05	184,7333	1,29E-23
X1	-0,05037	0,033912	-4,70E-05	3,14E-05	-1,48535	0,161293
X2	0,7083	0,033565	0,000655	3,10E-05	21,1022	1,93E-11
X3	-0,5467	0,033481	-0,00048	2,92E-05	-16,33	4,82E-10
X4	0,026688	0,032667	2,39E-05	2,92E-05	0,81698	0,428659

Например, вводим значения независимых переменных X1, X2, X3, X4 и зависимой Y. В результате обработки получаем результат (см. рис.3.24). Значимые коэффициенты выделяются красным цветом. Сравните значения выделенных показателей с другими и сделайте вывод о степени их достоверности и влияния: коэффициентов регрессии, критериев Стьюдента, уровней значимости ошибки. Адекватность модели в данных модулях проверяется величиной и распределением остатков. Величина БЕТА показывает влияние факторов в сопоставимых единицах (как бы в «кодированном» виде).

Левые кнопки позволяют определить статистики (сверху вниз): Итоговая таблица регрессии (табл.3.9); Дисперсионный анализ (табл.3.10); Ковариации коэффициентов (табл.3.11); Текущая матрица выметания (табл.3.12); Частные корреляции (табл.3.13) более 0,8 свидетельствуют о «дублировании» параметров и должны быть исключены. Низкие значения ковариации между коэффициентами B говорят об отсутствии дублирования показателей (корреляции между ними).

Т а б л и ц а 3 . 1 0

Анализ дисперсии зависимой переменной

Analysis of Variance; DV: Y (new.sta)					
	Сумма квадратов остатков	Число степеней свободы	Среднее квадр.		Ур. знач. ошибки
	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	1,18E-05	4	2,95E-06	236,0576	5,42E-12
Residual	1,63E-07	13	1,25E-08		
Total	1,2E-05				

Т а б л и ц а 3 . 1 1

Ковариация коэффициентов регрессии B

Covariances of Regression Coefficients B; DV: (new.sta)				
	X1	X2	X3	X4
X1	9,83E-10	1,78E-10	-1,5E-10	-1,3E-10
X2	1,78E-10	9,63E-10	1,49E-10	-2,3E-11
X3	-1,5E-10	1,49E-10	8,5E-10	2,69E-11
X4	-1,3E-10	-2,3E-11	2,69E-11	8,55E-10

Т а б л и ц а 3 . 1 2

Текущий статус размаха переменных матрицы

Current Status of Sweep Matrix; DV: Y (new.sta)					
	X1	X2	X3	X4	Y
X1	-1,10083	-0,19892	0,183163	0,153536	-0,05037
X2	-0,19892	-1,07842	-0,17734	0,026221	0,708296
X3	0,183163	-0,17734	-1,07301	-0,03309	-0,54672
X4	0,153536	0,026221	-0,03309	-1,02147	0,026688
Y	-0,05037	0,708296	-0,54672	0,026688	0,013581

Т а б л и ц а 3 . 1 3

Частные корреляции

Variables currently in the Equation; DV: Y (new.sta)							
	Частная корр.	Общая корр.	Толерантность	Коэф. детерм.	Стьюдент	Ур.знач. ош.	
	Beta in	Partial Cor.	Semipart Cor.	Tolerance	R-square	t(13)	p-level
X1	-0,05037	-0,38091	-0,04801	0,908408	0,091592	-1,48535	0,161293
X2	0,708296	0,985715	0,682056	0,927281	0,072719	21,10224	1,93E-11
X3	-0,54672	-0,97648	-0,5278	0,93196	0,06804	-16,3296	4,82E-10
X4	0,026688	0,220987	0,026406	0,978982	0,021018	0,81698	0,428659

Максимальная корреляция с откликом у второго и третьего фактора, т.е. именно они обеспечивают его значение. Высокая толерантность отдельных факторов (как и низкое значение их R^2) говорит о недостаточном их личном вкладе в результат (*возможно толерантность и R^2 перепутаны местами!*).

По центру вверху кнопка – **Предсказать зависимую переменную**. Ниже ее кнопка **Redundansy** – избыточность – даст табл. 3.14.

Т а б л и ц а 3 . 1 4

Показатели независимых переменных

Redundancy of Independent Variables; DV: Y (new.sta)				
R-square column contains R-square of respective variable with all other independent variables				
	Toleran.	R-square	Partial Cor.	Semipart Cor.
X1	0,908408	0,091592	-0,38091	-0,04801
X2	0,927281	0,072719	0,985715	0,682056
X3	0,93196	0,06804	-0,97648	-0,5278
X4	0,978982	0,021018	0,220987	0,026406

Левая нижняя кнопка **Корреляции и описательные статистики – Ковариации** даст табл. 3.15. Кнопка над ней – **Анализ остатков** – откроет окно на рис.3.28.

Т а б л и ц а 3 . 1 5

Ковариация переменных

Covariances (new.sta)					
	X1	X2	X3	X4	Y
X1	0,823529	-0,17647	0,176471	0,117647	-0,00024
X2	-0,17647	0,823529	-0,17647	1,54E-18	0,000632
X3	0,176471	-0,17647	0,928105	-0,00654	-0,00057
X4	0,117647	1,54E-18	-0,00654	0,879085	1,86E-05
Y	-0,00024	0,000632	-0,00057	1,86E-05	7,04E-07

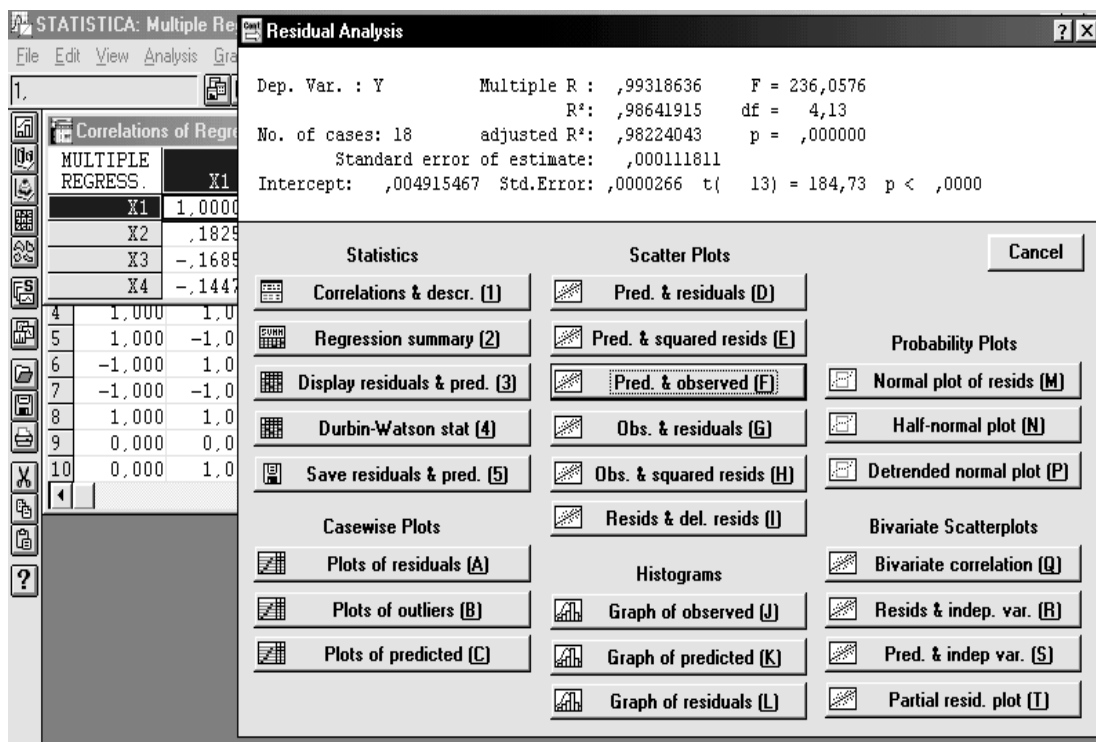


Рис.3.28. Окно результатов оценивания остатков модели

В левой половине (сверху вниз) кнопки: **Описательные статистики; Итоги регрессии; Остатки и предсказания; Статистики Дарбина-Уотсона** (табл.3.16); **Сохранять остатки и предсказания; Построенные графики** (табл. 3.17) – **Графики остатков, Графики выбросов, Графики предсказанных значений** (расчетные по модели).

Таблица 3.16

Статистики Дарбина-Уотсона

Durbin-Watson d (new.sta) and serial correlation of residuals		
	Durbin-Watson d	Serial Corr.
Estimate	1,805276	0,087239

Таблица 3.17

Графики и значения опытных, расчетных показателей

Plots of residuals (A) – Raw Residual	Опытные Observed	Расчетные Predictd	Разница Residual
1	2	3	4
1 . . . *	0,004611	0,004666	-5,5E-05
2 * . . .	0,006139	0,006069	6,97E-05
3 * . . .	0,003831	0,003807	2,34E-05
4 * . . .	0,005083	0,005024	5,96E-05
5 . . . *	0,004681	0,004714	-3,4E-05
6 * . . .	0,006139	0,006117	2,2E-05
7 * . . .	0,004014	0,003855	0,000159
8 * . . .	0,005133	0,005071	6,18E-05
9 . . . *	0,004875	0,004915	-4E-05

Окончание табл. 3.17

1	2	3	4
10 *	0,006139	0,00607	6,85E-05
11 . . *	0,005289	0,005414	-0,00013
12 . . *	0,004217	0,004417	-0,0002
13 * . . .	0,006139	0,006093	4,59E-05
14 . . *	0,004317	0,00451	-0,00019
15 * . . .	0,005022	0,00507	-4,8E-05
16 * . .	0,00385	0,003738	0,000112
17 * . . .	0,004294	0,004238	5,65E-05
18 * . . .	0,003778	0,003761	1,72E-05
Minimum . . *	0,003778	0,003738	-0,0002
Maximum * . .	0,006139	0,006117	0,000159
Mean . . . * . . .	0,004864	0,004864	9,05E-11
Median * . . .	0,004778	0,004815	2,27E-05

По центру кнопки: **Предсказанные остатки; Предсказанные и квадратичные остатки; Предсказанные и наблюдаемые (рис.3.29); Наблюдаемые и остатки; Наблюдаемые и квадрат остатков; Остатки и удаленные остатки. Гистограммы: График наблюдаемых; График предсказанных; График остатков.**

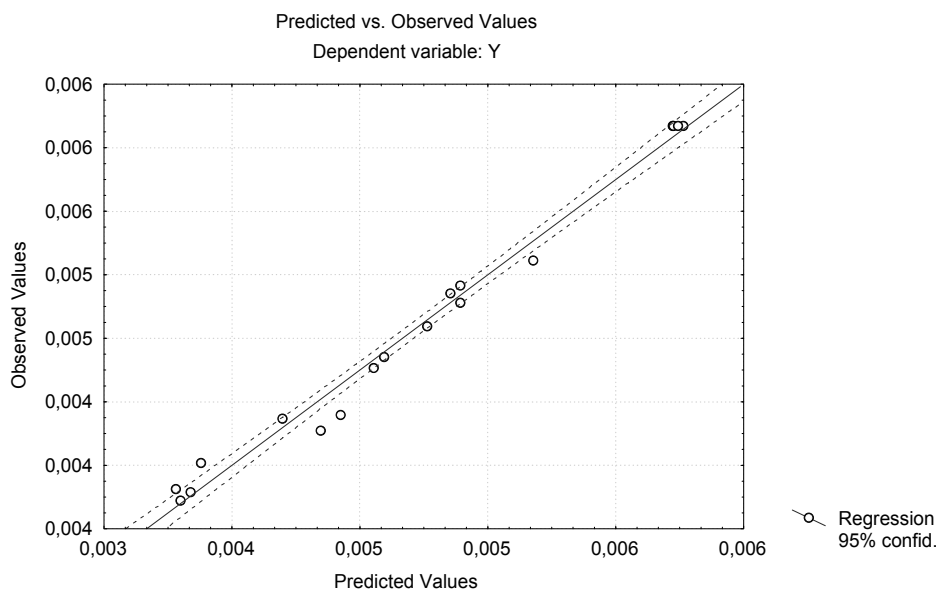


Рис.3.29. Соответствие расчетных и исходных значений 95 %-му доверительному интервалу

Высокое значение статистики Дарбина-Уотсона говорит о независимости остатков, поэтому адекватность модели принимается (не отвергается) на уровне $\alpha=p$.

По результатам опытных и расчетных значений (табл.3.17), используя программу Excel, найдено значение **F-тест=0,97783**, что говорит об одинаковой степени плотности (разброса) показателей, а с учетом незначительной величины значений Разности – о достоверности модели. Кроме того, значение критерия Фишера, определенное программой Mathcad (пример), говорит об адекватности модели: $F=1,258 < F_{кр}=2,272$.

Пример

Определение существенности различий выборок (листинг программы Mathcad)

В результате обработки опытных данных программой *Statistica* получены две выборки результатов: первая – расчетные значения по математической модели, вторая – результаты опытов.

Количество значений в выборках (число строк плана): $N := 18$ $i := 1..N$

Результаты опыта:

$y_1 := 0.004611$ $y_2 := 0.005083$ $y_3 := 0.004014$ $y_4 := 0.006139$ $y_5 := 0.00385$ $y_6 := 0.003778$
 $y_7 := 0.006139$ $y_8 := 0.004681$ $y_9 := 0.005133$ $y_{10} := 0.004317$ $y_{11} := 0.00429$ $y_{12} := 0.004238$
 $y_{13} := 0.003831$ $y_{14} := 0.006139$ $y_{15} := 0.004875$ $y_{16} := 0.005022$ $y_{17} := 0.00377$ $y_{18} := 0.00376$

Результаты расчетов:

$x_1 := 0.004666$ $x_2 := 0.005024$ $x_3 := 0.003855$ $x_4 := 0.00607$ $x_5 := 0.006093$ $x_6 := 0.003738$
 $x_7 := 0.006069$ $x_8 := 0.004714$ $x_9 := 0.005071$ $x_{10} := 0.005414$ $x_{11} := 0.00451$ $x_{12} := 0.004238$
 $x_{13} := 0.003807$ $x_{14} := 0.006117$ $x_{15} := 0.004915$ $x_{16} := 0.004417$ $x_{17} := 0.00507$ $x_{18} := 0.003761$

Среднее значение результата:

$$Y_{\text{ср}} := \frac{\sum_i y_i}{N} \quad X_{\text{ср}} := \frac{\sum_i x_i}{N} \quad Y_{\text{ср}} = 0.00465 \quad X_{\text{ср}} = 0.00486$$

Дисперсия каждой выборки значений:

$$S2_y := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (y_i - Y_{\text{ср}})^2 \quad S2_x := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (x_i - X_{\text{ср}})^2$$

.....

$$S2_y = 6.881 \times 10^{-7} \quad S2_x = 6.942 \times 10^{-7}$$

Уровень критерия проверки гипотезы (значимости ошибки): $\alpha := 0.05$

F-критерий Фишера: $S_0 := S2_x$ $S_1 := S2_y$ $F := \frac{\max(S)}{\min(S)}$ $F = 1.258$

Число степеней свободы остаточной дисперсии: $\nu := N - 1$

Критическое значение F-критерия Фишера: $F_{\text{кр}} := qF(1 - \alpha, \nu, \nu)$
 $F_{\text{кр}} = 2.272$ $|F| < F_{\text{кр}} = 1$

Поскольку условие оказалось не ложным (равным 1, а не 0), то гипотезу следует принять (не отвергнуть), то есть мы должны сделать вывод о равнозначности или равномерности дисперсий (различия представленных выборок незначимы), следовательно, полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Квантиль распределения Стьюдента (критическое значение):

$$T := qt\left(1 - \frac{\alpha}{2}, 2N - 2\right) \quad T = 2.032$$

Проверка на существенность различия между измеряемыми значениями объектов:

$$T1 := T \cdot \sqrt{S2_y + S2_x} \quad T1 = 2.389 \times 10^{-3}$$

$$T0 := X_{\text{ср}} - Y_{\text{ср}} \quad T0 = 2.148 \times 10^{-4} \quad |X_{\text{ср}} - Y_{\text{ср}}| > T \cdot \sqrt{S2_y + S2_x} = 0$$

Разница принимается существенной, если выполняется условие: значение равно 1, а не нулю. Так как условие не выполнено, разница между выборками не существенна.

Расчетные значения (см. рис. 3.29) хорошо сходятся с исходными параметрами, что подтверждает достоверность модели. По отдельности каждый фактор (например, X1 по рис. 3.30) не обеспечивает результата, так как велик разброс значений относительно 95 %-го доверительного интервала.

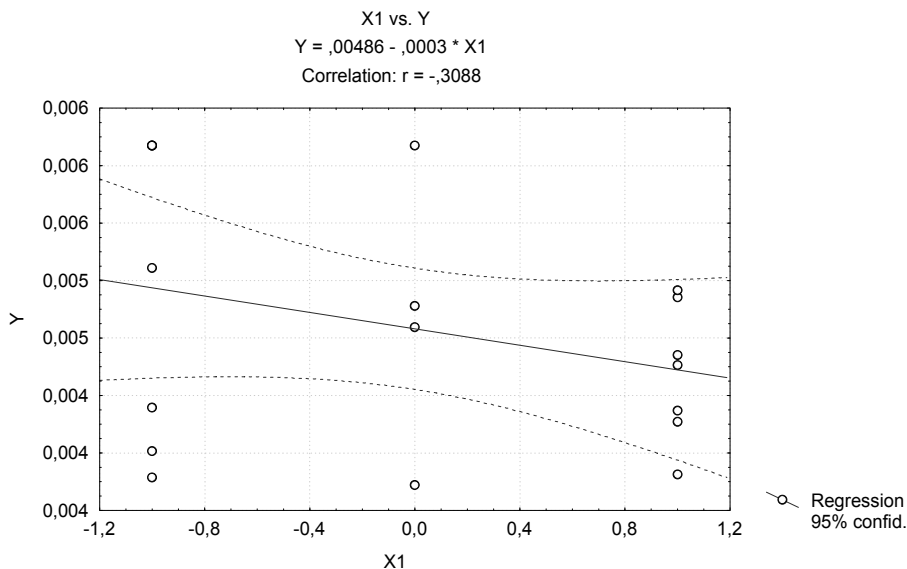


Рис.3.30. Наличие линейной связи между зависимой и частной независимой переменной

Справа кнопки (см. рис. 3.28): **Графики остатков – Нормальный, Полунормальный, Без тренда; Диаграммы рассеяния, включающие переменную – Две переменные, Остатки и переменная, Предсказанные и переменная, Частные остатки.**

Изучая данные графики и полученные значения, выполняем анализ и делаем необходимый вывод.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется ввод данных в программе *STATISTICA*?
2. Как осуществляется выборочная корреляция факторов?
3. Как определяется критерий наименьшей значимой разности?
4. Как осуществляется построение гистограмм?
5. Как выполняется обработка модулем «Множественная регрессия» ?
6. Как определить соответствие расчетных и исходных значений 95 %-му доверительному интервалу?
7. Определение результатов оценивания параметров модели.

4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА»**

На правах рукописи

ТАРАСОВ
Александр Иванович

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук,
доцент Лянденбургский В.В.

Пенза – 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	181
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	185
1.1. Общие сведения о неисправностях и их влияние на состояние системы питания дизельного двигателя.....	185
1.2. Роль диагностирования в повышении эффективности технической эксплуатации автомобильных дизелей.....	189
1.3. Сравнительный анализ разработок в области диагностирования автомобильных дизелей	191
1.5. Анализ методов поиска неисправностей	199
1.5. Классификация контрольно-измерительных приборов	204
1.6. Выводы и задачи исследования	215
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	216
2.1. Описание объекта исследований	216
2.2. Режимы обеспечения работоспособности автомобиля и его топливной системы.....	217
2.3. Целевая функция исследований.....	218
2.4. Вероятностно-логический подход к выявлению неисправностей автомобилей.....	224
2.4.1. Вероятностно-логическая модель как способ диагностирования автомобиля	224
2.4.2. Система коэффициентов вероятностно-логической модели поиска неисправностей автомобилей.....	228
2.5. Выводы по второй главе:	240
Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	241
3.1. Общая методика исследований.....	241
3.2. Обоснование плана и объема исследований.....	242
3.3. Общее назначение и цели выполнения экспериментальных исследований	244
3.4. Характеристика объекта исследований и методика проведения исследований	246
3.5. Анализ статистических данных по отказам элементов дизельной топливной системы при эксплуатации автомобилей КАМАЗ в условиях Пензы и Рязани	247
3.6. Сравнительный анализ результатов исследования поиска неисправностей	253
3.6.1. Определение времени простоя автомобилей.....	253

3.6.2. Анализ удельных затрат на поиск неисправностей автомобилей КАМАЗ	256
3.6.3. Анализ удельных затрат и эффективности применения встроенной системы диагностирования для топливной системы автомобилей КАМАЗ	260
3.7. Выводы по третьей главе	263
Глава 4. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	265
4.1. Структура и описание работы программы по диагностированию технического состояния автомобиля	265
4.2. Макетный образец встроенной системы диагностирования автомобильных дизелей	273
4.3. Оценка экономической эффективности внедрения системы диагностирования автомобильных дизелей	276
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	280
ПРИЛОЖЕНИЯ	293

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Среди основных факторов, определяющих эффективность эксплуатации автомобилей, ведущее место принадлежит системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), ее научной обоснованности и совершенству, в настоящее время определяемой как планово-предупредительная система (ППС) ТО и Р. Огромное значение в развитии системы ТО и Р имеет диагностирование автомобилей.

Особенно актуальным в настоящее время является совершенствование систем диагностирования дизелей. В настоящее время широкое распространение получили системы диагностирования как в виде стационарных приборных комплексов, так и встроенные. Однако применение встроенного диагностирования увеличивает среднюю стоимость автомобилей, использующих компьютерные системы контроля работы двигателя, на 2–5 процентов.

Существующие методы и построенные на их основе приборные комплексы отличаются большой трудоемкостью выполнения диагностирования, высокой ценой и сложностью, поэтому они недоступны автотранспортным предприятиям (АТП) небольшой мощности.

Сложность диагностирования дизельных двигателей, и в особенности топливной аппаратуры, определяет необходимость применения в практике эксплуатации автомобилей большого набора методов и средств диагностирования двигателей. Применение существующих средств встроенного диагностирования автомобильных дизелей экономически нецелесообразно в силу высокой стоимости диагностического оборудования. Для комплексного диагностирования автомобильных дизелей на малых и средних АТП, а также автоколонн, работающих в отрыве от производственных баз, целесообразна разработка эффективной методики поиска неисправностей дизелей, перспективной в отношении массовой реализации, как в средствах внешнего, так и встроенного диагностирования.

В связи с вышеизложенным актуальными являются исследования, связанные с разработкой методики определения технического состояния дизелей грузовых автомобилей и определением на ее основе оптимальной периодичности профилактики элементов дизеля.

Степень разработанности темы исследования. Проведенный анализ влияния характерных неисправностей автомобилей на их эксплуатационные показатели, а также анализ в области диагностирования показал необходимость в разработке эффективного метода поиска неисправностей автомобильных дизелей, что подтверждает актуальность диссертации и потенциальную эффективность ее результатов.

Работы в этой области ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких, как НИИАТе, ГОСНИТИ, МАДИ, СГТУ, ЧГАУ и других организациях. Этим направлением занимались такие ученые, как А.А. Отставнов, Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.А. Корчагин, В.М. Михлин, В.А. Аллилуев, Ю.А. Васильев, А.И. Володин, Л.В. Грехов, В.Т. Данковцев, Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов, А.Г. Кириллов, Е.В. Дмитриевский, И.П. Добролюбов, Н.С. Ждановский, А.С. Денисов, А.С. Гребенников, Н.А. Иващенко, С.В. Камкин, В.Д. Карминский, М.И. Левин, Е.А. Никитин, А.В. Николаенко, А.А. Обозов, Ю.Е. Просвилов, О.Ф. Савченко, А.Н. Соболенко, Б.Н. Файнлейб, Я.А. Борщенко, В.А. Васильев и др.

В результате выполненных работ предложен ряд методов и средств, позволяющих оценить техническое состояние двигателей в процессе эксплуатации и ремонта автомобилей. Однако в трудах этих ученых недостаточно рассматриваются вопросы влияния комбинации методов на техническое состояние дизелей.

Цель исследования. Целью исследования является повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей на основе вероятностно-логической модели поиска неисправностей.

Задачи исследования:

- Поиск путей совершенствования существующих методов и средств диагностирования дизелей.
- Развитие теоретических положений определения параметров вероятностно-логической модели поиска неисправностей двигателей.
- Выбор элементов, оказывающих наибольшее влияние на техническое состояние дизелей.
- Экспериментальное подтверждение влияния встроенной системы диагностирования на показатели эффективности эксплуатации дизелей.
- Разработка алгоритма встроенной системы диагностирования дизелей с использованием вероятностно-логической модели поиска неисправностей.
- Оценка экономической эффективности внедрения разработанной системы диагностирования дизелей.

Научная новизна исследования состоит в развитии теоретико-методических положений, разработке научных и практических методов, математических моделей оценки технического состояния дизелей грузовых автомобилей.

На защиту выносятся:

1. Теоретико-методические подходы и методика определения технического состояния, и встроенная система диагностирования дизелей на основе вероятностно-логической модели поиска неисправностей.
2. Математическая модель вероятностно-логической методики поиска неисправностей двигателей.
3. Результаты исследования эффективности встроенной системы диагностирования на основе предлагаемой методики поиска неисправностей.
4. Алгоритм встроенной системы диагностирования дизелей с использованием разработанной модели поиска неисправностей.
5. Методика, определяющая эффективное использование встроенной системы диагностирования.

Теоретическая значимость заключается в разработке математических моделей и на их основе имитационных моделей, алгоритмов и новых программ для ЭВМ, позволяющих комплексно использовать вероятностно-логическую модель поиска неисправностей, обеспечивающую повышение эффективности эксплуатации автомобилей.

Практическая значимость заключается в разработке вероятностно-логической методики контроля работоспособности и выявления неисправностей, встроенной системы диагностирования дизелей на ее основе, а также структуры и алгоритма выявления неисправностей, внедрение которых в технологический процесс технического обслуживания и ремонта позволит повысить эффективность эксплуатации автомобилей.

Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов. В качестве инструментов исследования были использованы основные положения системного анализа, методы экспертной оценки, методы статистического анализа и логического выявления неисправностей. Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных наук, сходностью полученных теоретических результатов с данными эксперимента и результатами эксплуатации созданного оборудования, а также с результатами исследований других авторов.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной ра-

боты внедрены в производственном объединении автомобильного транспорта ФГУП «УДС № 5 при Спецстрое России» (г. Рязань) и используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ПГУАС при подготовке инженеров автомобильных специальностей.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на международной научно-практической конференции "Перспективные направления развития автотранспортного комплекса" (г. Пенза, 2008, 2009, 2011, 2012 г.), международной научно-практической конференции "Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса" (г. Магадан, 2010 г.), Всероссийской научно-технической конференции "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств" (г. Пенза, 2010, 2012 г.), научных семинарах кафедр "Автомобили и автомобильное хозяйство", "Эксплуатация автомобильного транспорта" (ПГУАС, 2008–2013 гг.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 20 работ, в том числе 7, рекомендованных ВАК для публикации материалов кандидатских диссертаций.

Объем и структура работы. Структура и последовательность изложения результатов диссертационной работы определены целью и задачами исследования. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, содержащего основные результаты и выводы; в работу включены 7 таблиц, 38 рисунков и библиографический список из 136 наименований.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Общие сведения о неисправностях и их влияние на состояние системы питания дизельного двигателя

За последние десятилетия эффективность работы автомобилей, выпускаемых промышленностью, их мощностные, экономические и экологические показатели, надежность и долговечность существенно возросли. Несмотря на это, опыт эксплуатации автомобильного парка показывает, что значительная доля автомобилей эксплуатируется с неисправностями, которые ведут к снижению показателей их работы [9, с. 148].

К техническому состоянию системы питания дизеля предъявляются особые требования [3, 4, 5, 26, 110, 112], гарантирующие безотказную и надежную работу топливной аппаратуры. Вызвано это тем, что плунжерные пары топливных насосов высокого давления и игла с корпусом распылителя форсунки (попарно) обработаны и притерты с высокой точностью и представляют собой прецизионные пары, в которых замена одной из деталей деталью из другой пары не допускается.

Как указывают соискатели на соискание ученой степени кандидата технических наук в своих работах [8, 14, 30, 34, 35], на систему питания дизелей приходится до 10 % всех неисправностей автомобилей, оснащенных дизельными двигателями. Характерной неисправностью для топливных насосов является изнашивание прецизионных деталей и деталей механизма привода плунжера. Также авторы обращают внимание на нарушение герметичности, особенно топливопроводов высокого давления; загрязнение воздушных и топливных фильтров; износ и разрегулировку плунжерных пар насоса высокого давления; потерю герметичности форсунками и снижение давления начала подъема иглы; износ выходных отверстий форсунок, их закоксовывание [11].

Возможные неисправности топливной системы дизеля сведены в таблице 1.1.

Перечисленные неисправности приводят к изменению угла опережения подачи топлива, отклонениям величин давления, неравномерности работы топливного насоса и количеству подаваемого топлива, отклонению цикловой подачи от нормальных значений, повышению неравномерности регулировочных параметров по цилиндрам двигателя, что вызывает повышение дымности отработавших газов и приводит к незначительному повышению расхода топлива и снижению мощности двигателя на 3–5 % [12, с. 89].

Таблица 1.1 – Возможные неисправности при работе двигателя и способы их устранения

Неисправности элементов топливной системы	Проявление Неисправности
В топливную систему попал воздух. Фильтрующие элементы фильтра тонкой очистки топлива потеряли пропускную способность из-за загрязнения. Закоксовались распылители форсунок. Разрегулировался топливный насос. Нет подачи топлива к фильтру тонкой очистки топлива.	Двигатель не запускается или работает с перебоями.
Разрегулировались форсунки. Засорился воздухоочиститель. Неправильно установлен угол начала подачи топлива. Разрегулировался топливный насос. Использование топлива, не соответствующего по качеству рекомендациям завода.	Двигатель дымит. Из выхлопной трубы идет черный дым.
Не обеспечивается полная подача топлива из-за разрегулировки длины тяги управления топливным насосом. Потеряли пропускную способность фильтрующие элементы топливного фильтра. Разрегулировались форсунки (давление впрыска, качество распыла топлива, закоксовались распылители). Неправильно установлен угол начала подачи топлива. Засорился воздухоочиститель. Разрегулировался топливный насос (уменьшилась подача топлива).	Двигатель не развивает мощность.
Слишком ранняя подача топлива (большой угол опережения впрыска).	Двигатель работает «жестко», резкие стуки в верхней части блока цилиндров.
Разрегулировался топливный насос. Ухудшился распыл топлива форсунками.	Двигатель перегревается.

Анализируя признаки неисправностей дизельных двигателей (Рисунок 1.1) приходим к выводу, что в большей степени встречаются неисправности, связанные с топливной системой. Ремонт и обслуживание этих систем очень дороги, исходя из критерия нехватки оборудования и квалифицированных специалистов.

Слишком ранний впрыск значительно увеличивает период задержки воспламенения из-за низкой температуры заряда в цилиндре двигателя. Одновременно процесс сгорания смещается относительно ВМТ таким

образом, что максимальное давление P_z достигается до прихода поршня в ВМТ. Это сопровождается увеличением работы сжатия, уменьшением работы расширения, падением индикаторных показателей и, соответственно, увеличением расхода топлива и дымности отработавших газов [61].

Поздний впрыск, при котором процесс сгорания развивается на такте расширения, приводит к уменьшению полезной работы, увеличению потерь тепла в систему охлаждения и, как следствие, к падению индикаторных показателей и увеличению дымности отработавших газов дизеля [27].

					Признаки неисправностей и их причины
1	2	3	4	5	
					Затрудненный запуск холодного двигателя
					Затрудненный запуск горячего двигателя
					Нестойчивый холостой ход
					Перебои в работе двигателя под нагрузкой
					Падение мощности двигателя
					Повышенный расход топлива
					Повышенная дымность, черный выхлоп
					Повышенная дымность, серый выхлоп
					«Жесткая» работа дизеля
					Двигатель не развивает обороты
					Двигатель идет «вразнос»
					Подсос воздуха в топливную систему
					Неисправен электромагнитный клапан
					Малая пусковая подача, неисправен ТНВД
					Неисправен ТНВД
					Засорены топливopроводы, загустело топливо
					Забит топливный фильтр
					Загрязнен воздушный фильтр
					Забиты трубопроводы «обратки»
					Ранний впрыск топлива
					Поздний впрыск топлива
					Нарушения регулировки подачи
					Неисправна форсунка (форсунки)
					Неисправна система предпускового подогрева
					Нарушены зазоры в приводе клапанов
					Низкая компрессия, износ ЦПГ
					Повреждение одного из цилиндров
					Неисправен турбокомпрессор
					Забит нейтрализатор ОГ

Рисунок 1.1 – Признаки неисправностей дизельных двигателей

Давление начала подъема иглы распылителя форсунки оказывает существенное влияние на распыление топлива, которое улучшается с повышением силы затяжки пружины форсунки. Снижение давления начала подъема иглы распылителя на 12 % против оптимального увеличивает

удельный расход топлива на 2,5 %, а дымность отработавших газов – в 1,5 раза.

С увеличением цикловой подачи топлива продолжительность впрыска по времени увеличивается, и большая часть топлива сгорает на такте расширения, что повышает дымность ОГ и увеличивает расход топлива. Неравномерность подачи топлива по цилиндрам двигателя (δ_n) также оказывает существенное влияние на показатели его работы. Особенно резкое влияние неравномерности подачи топлива начинается при увеличении ее свыше 10 % [22].

Причиной высокой интенсивности отказов распылителей форсунок из-за закоксовывания распылителей является их высокая тепловая напряженность, а также нарушение регулировок топливной аппаратуры. Значительное влияние оказывает на состояние нагнетательных клапанов секций ТНВД регулировка топливной аппаратуры. Отказы топливопроводов высокого давления связаны с повышенной амплитудой давления в них [12, с. 89].

Таким образом, сохранение нормальных показателей работы транспортных дизелей в эксплуатации в значительной степени определяется своевременным и качественным техническим обслуживанием и ремонтом системы топливоподачи, которая требует регулировки чаще, чем остальные системы дизеля [12, с. 56–58].

По мнению ряда современных исследователей (Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский, Л.В. Дронов), особое внимание при эксплуатации дизельных двигателей должно уделяться качеству топлива. Топливо должно отвечать требованиям технических условий, быть чистым и предварительно отстоянным. Должна быть обеспечена герметичность всей системы питания, исключая попадание воздуха в систему через зазоры в соединениях, что может быть причиной перебоев в работе двигателя [33, с. 142].

Одним из важнейших мероприятий по экономии топлива является постоянный контроль технического состояния топливной аппаратуры дизельного двигателя, своевременное выполнение технического обслуживания системы питания. При техническом обслуживании системы питания дизельного двигателя особое внимание уделяют чистоте приборов питания, герметичности соединений топливопроводов и приборов системы питания; проверяют состояние и действие приводов подачи топлива; сливают отстой из фильтров грубой и тонкой очистки топлива; заменяют масло в муфте опережения впрыска топлива и в топливном насосе высокого давления [83].

Вывод по пункту 1.1. Автомобили с дизельным двигателем все чаще эксплуатируются с неисправностями из-за недостаточного внимания к топливной системе питания дизелей. Необходимо корректное диагностирование данной системы для уменьшения объема последующих неисправ-

ностей и отказов системы, что в свою очередь позволит значительно экономить средства, затрачиваемые на восстановление работоспособности системы.

1.2. Роль диагностирования в повышении эффективности технической эксплуатации автомобильных дизелей

Проблему повышения эффективности использования подвижного состава автомобильного транспорта можно решить путем совершенствования управления техническим состоянием автомобилей, используя наиболее полно его индивидуальные возможности в процессе эксплуатации.

Анализ публикаций таких авторов, как С.В. Крючков, А.И. Кудрин, А.М. Лукьянов, С.В. Пахомов [16, 17, 53, 78] показывает, что сущность проблемы заключается в том, что из-за высокой разнородности ресурсов агрегатов и механизмов автомобилей (для системы питания дизелей, например, коэффициент вариации ресурса составляет 0,26...0,78) их индивидуальные свойства при планово-предупредительной системе реализуются частично. В результате данного факта имеют место значительные потери трудовых и материальных ресурсов из-за несвоевременного контроля отказов, преждевременной профилактики и низкого уровня организации производства, а также недостаточной индивидуальной информации о состоянии каждого автомобиля. Так, объем текущего ремонта автомобилей, заключающийся в устранении отказов из-за ненадлежащего обнаружения неисправностей, составляет более 48 % от общего объема трудовых затрат на техническое обслуживание автомобилей. Наиболее действенная стратегия по поддержанию автомобиля в исправном состоянии – техническое обслуживание и текущий ремонт по состоянию показателей диагностирования. При поиске дефектов методы диагностирования позволяют выявить вид и причину дефекта. По диагностическим параметрам все методы делят на три группы [59, с. 197-206]:

- по параметрам рабочих процессов, которые позволяют проверить выходные показатели (давление топлива в линии высокого давления, ход иглы распылителя форсунки и т. д.). Точность данных измерений высока, так как осуществляется прямое измерение контролируемой величины;

- по параметрам сопутствующих процессов точность менее достоверна, но все же позволяет нам косвенно определять параметры рабочих процессов (вибрация, нагрев, шум);

- по структурным параметрам, которые опираются на измерение износов деталей (корпуса ТНВД, прецизионных пар, кулачкового вала и т.д.).

Стоит отметить, что каждый метод предназначен для контроля определенного физического процесса. Поэтому техническое обслуживание и ремонт автомобиля в современных условиях нерациональны без контроль-

но-диагностических работ, доля которых уже превысила 30 % от трудоемкости ТО и Р [37, с. 146]. Анализируя сказанное, понимаем, что большое значение имеет проблема уменьшения трудовых затрат при выполнении диагностирования. Решение этой проблемы будем осуществлять в двух направлениях:

- повышение эффективности внешнего стационарного диагностирования путем улучшения его методов и средств в сочетании с внедрением автоматизированных систем управления производством ТО и Р;

- повышение контроля над пригодностью автомобилей и разработкой средств встроенного диагностирования, позволяющих осуществлять и анализировать непрерывный контроль за техническим состоянием автомобиля при минимальных затратах.

Развитие этих направлений должно осуществляться на единой технологической основе, обеспечивающей наибольшую эффективность их применения.

Следует отметить, что правильно проведенное диагностирование способствует снижению затрат на ТО и Р, позволяет существенно улучшить эффективные показатели автомобиля, такие, как мощность, расход топлива, токсичность отработавших газов.

Экономический эффект применения диагностирования в разработках таких ученых, как И.И. Габитов, А.А. Козеев, А.А. Долгушин, В.И. Парфенов [16, 34, 65, 87] подтверждает опыт ее внедрения. Так, при внедрении диагностирования в процесс поиска неисправностей автомобиля наблюдается снижение затрат на ТР на 9...11 %, сокращение расхода запасных частей на 8...11 % и расхода топлива на 2...4 %.

Таким образом, немаловажные резервы эффективности технической эксплуатации подвижного состава не могут быть реализованы без развития внешнего и встроенного диагностирования, которое является средством персональной оперативной информации о техническом состоянии автомобилей и каждого узла в отдельности, что особенно необходимо для автомобилей, работающих в отрыве от производственных баз.

Вывод по пункту 1.2. Техническое обслуживание и ремонт автомобиля в современных условиях нерациональны без контрольно-диагностических работ. Необходим учет индивидуальных параметров автомобиля с наименьшими затратами по его диагностированию и проведению ремонта. Необходимо уменьшить трудоемкость диагностирования созданием наиболее приемлемой методики технической эксплуатации дизельных двигателей, сочетающего в себе возможность взаимодействия с автоматизированными системами и непрерывностью контроля. Для этого нам нужно проанализировать работы, проведенные по данной проблеме, и найти решение в виде усовершенствованного метода диагностирования.

1.3. Сравнительный анализ разработок в области диагностирования автомобильных дизелей

Увеличивающийся с каждым годом выпуск автомобилей с дизельными двигателями, а также значительная зависимость эффективности их использования от технического состояния двигателя привели к появлению большого количества разработок в области диагностирования дизелей.

Работы в этой области ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких, как ГОСНИТИ, НИИАТе, МАДИ (МГТУ), СГТУ, ЧГАУ и других организациях. Этим направлением занимались такие ученые, как А.А. Отставнов, Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.М. Михлин и др. в работах В.А. Аллилуева, Ю.А. Васильева, А.И. Володина, Л.В. Грехова, В.Т. Данковцева, Е.В. Дмитриевского, И.П. Добролюбова, Н.С. Ждановского, Н.А. Иващенко, С.В. Камкина, В.Д. Карминского, М.И. Левина, Е.А. Никитина, А.В. Николаенко, А.А. Обозова, Ю.Е. Просвирина, О.Ф. Савченко, А.Н. Соболенко, Б.Н. Файнлейба и др.

В результате выполненных работ предложено множество методов и средств, позволяющих оценить техническое состояние двигателей в практике эксплуатации и ремонта автомобилей [86, с. 125].

Рассмотрим пример классификации основных методов диагностирования по таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Классификация методов диагностирования по основным признакам

Классификационные признаки	Методы диагностирования
1	2
Задачи диагностирования	Проверка работоспособности; проверка правильности функционирования; настройка параметров; поиск неисправностей; поиск дефектов
Применение диагностических средств	Органолептические; инструментальные
Характер измерения параметров	Прямой; косвенный
Периодичность диагностирования	Регламентный; заявочный; непрерывный
Условия проведения диагностирования	Полевые, станция технического обслуживания; безмоторные
По степени разборки объекта диагностирования	Разборная; безразборная
Режим работы объекта	При установленном режиме; при неустановленном режиме; при статодинамическом режиме
Диагностические параметры	Параметры рабочего процесса; параметры сопутствующих процессов; структурные параметры
Используемый физический процесс	Виброакустический; магнитной; спектрографический; тепловой; гидравлический; газоаналитический; кинематический и др.

На основании таблицы можно сказать следующее: проверка работоспособности использует методы диагностирования, выявляющие (без указания места и причины) определённую совокупность отказов и повреждений. Вместе с тем обработка информации, анализ параметров и дефектов достаточно сложны, недостаточно стабильны, достоверны и информативны.

Ряд других авторов, таких, как А.М. Харазов, А.Н. Илюхин, Д.М. Вохмин, А.В. Пономарев обращают внимание на общее диагностирование дизеля и предлагают следующую его классификацию: по мощностным и экономическим показателям и по параметрам отработавших газов [86, 41, 14, 72].

В диссертации Бацежева Х.Х. и других [7, 74, 85] правомерно, на наш взгляд, уделено немалое внимание мощностным и экономическим показателям дизеля, которые авторы работ находят тормозным, парциальным и дифференциальными методами, а также бестормозными методами при установившихся и неуставившихся режимах.

Тормозной метод обладает значительной точностью, однако требует дорогостоящих стендов тяговых качеств.

Парциальный и дифференциальный методы дают возможность диагностировать дизельные автомобили на стендах небольшой мощности. Парциальный метод состоит в испытании двигателя по частям, при этом двигатель работает с частью выключенных цилиндров.

При дифференциальном методе диагностирования оценивается отклонение мощности от номинальной по отдельным цилиндрам или минимальной группе цилиндров.

Двигатель проверяется под нагрузкой и за счет выключения цилиндров двигателя до такой степени, при которой для вывода его на номинальный скоростной режим необходимо подключение внешнего источника энергии. Для этого использован стенд в режиме двигателя.

Погрешность парциального и дифференциального методов определения мощностных и экономических показателей работы двигателей близится к погрешности тормозного метода. Вместе с тем эти методы увеличивают объем информации по отдельным цилиндрам, что приводит к увеличению трудоемкости диагностирования [40].

Бестормозные методы определения основных показателей работы дизеля при установившихся режимах работы основаны на использовании в качестве нагрузки механических потерь двигателя в сочетании с выключением из работы части цилиндров. Достижимая погрешность составляет 3...4 % [67].

При диагностировании дизеля бестормозными методом, как утверждают такие видные деятели, как Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский, О.Д. Климуш, А.В. Дитячев, на неуставившихся режимах работы двигатель нагружается до полной цикловой подачи за

счет преодоления сил инерции и механических потерь. Эффективная мощность дизеля определяется по изменению углового ускорения при данном значении угловой скорости. Метод отличается оперативностью, но имеет более высокую погрешность по сравнению с описанными методами [33, 54, 30, 63].

Также важное место занимают методы диагностирования дизелей по параметрам отработавших газов, поскольку они связаны с проблемой снижения вредного воздействия транспорта на окружающую среду. Параметрами для исследования отработавших газов являются состав, дымность и температура. Определение непосредственно состава ОГ создает значительные технические и экономические трудности. Поэтому более широкое распространение получил метод оценки технического состояния дизеля по дымности ОГ, но стоит отметить, что он не обладает высокой точностью и достоверностью. Достаточно точные результаты дает метод диагностирования по температуре ОГ [24].

Из рассмотренного выше мы приходим к выводу, что требуется большая обработка статистической информации; ввиду неуправляемости степенью проявления дефектов некоторые области остаются недостаточно изученными, комбинация отклонений ухудшает достоверность диагностической модели и еще более увеличивает затраты на её создание.

Поэтому мы считаем, что математическое моделирование связано с наименьшими затратами и позволяет наиболее точно и достоверно решить задачу диагностирования.

Далее мы рассмотрим многоцилиндровый дизель как совокупность двух структур, построенных по функциональному и объемному признаку. В первом случае двигатель рассматривается, как состоящий из ряда функциональных систем: система питания, ЦПГ, РМ и др., во втором случае – из отдельных цилиндров. Наличие такого подхода предопределило разделение диагностирования двигателя на диагностирование по функциональной и по объемной схемам.

Стоит отметить, что современные системы диагностирования дизелей в основном построены по функциональной схеме. В этом случае неисправность локализуется последовательным перебором, как по системам двигателя, так и по цилиндрам, что увеличивает трудоемкость диагностирования [5].

Особое значение имеет диагностирование системы питания дизелей в связи с большим количеством отказов и трудовых затрат на их устранение.

Вместе с тем ее техническое состояние во многом определяет мощностные, экономические и экологические показатели дизеля.

Следует отметить, что в последние 10 лет произошли существенные изменения в конструкциях топливной аппаратуры современных дизелей, что во многом было продиктовано более жесткими требованиями экологов

к автомобильным дизелям. Эволюция систем шла в двух основных направлениях: повышение давления впрыска до 100...200 МПа, против 15...50 МПа у прежних систем и внедрение электронного управления впрыска, позволяющее иметь гибкую характеристику впрыска, которая наиболее часто реализуется в двухфазном впрыске [90, с. 13–16].

Поэтому ряд авторов [42, 51, 19] классифицирует выпускаемые средства для диагностирования дизелей по следующим показателям (таблица 1.3).

Вместе с тем анализ парка дизелей в нашей стране показывает, что подавляющее большинство оборудованы системами старого образца, более того, новые грузовые автомобили, выпускаемые в нашей стране, оборудуются механическими многоплунжерными ТНВД и позволяют выполнять нормы токсичности Евро I, II. Такие системы питания выпускает Ярославский завод топливной аппаратуры.

Таблица 1.3 – Классификация выпускаемых средств для диагностирования

Классифицирующие признаки	Средства диагностирования
1	2
Степень автоматизации	Механизированные; автоматизированные; автоматические
Назначение и приспособленность для диагностирования	Устройство и приборы для измерения отдельных параметров или узлов; стенды для испытаний; диагностические системы и мотор-тестеры
Исполнение	Портативные; передвижные; стационарные; бортовые; внедренные в систему управления работой дизеля
Состояние объекта диагностирования	Используемые при: нефункционирующем объекте; функционирующем объекте; тестовых воздействиях на объект; любых состояний объекта
Характеристика информации по объекту	Количественная оценка; качественная оценка; количественная или качественная оценка прогнозированием состояния
Адаптивность	Все операции проводятся с участием оператора (мастера-наладчика), настройка параметров и режимов диагностирования проводятся оператором; самонастраивающиеся
Спектр решаемых задач	Информация о состоянии, прогнозирование и рекомендации; информация о формировании базы данных для автоматической настройки и управления работы ДВС

Дизели для легковых автомобилей выпускают только Барнаульский моторный завод и Заволжский моторный завод (ЗМЗ), которые применяют иностранные системы питания фирмы «Bosh». В основном это системы разделенного типа с многоплунжерным ТНВД. ЗМЗ только планирует выпуск дизелей с системами «Common rail» [78].

Среди стационарных стендов по проверке и регулировке топливной аппаратуры наиболее распространены отечественные модели: КИ-22210, КИ-921 МТ, КИ-15711М-(01,03,05,06) [65, с. 82]. Из импортных стендов сравнительно недорогими являются стенды серии Star венгерского производства и Motorpal NC-133 чешского производства. В техническом отношении лидируют стенды Bosch EPS 575 и Hartridge AVM2-PC – они имеют электронную систему измерения количества подаваемого топлива и отображают информацию на дисплее персонального компьютера. Однако есть у этих стендов серьезный недостаток – их высокая цена [92, с. 107].

Стенды для проверки дизельных форсунок позволяют: контролировать настройку давления начала подъема иглы форсунок; производить испытание работы распылителя, проверять герметичность форсунки и подтекание под седлом иглы распылителя. Из стендов отечественного производства можно отметить стенды М-106, КИ-15706. От зарубежного производителя наиболее доступным по цене является стенд итальянской фирмы Zesa. По конструкции он почти идентичен стенду Bosch, но гораздо дешевле. На заказ стенд Zesa комплектуется удобной камерой для сбора паров топлива с зеркальным отражателем, облегчающим наблюдение за формой факела распыления. Повышение требований к токсичности привело к появлению нового поколения стендов для проверки дизельных форсунок — с микропроцессором и цифровой индикацией давления. Недорогой вариант такого стенда производится чешской фирмой Motorpal, а наиболее совершенным является стенд Testmaster-2 английской фирмы Hartridge. Однако стоимость подобных приборов на порядок выше аналогов, что практически не окупается преимуществом в точности [6].

Процедура контроля на стационарных стендах трудоемка, требует больших затрат времени и подчас не оправдана, так как не всегда необходимо проведение регулировочных работ или замена отдельных элементов. И наоборот, часто требуется вмешаться в работу топливной аппаратуры дизелей с целью регулировки или замены элементов, однако сложность получения информации не позволяет этого сделать [29, с. 13–16].

Для оценки технического состояния и частичной регулировки топливной аппаратуры дизелей непосредственно на автомобиле наибольшее распространение получили дизельные стробоскопы и мотортестеры. Стробоскопы обычно имеют накладной пьезодатчик и определяют напряжение в бортовой сети, частоту вращения коленчатого вала двигателя, момент начала впрыска. Наибольшее распространение получили дизельные стробоскопы итальянских фирм. Основной недостаток этих приборов – низкая чувствительность пьезодатчика, дающего частые сбои при измерении параметров. Более надежны пьезодатчики австрийской фирмы AVL, специализирующейся на производстве диагностического оборудования для

дизельных двигателей. Но стробоскоп этой фирмы DiTime 873 существенно дороже итальянских [33, с. 23–26].

Специализированные дизельные мотортестеры, пожалуй, самые мощные диагностические приборы. Фирмой AVL выпускается один из лучших по своим возможностям дизельный стационарный мотортестер AVL Disystem 845, выполненный на основе персонального компьютера. Помимо оборотов и момента начала впрыска, он позволяет определять относительную компрессию, одновременно наблюдать осциллограммы впрыска по всем цилиндрам, производить замеры мощности и крутящего момента. Использование этого мотортестера существенно сокращает трудозатраты при диагностике двигателя. Недостаток все тот же – очень высокая цена. Лидером среди отечественных мотортестеров для диагностирования дизеля, как по своим возможностям, так и по надежности, является мотортестер М2-2 белорусского производства (г. Минск). Этот прибор позволяет помимо частоты вращения и угла опережения впрыска контролировать еще 9 параметров двигателя, включая мощностные, а также наблюдать осциллограммы впрыска по цилиндрам на встроенном осциллокопе [92].

Для измерения давления здесь используется устанавливаемый в разрыв топливопровода датчик, обладающий высокой точностью и надежностью.

Он универсален и позволяет, в отличие от накладных импортных тензодатчиков, работать с любыми топливопроводами от 4,5 мм (Mercedes) до 10 мм (тяжелая техника). Недостатком этого датчика являются большие габариты и необходимость разъединения топливопровода [56, с. 127].

Диагностирование современных дизелей, многие из которых оснащены электронным управлением ТНВД, требует, естественно, и приборов для проверки электрической и электронной части [9, с. 54]. Тестер-имитатор сигналов датчиков – незаменимый помощник в локализации неисправных датчиков и исполнительных механизмов. Большинство таких приборов формируют значения сопротивлений, постоянного напряжения, частоты и т.п. Выбор приборов данного типа невелик. Большая часть из них – эффективные многоканальные приборы с цифровой индикацией задаваемых параметров, позволяющие моделировать различные режимы работы двигателя. Сканер кодов неисправностей – неременный инструмент диагностирования современного дизеля с электронным управлением ТНВД. Выбор здесь также невелик. Эффективное считывание кодов производит только сканер KTS 300 для систем дизельного впрыска Bosch и сканер Laser 2000 для систем дизельного впрыска разработки фирмы Lucas [28]. Эти приборы с полным комплектом адаптеров и программного обеспечения, естественно, недешевы. Но другого, более простого способа обеспечить качественный информационный обмен с бортовым процессором дизельных машин в настоящее время нет. Анализ разработок в сфере встроенных систем диагностирования дизелей показывает, что такие

системы на автомобильных дизелях почти не применяются, лишь некоторые дорогие магистральные грузовики фирмы «Mercedes bents» оснащаются подобными системами. Главным сдерживающим фактором их применения является сложность и высокая цена [63]. Эти системы позволяют контролировать индикаторные, эффективные показатели дизеля, а также производить мониторинг рабочего процесса в каждом цилиндре двигателя и процесс впрыска топлива. Аналогичными системами диагностирования являются ДМ-2000 и ДМ-1000с, [46] предназначенные для дистанционного централизованного контроля нагрузки работающего дизеля и параметрической диагностики рабочего процесса в цилиндрах дизеля и в системе впрыска топлива. Перспективной разработкой также является комплекс для непрерывного контроля и диагностики двигателя «Ритм-дизель М» [91]. Среди систем встроенного диагностирования дизелей можно отметить разработку фирмы Ауэроника (Норвегия) – НК-100, предназначенную для оценки качества процесса сгорания в цилиндрах, контроля процесса впрыска топлива и работы топливной аппаратуры, обслуживающей дизель. Одно из главных преимуществ комплекса НК100 состоит в возможности наиболее полной диагностики состояния топливной аппаратуры [84]. Следует отметить высокую стоимость описанных выше систем встроенного диагностирования, их цена колеблется от 10000 до 35000 \$, что неприемлемо для использования данных систем на автотранспортных дизелях в условиях старого парка автомобилей и небольших АТП [26]. Сложившееся положение в сфере диагностирования дизелей определило наиболее интересные методы диагностирования топливной аппаратуры. К ним относятся методы диагностирования по амплитудно-фазовым колебаниям давления на линии нагнетания и виброакустическим характеристикам [56, с. 127]. Метод диагностирования по амплитудно-фазовым параметрам давления [32] на линии нагнетания позволяет определить регулировочные характеристики ТНВД и состояние отдельных элементов топливной аппаратуры. Методы диагностирования других систем двигателя достаточно известны и подробно описаны в литературе [83, 65, 12, 89], поэтому их подробное описание представляется нецелесообразным. Отметим лишь, что методы, построенные по функциональной схеме, кроме виброакустического, наряду с преимуществами и недостатками, присущими каждому из них, имеют ряд общих недостатков: необходимость частичной разборки двигателя, большую трудоемкость диагностирования, неуниверсальность. К примеру, при диагностировании топливной аппаратуры по амплитудно-фазовым характеристикам на линии нагнетания, для шестицилиндрового двигателя трудоемкость диагностирования составляет 0,74 чел.-ч [80]. Неуниверсальность методов заключается в том, что большинство из них определяет ограниченное число диагностических параметров в рамках одной или нескольких функциональных систем дизеля. Это вынуждает

применять набор нескольких методов и средств диагностирования. Поэтому большой интерес представляют универсальные методы диагностирования, использующие единые принципы, единый приборный комплекс для оценки технического состояния различных функциональных систем. Одним из таких методов является виброакустический [56, с. 127]. Данный метод универсален, не требует разборки двигателя, но имеет высокую трудоемкость (трудоемкость диагностирования ТАД составляет 0,5 чел.-ч), требует дорогостоящего оборудования и высокой квалификации оператора. Поэтому его можно рекомендовать к применению лишь на больших АТП и автоцентрах. В тоже время были разработаны методы диагностирования ДВС, основанные на объемной схеме, когда неисправность локализуется сначала в рамках цилиндра, а затем и системы двигателя. К таким методам следует отнести методы диагностирования двигателей по гармоническому анализу колебаний давления в органах газообмена и по неравномерности вращения коленчатого вала [36]. Алгоритм диагностирования дизеля методами, построенными по объемной схеме, более эффективен, он позволяет избежать последовательного, непроизводительного перебора параметров в рамках цилиндров и функциональных систем. При диагностировании дизеля по гармоническому анализу колебаний давления в органах газообмена оценка технического состояния производится по спектральным характеристикам колебаний давления во впускном и выпускном коллекторах и картере двигателя [26]. Основным недостатком данного метода является необходимость применения стенда тяговых качеств (СТК) для создания диагностических режимов.

Метод диагностирования по неравномерности вращения коленчатого вала, разработанный в Саратовском государственном техническом университете, осуществляется на режимах холостого хода (минимальных оборотах и свободном ускорении, при максимальной подаче топлива), что исключает необходимость применения СТК, а потому является более перспективным для внедрения на предприятиях малой мощности.

Подробно данный метод был разработан для бензиновых двигателей.

Применение его для дизелей проводилось в Московском Техническом Университете (МАДИ) [82].

Однако разработанный метод применительно к автомобильным дизелям обладает рядом существенных недостатков:

- локализация неисправностей по цилиндрам и системам производилась на установившемся режиме работы (минимальные обороты холостого хода), на котором в силу влияния всережимного регулятора частоты вращения коленчатого вала происходит искажение снимаемых параметров;
- на режиме свободного ускорения производилась только оценка технического состояния дизеля в целом;

– сильная зависимость параметров диагностирования от средней частоты вращения коленчатого вала, что значительно усложняет постановку диагноза;

– низкая достоверность постановки диагноза, около 0,7...0,8 [49].

Поэтому представляется целесообразной значительная переработка метода диагностирования по неравномерности вращения коленчатого вала дизеля. При этом именно этот метод в большей степени подходит для использования его в средствах диагностирования, применение которых было бы экономически оправдано даже в небольших АТП, а особенно в автоколоннах, работающих в отрыве от производственной базы, а также встроенных средствах диагностирования автомобильных дизелей.

Вывод по пункту 1.3. С каждым днем увеличивается количество методов и средств диагностики, что предполагает несовершенство существующих работ в данной области. Основной недостаток заключается в проблеме стабилизации, достоверности и информативности при диагностировании автомобиля, проблему стараются решить либо наращиванием технического оснащения диагностирования, либо увеличением трудоемкости и использованием высококвалифицированного персонала, что в свою очередь приводит к увеличению затрат на диагностирование автотранспорта и выгодно лишь крупным АТП. Нам необходим подбор универсального метода диагностирования на малых АТП путем математического моделирования для диагностирования процессов, происходящих при возникновении неисправностей автомобилей с дизельными двигателями. Для создания новой модели диагностирования нужно провести анализ методов поиска неисправностей.

1.5. Анализ методов поиска неисправностей

Современный уровень развития информационных технологий и компьютерной техники определил возможность объединения испытательных устройств разного класса в единый комплекс. Такие системы могут быть оснащены цифровым осциллографом для непосредственного контроля сигналов в электрических цепях, встроенными экспертными системами контроля отклонения параметров от заданных. К средствам испытания, обладающим более широкими и универсальными возможностями, относятся устройства, основанные на методах измерения мощностных и технико-экономических характеристик. К этим характеристикам можно отнести индикаторные диаграммы и внешние скоростные характеристики [56, с. 127].

Индикаторная диаграмма (ИД) – графическое представление совокупности термодинамических процессов, составляющих рабочий цикл двигателя внутреннего сгорания, в координатах «давление-объем», «давление-

температура». Различают теоретическую и действительную индикаторные диаграммы. Теоретическая ИД – математическая модель, полученная по расчетным параметрам рабочего тела в конечных точках процессов. Действительную ИД получают в результате экспериментальных исследований реального двигателя. На основании сравнения теоретической и действительной ИД можно сделать вывод о характере протекания рабочих процессов в цилиндрах двигателя, а следовательно, и вывод о состоянии самого двигателя [93].

Получение действительной ИД связано со снятием двигателя с автомобиля и установкой его в специальный стенд, на котором измеряются основные показатели ДВС. Очевидный недостаток метода – увеличение времени и трудозатрат на проведение испытания. Поэтому такой подход осуществляется в основном на этапах проектирования и доводки двигателя [97].

Также стоит отметить сложность математических моделей ДВС, как и любых теоретических исследований, использующих предварительные допущения.

Внешняя скоростная характеристика (ВСХ) – зависимость основных параметров двигателя (эффективной мощности, мощности потерь, эффективного крутящего момента, расхода топлива и воздуха, угла опережения зажигания) от частоты вращения коленчатого вала при неподвижном положении органа, управляющего подачей топлива, и неизменной нагрузке [41]. При работе автомобиля большинство неисправностей проявляется в виде внешних признаков (симптомов). Часто внешние признаки различных неисправностей носят одинаковый характер. Например, дизель может работать с перебоями и не развивать достаточной мощности в следующих случаях [14]:

- при неудовлетворительной работе форсунок;
- при попадании воды в цилиндры и воздуха в топливо;
- при зависании плунжеров во втулках.

Зная наиболее часто встречающиеся неисправности, а также внешние проявления, обнаруживают возникшую неисправность, не проводя излишних проверок и разборок. Нередко прибегают к методам последовательного исключения. Например, неработающий цилиндр можно обнаружить путём поочерёдного выключения цилиндров (при отключении и включении характер и звук выхлопа не меняются) [67, с. 108].

Чтобы правильно и быстро поставить диагноз при проверке сложного объекта с помощью отдельных средств диагностирования, необходимо располагать большим количеством данных о функциональных связях между возможными неисправностями и их симптомами, а также обладать достаточным опытом [17].

Если по какой-либо составной части известны лишь комбинации симптомов и их связи с соответствующими неисправностями, но неизвестны

вероятности наиболее частого возникновения, характерные для данного симптома, то в этом случае поиск конкретной неисправности ведут, исходя из предположения, что при данном симптоме все связанные с ним неисправности равновероятны [6, с. 17].

Для выявления причин таких неисправностей должна быть разработана целая система измерительных преобразователей, которые фиксировали бы как редко, так и часто встречающиеся неисправности. Теоретически такой метод определения неисправностей осуществим, но практически чрезвычайно сложен и дорог [34].

Применение положений теории вероятности, в частности теории информации, позволяет значительно упростить процесс постановки диагноза.

Сущность вероятностного подхода к определению характера неисправности заключается в следующем. На основе статистических данных о закономерностях изменения параметров состояния в зависимости от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями для каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и вероятность появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома [37].

Например, наиболее часто встречающаяся причина перебоев при работе дизелей – неудовлетворительное состояние форсунок. Следовательно, поиск неисправности в этом случае следует начинать с проверки рабочих форсунок.

В целях ещё большего снижения затрат времени и средств на поиски неисправности при разработке программ-поисков следует принимать во внимание не только вероятность возникновения неисправности, но и время, затрачиваемое на выявление каждой из них при диагностировании. Поиск неисправностей по таким критериям получил название метода «время-вероятность» [65].

В этом случае последовательность проверки устанавливают, исходя из отношения времени t , необходимого на выявление неисправности, к вероятности P появления этой неисправности.

Поиск неисправности начинают с составных частей, для которых указанное отношение получается минимальным. Например, перегрев двигателя, сопровождаемый кипением воды в радиаторе, возможен в следующих случаях:

- при срезе шпонки крыльчатки водяного насоса;
- при чрезмерном загрязнении сердцевины радиатора;
- при ослаблении ремня вентилятора.

Наиболее часто встречается ослабление ремня вентилятора, а время, требуемое на проверку его натяжения, является минимальным. Отсюда следует, что поиск причины указанной неисправности нужно начинать с проверки натяжения ремня вентилятора.

При одинаковой вероятности возникновения двух или более неисправностей, характерных для какого-либо симптома, поиск осуществляют, исходя из минимального времени, затрачиваемого на проверку. Если отношение одинаково для поиска неисправностей с одинаковыми внешними признаками, то в этом случае поиск по методу «время-вероятность» неэффективен, т.к. он приводит к неопределённости, т.е. к случайному выбору последовательности поиска возникшей неисправности.

Важный критерий при выборе оптимальной последовательности поиска неисправностей – минимальная величина средней стоимости проверки. При использовании этого критерия стремятся к тому, чтобы максимальная стоимость поиска отказавшего элемента была наименьшей по сравнению с затратами, получаемыми при других методах проверки. Такой метод поиска получил название метода минимакса.

Как верно замечает Нигматуллин Ш.В. [67] в своем диссертационном исследовании на тему «Совершенствование методов и средств диагностирования топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей», важнейшая проблема в области технической диагностики автомобилей – установление симптомов в зависимости от наработки составных частей или автомобиля в целом, а также выявление зависимостей между этими симптомами и соответствующими им параметрами технического состояния машин. Знание этих закономерностей и зависимостей при известных предельных значениях параметров технического состояния позволяет своевременно предупреждать неисправности и отказы.

Если имеются неисправности и отказы, сначала устанавливают возможные причины их возникновения по характерным признакам. Затем, исходя из предполагаемой причины возникновения неисправности, подбирают соответствующие диагностические средства, с помощью которых дают заключение (ставят диагноз) о характере и сущности неисправности.

Метод логического поиска с последовательным исключением не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора, т.е. диагностирование ведётся на основании показаний водителя (Рисунок 1.2). Для снижения влияния человеческого фактора нами предлагается вероятностно-логический метод поиска неисправностей, который обладает преимуществами всех проанализированных методов.

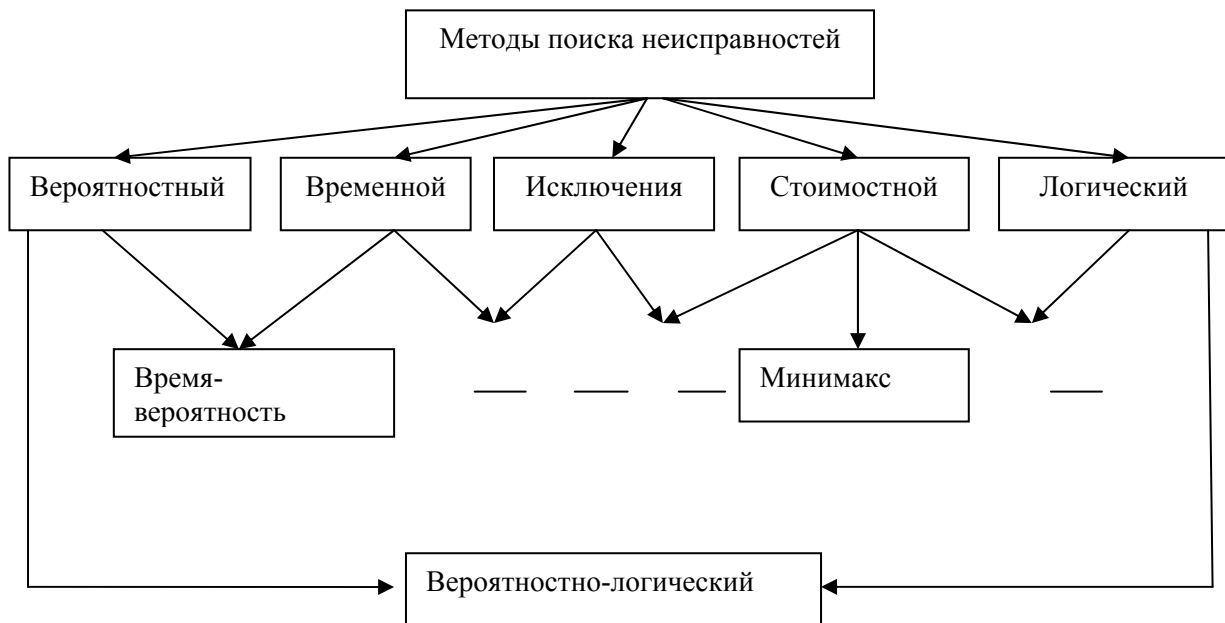


Рисунок 1.2 – Методы поиска неисправностей

Для реализации предлагаемого метода необходимо установить на автомобиль систему встроенного диагностирования для элементов, наиболее часто выходящих из строя. Для дизельного двигателя такой системой является топливная система высокого давления. Это объясняется в основном качеством используемого топлива.

Принципиальная схема топливной системы включает в себя топливный бак, топливопроводы низкого давления, фильтр грубой очистки, топливоподкачивающий насос, фильтры тонкой очистки топлива и топливная система высокого давления [34, с. 34].

К основным элементам топливной системы высокого давления относятся:

- топливный насос высокого давления (ТНВД);
- топливопроводы высокого давления;
- форсунки.

Указанные элементы обеспечивают подачу топлива в цилиндры двигателя; при правильной регулировке возможно подавать топливо в необходимые моменты по времени и продолжительности подачи топлива (а также регулировать количество подаваемого топлива).

Элементы ТНВД включают в себя [1, 4]:

- корпус;
- кулачковый вал;
- прецезионную пару;
- подпружиненный клапан.

Элементы форсунки включают в себя:

- корпус;
- иглу;
- пружину.

Данные устройства обеспечивают работу двигателя на необходимых режимах в процессе работы автомобиля.

С теоретической точки зрения топливная система представляет собой совокупность последовательно соединенных элементов, отказ одного из которых способен привести к неисправности или полному отказу всей системы.

Отказ одного или нескольких элементов приводит к нарушению работы всей системы с заданными характеристиками и параметрами. При этом автомобиль может сохранить способность к движению при нарушенных параметрах топливной экономичности, экологичности, мощности и др., что равносильно отказу всей системы [92].

Из перечисленных элементов наиболее подвержены неисправностям форсунки и ТНВД. Наиболее эффективным на данный момент средством для встроенного диагностирования является накладной датчик, информация от которого обрабатывается и поступает на дисплей прибора. По частоте вращения и ее снижению можно судить о мощности двигателя и общем его состоянии. Обработка информации с датчиков систем смазки, охлаждения и топливной позволит выявить с помощью логического метода предельные состояния двигателя и своевременно провести профилактические работы [4, с. 69].

Выводы по пункту 1.4. Правильность диагноза требует большого количества информации, поэтому методы, используемые в настоящее время, неэффективны. Предложенный нами вероятностно-логический метод основывается на взаимосвязанности неисправностей и позволяет диагностировать систему с помощью минимально необходимого количества датчиков для получения достоверной информации. Данная модель позволяет использовать совокупность недорогих, но эффективных действий для качественного диагностирования при минимальных затратах.

1.5. Классификация контрольно-измерительных приборов

Автомобильные контрольно-измерительные приборы (КИП) по способу отображения информации, которую они предоставляют водителю, разделяют на две группы: указывающие и сигнализирующие (Рисунок 1.3).

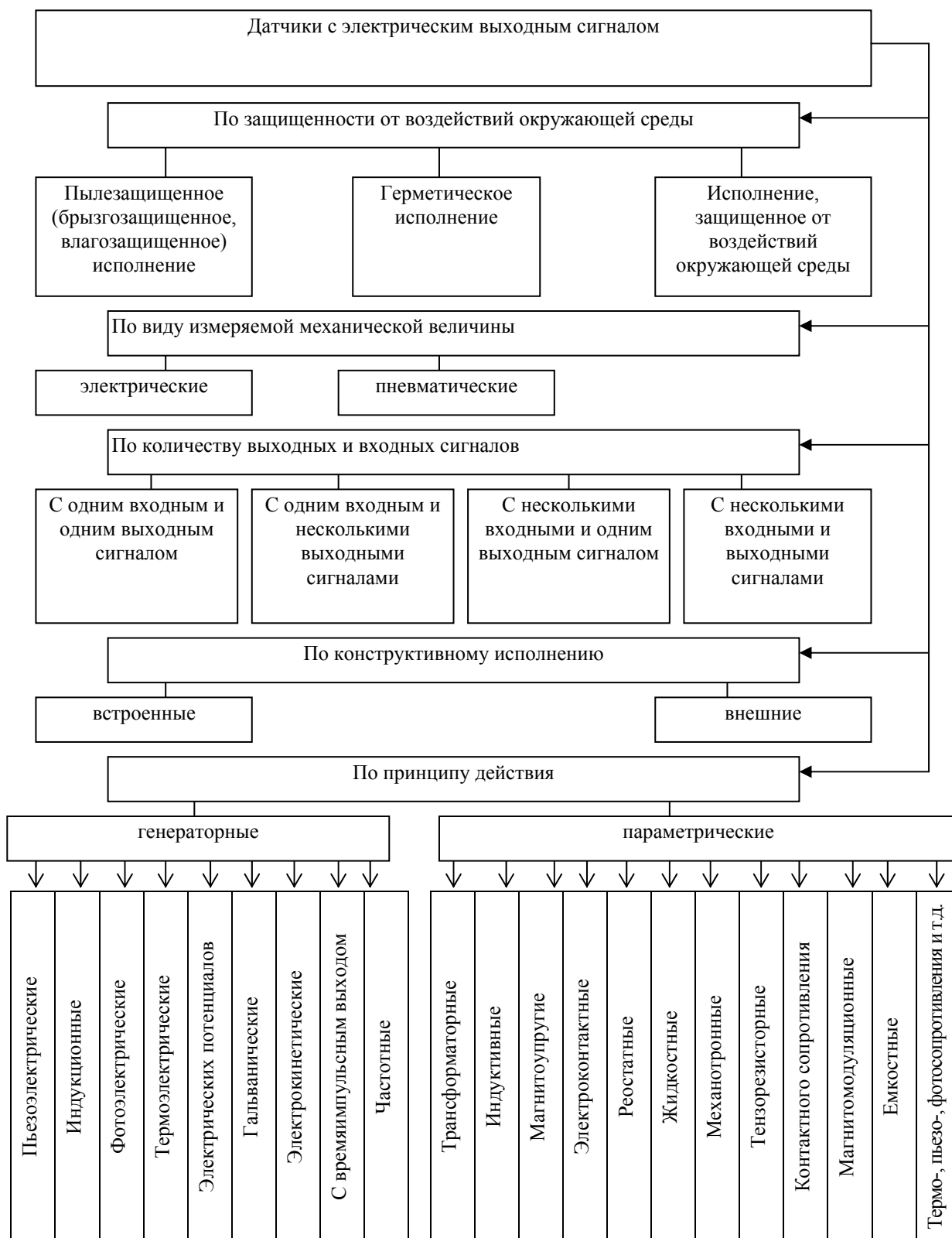


Рисунок 1.3 – Классификация датчиков с электрическим выходным сигналом

Указывающие приборы имеют шкалу и стрелку, по положению которой относительно шкалы определяется значение измеряемой величины. Чтобы оценить измеряемую величину, водитель должен отвлечься на некоторое время от наблюдения за движением автомобиля, посмотреть на шкалу прибора и осознать показание. Давая водителю информацию о контролируемом параметре во всем диапазоне измерения шкалы, указывающий прибор позволяет судить о состоянии контролируемого узла или системы автомобиля [91].

Сигнализирующие приборы (сигнализаторы) реагируют лишь на одно, как правило, аварийное значение измеряемого параметра и информирует об этом световым или звуковым сигналом. Сигнализатор удобен для водителя, поскольку не требует от него постоянного наблюдения и меньше отвлекает от процесса управления автомобилем. Однако информация от сигнализатора поступает к водителю тогда, когда нормальный режим уже нарушен или близок к нарушению [79, с. 33]. В настоящее время на всех типах автомобилей наблюдается тенденция к увеличению количества сигнализирующих приборов.

Автомобильные приборы разделяют на электрические и механические.

Электрические приборы питаются от бортовой электрической сети автомобиля. Механические же приборы дают показания, используя энергию измеряемой среды (например, манометры для измерения давления в системе смазки). Преимуществом электрических приборов, обеспечившим им широкое распространение на автомобилях, является простота передачи сигналов с места контроля к месту наблюдения [28].

По назначению все контрольно-измерительные приборы автомобилей разделяют на следующие группы: измерения температуры (термометры); измерения давления (манометры); измерения уровня топлива; контроля зарядного режима аккумуляторной батареи; измерения скорости автомобиля и пройденного пути (спидометры); измерения частоты вращения (тахометры) [82, с. 57].

Классификация датчиков. Важнейшим функциональным элементом электронных средств технического диагностирования автомобилей являются датчики (первичные преобразователи) электрических и неэлектрических физических величин. Правильный выбор типа датчика непосредственно влияет на качество получаемой диагностической информации, достоверность постановки диагноза, экономические показатели процесса диагностирования [65, с. 307].

Датчик – устройство, воспринимающее измеряемый (контролируемый) параметр и преобразующее его в сигнал, удобный для передачи по линиям связи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдением [65, с. 308].

В целом по виду измеряемой величины выходной сигнал датчика может быть электрический, пневматический, гидравлический, механический и др. В средствах технического диагностирования автомобилей наиболее широко применяют датчики с электрическим выходным сигналом. Преимущество таких датчиков заключается в быстродействии, возможности автоматизации процесса измерения, многофункциональности и гибкости [36].

В зависимости от принципа действия датчики с электрическим выходным сигналом можно разделить на две основные категории: генераторные (активные) и параметрические (пассивные) [48].

В **генераторных датчиках** осуществляется генерация электрической энергии, т.е. преобразование измеряемого параметра в электрический сигнал. К генераторным датчикам относят пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические, гальванические, электрокинетические, частотные датчики, а также датчики электрических потенциалов и датчики с времяимпульсным выходом.

В **параметрических датчиках** измеряемая величина преобразуется в параметр электрической цепи: сопротивление, индуктивность, емкость и т.п.

Такие датчики питаются от внешнего источника электрической энергии. К параметрическим датчикам относят емкостные, электромагнитные и магнитоэлектрические, тензорезисторные, магнитомодуляционные, а также датчики контактного сопротивления и др. (Таблица 1.4). Из перечисленной номенклатуры датчиков в средствах технического диагностирования машин практически применяются потенциометрические, индуктивные, трансформаторные, магнито-упругие и другие датчики [36].

Таблица 1.4 – Области применения датчиков в СТД

Наименование датчиков	Измеряемые величины
1	2
Потенциометрические	Абсолютное и избыточное давления жидких и газообразных сред, перепады давлений, различные перемещения, скорость, ускорение и др.
Тензорезисторные	Давление, усилие, вращающий момент, относительное перемещение, линейное ускорение и др.
Электроконтактные	Временные интервалы и фазовые параметры и др.
Индуктивные	Давление, линейные перемещения и др.
Трансформаторные	Давление и расходы жидких и газообразных веществ, линейные перемещения и др.

Окончание таблицы 1.4

1	2
Магнитоупругие	Усилие, вращающий момент и др.
Индукционные	Расход жидкости и газа, частота вращения и др.
Пьезоэлектрические	Давление, вибрация, расход и уровень жидкости, фиксация моментов включения и выключения и др.
Термосопротивления	Температуры жидких и газообразных сред и корпусных поверхностей и др.
Фотоэлектрические	Частота вращения, вращающий момент, линейные и угловые размеры и др.
Механотронные	Усилие, давление, малые перемещения и др.

По конструктивному исполнению датчики систем и средств технического диагностирования автомобилей подразделяют на **встроенные**, являющиеся неотъемлемой частью диагностируемого автомобиля, и **внешние**, которые устанавливают на автомобиль лишь на период диагностирования.

По количеству входных и выходных сигналов различают датчики с одним входным и одним выходным сигналами; с одним входным и несколькими выходными сигналами; с несколькими входными и одним выходным сигналами; с несколькими входными и несколькими выходными сигналами [47, с. 126].

Требования к датчикам. Условия работы датчиков при диагностировании автомобилей резко отличаются от условий работы вторичной аппаратуры СТД, преобразующей и обрабатывающей выходные сигналы датчиков. Особенно тяжелые условия работы у встроенных датчиков, которые должны иметь более высокие показатели надежности, чем диагностируемые объекты, сохранять свою работоспособность при значительных перепадах температур, вибрациях, повышенной запыленности, ударных нагрузках. Встроенные датчики не должны менять свои выходные характеристики при воздействии на них агрессивных сред, например масел, бензина и других жидкостей [51].

Датчики обыкновенного исполнения не применяют в условиях интенсивных механических и температурных воздействий, в запыленной, влажной и взрывоопасной средах.

Датчики температуропроочного исполнения рассчитывают чаще всего на воздействие температур от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при хранении и транспортировки СТД) до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температуроустойчивого исполнения – от -30 до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (встроенные) и от $+10$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (внешние).

Датчики должны изготавливаться с унифицированными разъемами для подключения их к СТД, а внешние датчики, кроме того, должны иметь

унифицированные устройства, обеспечивающие их быструю и удобную установку и фиксацию на диагностируемом объекте [49].

Датчики с одинаковым принципом действия, предназначенные для измерения однотипных диагностических параметров, должны быть унифицированы, в первую очередь, по выходному сигналу.

Датчик, установленный в исправном или неисправном состоянии на объект диагностирования, не должен отрицательно влиять на его работу. Установка датчика должна производиться с минимальными затратами времени, труда и средств, а процесс диагностирования по выходному сигналу датчика должен быть кратковременным [81, с. 42–45].

Датчики СТД в зависимости от назначения могут работать в статистическом, динамическом и статодинамическом процессах. При *статистическом* процессе к датчикам предъявляют метрологические требования по порогу чувствительности, зоне нечувствительности, стабильности выходной характеристики, вариации выходного сигнала. В целом комплексы метрологических характеристик СТД и их датчиков выбирают из числа характеристик, приведенных в ГОСТ 8.009-84, и указывают вместе с их допускаемыми значениями в нормативно-технической документации на СТД [25].

Порог чувствительности датчика – минимальное изменение измеряемой величины, вызывающее изменение выходного сигнала датчика.

Зона чувствительности датчика – максимальное изменение контролируемой величины, не вызывающее изменение выходного сигнала.

Чувствительность датчика – отношение изменения выходного сигнала к вызывающему его изменению измеряемой величины. Чувствительность регламентируется государственными стандартами.

Стабильность выходной характеристики – свойство датчика, отражающее неизменность во времени его метрологических свойств. Она не должна выходить за пределы основной допустимой погрешности.

Вариация выходного сигнала – средняя разность между значениями выходного сигнала. Вариация выходного сигнала не должна превышать основной допустимой погрешности.

При *динамическом процессе* к датчикам предъявляют дополнительные требования. Они должны обладать повышенной механической погрешностью. Чтобы предотвратить искажение результатов измеряемой величины, необходимо учитывать возможное влияние собственных колебаний упругой механической системы датчика. Частота собственных колебаний датчика должна превышать частоту контролируемого процесса по меньшей мере в 6–10 раз [55].

При *статодинамическом процессе* к датчику предъявляют дополнительно к перечисленным требованиям по однонаправленности действия, перегрузочной способности датчика и его избирательности.

Однонаправленность действия – это сведение к минимуму обратного силового воздействия от датчика на контролируемый процесс.

Перегрузочная способность датчика характеризуется отношением предельного значения измеряемого параметра к его номинальному значению. Перегрузочная способность датчиков обычно равна 1,5–2 рабочим диапазонам измеряемой величины.

Избирательность датчика характеризует его способность реагировать только на изменение того параметра, для измерения которого он предназначен [50, с. 296].

Важное значение имеют требования к показателям надежности датчиков: безотказности, долговечности, вероятности безотказной работы, интенсивности потока отказов. Показатели надежности датчиков должны быть значительно выше показателей надежности СТД, для которых они предназначены. Если датчики встроенные, то их надежность должна быть выше надежности диагностируемого объекта [13, с. 184].

Значение наработки на отказ при ее нормировании в НТД выбирают из ряда 500, 600, 700, 800, 900, 1000 ч и далее через каждые 250 ч. Нормируемые показатели надежности датчиков определены в ГОСТ 27.003–83. Периодичность проверки датчиков задается в НТД [13, с. 184].

По мере того как снижаются цены, ужесточаются правительственные требования к топливной экономичности и чистоте отработавших газов, растет потребность в датчиках электронных систем и расширяется их рынок.

Все определяется не только стоимостью, но и требованиями интеграции датчиков в систему. Чтобы резко снизить себестоимость всех составных частей электронных систем (микропроцессоров, датчиков), нужно создавать заново систему в целом. Но автомобильная промышленность развивается эволюционным путем, а не революционным. Для создания «авангардной» технологии необходимо 8–10 лет, в то время как применение традиционной для налаживания серийного производства новой электронной системы требуется только 4 года [56, с. 127].

В большинстве случаев цену на новую продукцию удастся снизить благодаря расширению объемов выпуска и приобретению опыта. Но это затрудняет в дальнейшем перевод принятой технологии на новую основу, продлевая жизнь старой, но отлаженной. Это имеет положительную сторону. С ростом применения датчиков в автомобильных электронных системах теряет значение то, какая технология является лучшей в конкретном случае и даже какое количество датчиков и какая стратегия управления всей системой будет необходима в будущем [55, с. 42].

Сегодня полупроводниковые датчики считаются новым компонентом, их достоинством является преобразование синусоидального сигнала в серии прямоугольных импульсов. Микропроцессоры могут воспринимать

только логические единицы и нули. Поэтому на выходе синусоидальный сигнал необходимо сравнивать с пороговой величиной и в период, когда его уровень превышает пороговую величину. А частота импульсов характеризует скорость процесса [56, с. 17–20].

Следующий шаг – обеспечение предварительной обработки сигнала перед подачей его в контроллер системы. Такие так называемые «интеллектуальные» датчики освободят центральный контроллер от предварительных вычислений, расширяя его возможности для реализации алгоритма управления и распределения информации между системами. «Интеллектуальные» датчики, вероятно, не будут непосредственно распределять информацию. Многие пользователи, подключая к одному датчику несколько систем, затрудняют его функционирование [73].

Интеллектуальные датчики будут следующим шагом вперед. Заказчики требуют от будущих датчиков способности к самодиагностике, распознаванию сбоев и ложных сигналов, удобства технического обслуживания. В настоящее время особенно растет потребность в приборах измерения ускорений – акселерометрах. В некоторых (но не во всех) случаях акселерометры могут быть заменены оптическими датчиками. Основанные на использовании инфракрасных излучателей (светоизлучающих диодах) и детекторов, эти оптические датчики могут быть использованы для измерения скорости автомобиля, его положения и высоты, уровней жидкостей в гидросистемах и светового потока, для определения состава рабочей смеси в случае многотопливного двигателя [82].

Однако широкого распространения оптические датчики не получают до освоения волоконно-оптической технологии и мультиплексирования. До того времени оптические датчики будут применяться в тех случаях, когда они имеют очевидные функциональные или экономические преимущества.

В настоящее время имеется, однако, одна технология, которая может быть использована практически во всех существующих электронных системах – это полимерные толстые пленки (PTF) с электропроводящими наполнителями (серебром, углеродом, никелем, медью) [67].

В новейших системах управления надувными подушками безопасности для измерения ударного воздействия используются акселерометры, установленные непосредственно в блоке управления, расположенном в салоне водителя. Это исключает необходимость иметь множество внешних датчиков (неэлектронные системы обычно содержат 4–5 механических датчиков), сокращает длину проводов и объем требуемого для размещения системы пространства. Снижается также и время срабатывания подушки. Механическая система обеспечивала время срабатывания около 22 мс, сейчас это время составляет 17,5 мс [71, с. 6].

Но акселерометры используются не только в системах управления подушками. Они могут применяться также в антиблокировочных системах

(АБС), системах регулирования тягового условия (РТУ), в активных и полуактивных подвесках, навигационных системах и системах контроля детонации в двигателе. А новое поколение миниатюрных датчиков – трехмерные структуры, выполнение в кремнии, могут получить применение в новых областях. В системе с акселерометрами, измеряющими ускорения вертикальных перемещений колес (например в активных подвесках), и датчиками, измеряющими воздействие водителя на рулевое колесо, можно определять поперечное ускорение без использования сигнала другого акселерометра для управления АБС и системой РТУ. В ближайшие годы наблюдается рост числа датчиков на автомобиле, но долгосрочная тенденция пока не ясна [27].

Как и всегда, имеется одно препятствие для широкого распространения толсто пленочной технологии – высокая стоимость. В тех случаях когда миниатюризация, сокращение числа деталей и облегчение пространственной компоновки не являются главными задачами, толсто пленочной технология не дает ощутимого выигрыша [39].

Для диагностирования топливной системы дизельного двигателя наибольшее распространение получил метод, основанный на анализе изменения давления, фиксируемого при помощи специального датчика, устанавливаемого у форсунки в разрыв нагнетательного топливопровода. Использование данного метода приводит к необходимости разборки части топливной системы, что является причиной снижения надежности крепления топливопровода. В то же время ухудшение работы топливной системы дизельных двигателей может быть следствием многих причин. Быстро найти действительную причину неудовлетворительной работы топливной системы возможно лишь при соблюдении определенной последовательности в отыскании неисправности и использовании оборудования, позволяющего найти неисправность с наименьшими затратами труда и средств [13, с. 48].

В настоящее время в составе стенда КАД-300 выпускается накладной датчик давления К296.04.00 (базовый) (Рисунок 1.5). Датчик выполняется из двух частей корпуса 1 и 4, подвижных относительно оси 2. В углублениях подвижных частей корпуса расположены пьезоэлементы из поливинил-дефторидной пленки 6. Электрическими выводами датчика являются контакт 3 и топливопровод высокого давления, на который устанавливается датчик. Датчик закрепляется на топливопроводе с помощью зажима 5 и рычага 7, применение которого увеличивает надежность крепления на топливопровод. Однако конструкция крепления датчика не позволяет быстро установить его в условиях ограниченного доступа к топливопроводу высокого давления.

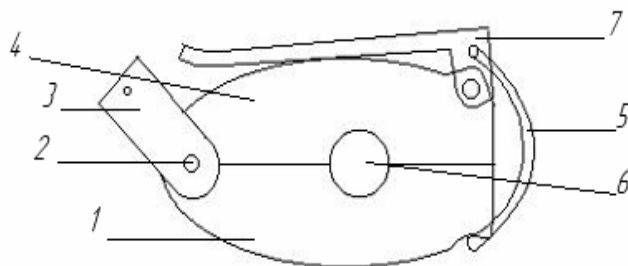


Рисунок 1.4 – Базовый датчик давления

Для снижения трудоемкости данной операции предлагается изменить конструкцию крепления датчика на эксцентриковый (Рисунок 1.5). Датчик выполняется из двух частей корпуса 7 и 10, подвижных относительно оси 3. В углублениях подвижных частей корпуса расположены пьезоэлементы из поливинил-дефторидной пленки 9. На корпусе закреплены плечи 1 и 5. Электрическими выводами датчика являются контакт 6 и топливопровод высокого давления, на который устанавливается датчик. Для установки датчика на топливопроводе в корпусе имеется отверстие, соответствующее диаметру топливопровода. Датчик закрепляется на топливопроводе с помощью скобы 2, эксцентрика 4 и рычага 8.

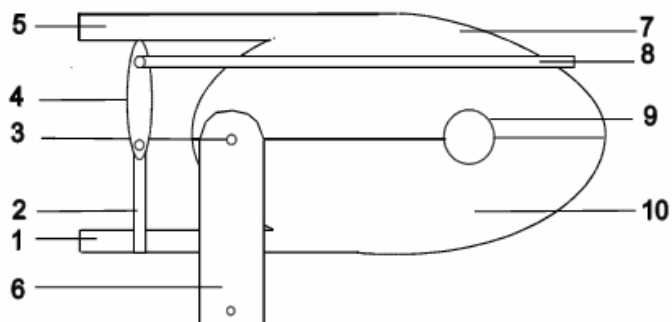


Рисунок 1.5 – Эксцентриковый датчик давления

Применение предложенного крепления датчика позволит снизить трудоемкость установки и снятия предлагаемого датчика, облегчить работу оператора. Тем самым увеличивается производительность работы оператора.

Более тщательный анализ предложенной конструкции позволяет сделать вывод о необходимости дальнейшего совершенствования крепления датчика на топливопроводе. Наиболее рациональным представляется пружинный зажим (Рисунок 1.6) [56, с. 127], который выполняется из двух частей корпуса 6 и 7, подвижных относительно оси 3. В углублениях подвижных частей корпуса расположены пьезоэлементы из поливинил-дефторидной пленки. На корпусе закреплены плечи 2 и 5. Электрическими выводами датчика являются контакт 1 и топливопровод высокого давления, на который устанавливается датчик. Для установки датчика на

топливопровод в корпусе имеется отверстие, соответствующее диаметру топливопровода. Датчик закрепляется на топливопроводе с помощью пружины 4. Пружинный зажим позволит снизить время на снятие и установку датчика. Для уменьшения массы и усилия на плечи датчика предлагается выполнять зажим в виде пластинчатой пружины.

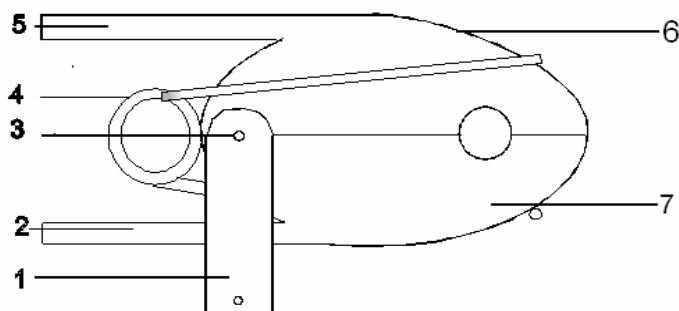


Рисунок 1.6 – Пружинный датчик

Для снижения трудоемкости данной операции предлагается изменить конструкцию крепления датчика. Датчик (Рисунок 1.7) выполняется из двух частей корпуса 7 и 10, подвижных относительно оси 3. В углублениях подвижных частей корпуса расположены пьезоэлементы из поливинилдефторидной пленки 9. На корпусе закреплены плечи 1. Электрическими выводами датчика являются контакт 6 и топливопровод высокого давления, на который устанавливается датчик. Для установки датчика на топливопровод в корпусе имеется отверстие, соответствующее диаметру топливопровода. Датчик закрепляется на топливопроводе с помощью пружинного зажима, а затем поджимается скобой 2, эксцентриком 4 и рычагом 8.

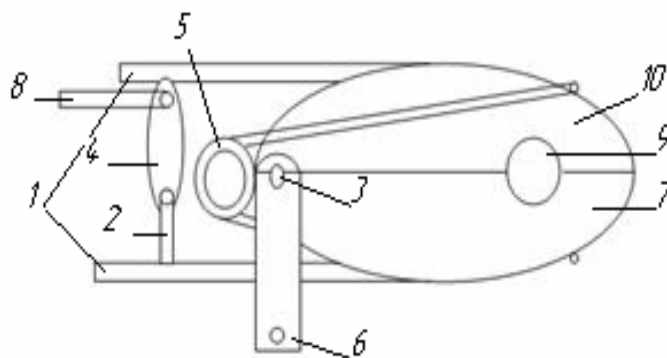


Рисунок 1.7 – Датчик давления с измененной конструкцией

Вывод по пункту 1.5. На автомобильном транспорте прослеживается тенденция к увеличению числа датчиков, сигнализирующих о той или иной неисправности. Важно понимать, что быстро найти причину при срабатывании такого датчика без частичной разборки или с наименьшими трудовыми затратами возможно только с применением технологически совершенных средств диагностирования. Но в настоящее время стоимость

такого оборудования достаточно высока, поэтому рациональным решением будет создание усовершенствованного датчика на базе существующего аналога. Применение предложенного крепления датчика позволит снизить трудоемкость установки и снятия предлагаемого датчика, облегчить работу оператора.

1.6. Выводы и задачи исследования

На основании проведенного анализа состояния вопроса можно сделать следующие основные выводы:

– в условиях роста дизельного парка страны, а также существенной зависимости эффективности его использования от технического состояния двигателей возрастает роль качества проведения ТО и ремонта автомобильных дизелей;

– эффективным способом повышения качества проведения ТО и Р автомобильных дизелей, а также снижения эксплуатационного расхода топлива и токсичности ОГ является качественное диагностирование их технического состояния;

– сложность диагностирования дизелей, в особенности топливной аппаратуры, определяет необходимость применения в практике эксплуатации автомобилей большого набора методов и средств диагностирования двигателей;

– применение существующих средств встроенного диагностирования автомобильных дизелей экономически нецелесообразно в силу высокой стоимости диагностического оборудования;

– для поиска неисправностей автомобильных дизелей, работающих на малых и средних АТП, а также автоколонн, работающих в отрыве от производственных баз, целесообразна разработка эффективной модели диагностирования, перспективной в отношении массовой реализации как в средствах внешнего, так и встроенного диагностирования;

– совершенствование оборудования для диагностирования позволит уменьшить трудоемкость и затраты на выполнение работ.

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Описание объекта исследований

В качестве выбранного объекта исследований рассматривается топливная система и дизельный двигатель автомобиля, устанавливаемый на грузовых автомобилях КАМАЗ российского производства.

Как отмечает Р.М. Баширов в своей монографии «Топливные системы автотракторных и комбайновых дизелей, конструкционные особенности и показатели работы» [9], принципиальная схема топливной системы включает в себя топливный бак, топливопроводы низкого давления, фильтр грубой очистки, топливоподкачивающий насос, фильтры тонкой очистки топлива и топливную систему высокого давления.

К основным элементам топливной системы высокого давления относятся:

- топливный насос высокого давления (ТНВД);
- топливопроводы высокого давления;
- форсунки.

Указанные элементы обеспечивают подачу топлива в цилиндры двигателя, что способствует при правильной регулировке подавать топливо в необходимые моменты по времени и продолжительности подачи топлива (количества подаваемого топлива).

Данные устройства обеспечивают работу двигателя на необходимых режимах в процессе работы автомобиля.

С теоретической точки зрения [61] топливная система представляет собой совокупность последовательно соединенных элементов, отказ одного из которых способен привести к неисправности или полному отказу всей системы.

Исследования убеждают, что отказ одного или нескольких элементов приводит к нарушению работы всей системы управления с заданными характеристиками и параметрами. При этом автомобиль может сохранить способность к движению при нарушенных параметрах топливной экономичности, экологичности, мощности и других, что равносильно отказу всей системы. [53, с. 158] Система работоспособна только тогда, когда, по крайней мере, k из n системы исправны, тогда:

- параллельное соединение элементов более надежно, чем параллельное соединение систем;
- последовательное соединение систем эффективнее последовательного соединения элементов.

Значит, для создания эффективной системы вероятно-логистического метода диагностирования необходимо создание системы, где элементы системы: база, определяющие состояния объекта (датчики), компьютерный

блок с подсистемами анализа состояния и собственной работы соединены между собой с минимальным количеством элементов системы. В то же время они должны решать задачи:

- поиск и прогнозирование времени на устранение дефекта;
- количество и степень операции должны выбираться на основе вероятностного метода и исключаться с помощью логической модели;
- материальные затраты минимизированы путем исключения ненужных элементов системы, например, излишнего количества датчиков системы.

Значит, необходимо создать систему, которая будет по алгоритму решать поставленные задачи.

Вывод по пункту 2.1. Выбор основных характеристик объекта исследования позволяет поэтапно проанализировать степень воздействия на элементы автомобиля и выявить достаточные условия для создания вероятно-логического метода воздействия на объект с целью поддержания функции работоспособности автомобиля и его топливной системы.

2.2. Режимы обеспечения работоспособности автомобиля и его топливной системы

По мнению Габитова И.И., существующая система технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей КАМАЗ в условиях АТП и дилерских станций технического обслуживания и ремонта характеризуется планово-предупредительным характером для всего автомобиля в целом, с учетом особенностей АТП и техническими воздействиями при возникновении отказов топливной системы двигателя [16, с. 296].

Отказы и неисправности, связанные с нарушением работы топливной системы, выполняются по дополнительной заявке владельца автомобиля. Их проявления, как правило, субъективно выявляются в процессе эксплуатации при появлении задымления, трудном пуске двигателя, неравномерности работы двигателя на различных режимах, снижении мощности, динамических характеристик, увеличенном расходе топлива и др.

Стоит отметить, что все большее распространение получают системы Common Rail. Но из-за повышенной требовательности к чистоте и качеству дизельного топлива процесс охвата российского рынка этими системами невелик, хотя с каждым годом наблюдается положительная динамика. С точки зрения диагностирования из-за чувствительности к топливу страдают управляемые электроникой форсунки с электромагнитными или пьезоэлектрическими клапанами. Попытки использовать низкокачественное топливо или неподходящие топливные фильтры могут привести к преждевременному дорогому ремонту или даже к замене системы. Но не только это является причиной. Другой более существенной особенностью

является использование в системе Common Rail большого числа разного рода датчиков, активаторов и иных элементов управления: датчик давления в рампе, датчик потока воздуха, датчики положений распредвала и коленвала, температурные датчики двигателя и входящего воздуха, датчик положения педали акселератора, датчик системы подогрева, соленоиды, клапан регулятор давления в рампе, клапан турбонадува и клапана рециркуляции выхлопных газов [6].

Следовательно, поддержание в автомобиле работоспособных параметров влечет за собой диагностирование сложной топливной системы и требует специального, сложного и дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала.

С другой стороны, длительная эксплуатация топливной системы без контроля ее работоспособности ведет к накоплению отказов и неисправностей отдельных элементов и к нарушению работы всего автомобиля. В данном случае значительно возрастает стоимость диагностирования и выявления неисправностей, и еще более дорогостоящим становится устранение неисправностей и восстановление работоспособности топливной системы.

Для обеспечения работоспособности системы необходимо использовать встроенное диагностирование с помощью алгоритма, предложенного нами в п. 2.1. Нам понадобится блок для формирования базы данных по результатам диагностирования, к нему будет подключаться расчетно-анализирующий блок, далее блок индикации результатов расчета и анализа, выводящий данные на монитор. В качестве элемента встроенного диагностирования мы будем использовать накладной датчик давления топлива (усовершенствованная конструкция которого описана в главе 1). В результате получаем на мониторе данные, которые сигнализируют о решении по проведению профилактических работ в отношении топливной системы и двигателя в частности.

Вывод по пункту 2.2. Необходимо применение внутреннего диагностирования для топливной системы, которое позволит увеличить уровень надежности автомобильного парка и уменьшит потребность в технологическом оборудовании, а также позволит избежать неконтролируемых отказов топливной системы.

2.3. Целевая функция исследований

В процессе эксплуатации трущиеся сопряжения автомобиля изнашиваются, происходит разрегулировка его систем, узлов и агрегатов, т.е. изменяются значения его структурных параметров, непосредственно характеризующих исправность объекта диагностирования. К ним относят зазоры в сопряжении, величину износа поверхностей детали и другие

параметры, измерение которых связано с необходимостью проведения разборочных работ. Это повышает трудоемкость контроля и существенно снижает ресурс контролируемого агрегата. Последнее объясняется появлением дополнительного цикла приработки поверхностей контролируемого сопряжения.

Исходя из исследований Неговора А.В., изменение структурных параметров сопровождается изменениями параметров рабочих и сопутствующих выходных процессов автомобиля, которые могут наблюдаться и измеряться извне без разборки (или с частичной разборкой) контролируемого агрегата [66].

Возможны четыре метода контроля с последующим восстановлением состояния элементов автомобилей:

- 1) с помощью традиционных внешних средств;
- 2) с помощью систем встроенных датчиков;
- 3) с помощью бортовых систем контроля;
- 4) с помощью саморегулирующих средств.

В связи с этим Рачкин В.А. и Хайртдинов И.Н. [73, 85] отмечают, что для определения эффективности использования первого и второго методов составляют целевые функции, характеризующие зависимость издержек от периодичности диагностирования рассматриваемого элемента автомобиля. Минимум этих функций дает оптимальную периодичность диагностирования, которая определяет минимальные издержки на эксплуатацию и ремонт элемента, включая и затраты на диагностирование.

Целевая функция издержек на диагностирование элемента первым методом, его ремонты и простои в ремонтах в зависимости от периодичности диагностирования на тыс. км пробега имеет вид:

$$И_1(l) = l^{-1} [C_1 + C_1 \cdot A_{ип}(l) + C_{II} \cdot A_{иа}(l) + \Pi \cdot (t_{в1} + t_{п} \cdot A_{ип}(l) + t_a \cdot A_{ип}(l))], \quad (2.1)$$

где C_1 – затраты на одно диагностирование;

C_I и C_{II} – соответственно затраты на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента;

Π – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем за 1 час эксплуатации;

$A_{ип}(l)$ – автомобили, для которых не будет произведен профилактическое техническое обслуживание на пробеге l ;

$A_{иа}(l)$ – автомобили, для которых будет произведен аварийный ремонт на пробеге l ;

$t_{в1}$ – время на одно диагностирование;

$t_{п}$ и t_a – соответственно время, отведенное на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента.

Для второго метода диагностирования целевая функция издержек имеет вид:

$$I_2(l) = l^1 [C_2 + C_I \cdot A_{ин}(l) + C_{II} \cdot A_{иа}(l) + \Pi \cdot (t_{в2} + t_{п} \cdot A_{ин}(l) + t_a \cdot A_{ин}(l))] + l \cdot C_{свд} / T_{свд}, \quad (2.2)$$

где C_2 – затраты на одно диагностирование при использовании систем встроенных датчиков;

$t_{в2}$ – время на диагностирование элемента при использовании систем встроенных датчиков;

$C_{свд}$ и $T_{свд}$ – соответственно затраты на систему встроенных датчиков и срок службы систем встроенных датчиков рассматриваемого элемента; остальные обозначения аналогичны обозначениям для первой функции.

По словам Харазова А.М. [83], для первого и второго методов определение технического состояния зависит от периодичности технического обслуживания автомобилей. Поэтому выполнение технического обслуживания, согласно технико-экономическому методу, должно соответствовать минимуму затрат на поддержание и восстановление работоспособности:

$$C_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^k C_{Ii} + \sum_{i=1}^k C_{IIi} \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

где $C_{\Sigma\Sigma}$ – суммарные удельные затраты на ТО и ремонт k элементов, включенных в перечень ступени ТО;

C_{Ii} – удельные затраты на ТО i -го элемента;

C_{IIi} – удельные затраты на ремонт i -го элемента.

Однако, по мнению некоторых ученых, в общем случае оптимальная периодичность обслуживания группы элементов $l_{0\Sigma}$ не будет совпадать с оптимальной периодичностью обслуживания l_{0i} элемента в перечне. Минимальные удельные затраты элемента соответствуют удельным затратам элемента при оптимальной периодичности обслуживания этого элемента, т.е. $C_i(l_{0i}) = C_{i\min}$. Реально элемент будет обслуживаться с групповой периодичностью $l_{0\Sigma}$, а тогда его удельные затраты $C_i(l_{0\Sigma})$ будут больше минимальных затрат $C_{i\min}$ на величину изменения суммарных удельных затрат:

$$\Delta C_i = C_i(l_{0\Sigma}) - C_{i\min}. \quad (2.4)$$

Таким образом, минимальные суммарные издержки при проведении ТО с групповой периодичностью $l_{0\Sigma}$ будут выше тех, которые достижимы в том случае, если профилактические воздействия по каждому элементу будут выполняться с оптимальной для него периодичностью l_{0i} , на

величину изменения суммарных удельных затрат по всем элементам перечня, которые определяется из выражения:

$$\Delta C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k \Delta C_i. \quad (2.5)$$

Величина ΔC_{Σ} формируется из изменений удельных затрат элементов перечня ΔC_i . Любое увеличение удельных затрат одного элемента должно компенсироваться уменьшением суммарных удельных затрат другого элемента. Желательно, чтобы эти изменения были минимальны. В качестве периодичности проведения ТО для группы операций выбирается такая периодичность $l_{0\Sigma}$, которая соответствует минимальным изменениям суммарных удельных затрат ΔC_{Σ} по всем элементам перечня [69], т.е.

$$\sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min. \quad (2.6)$$

Применение встроенного диагностирования позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях.

При применении встроенного диагностирования периодичность технического обслуживания будет величиной динамичной, зависящей от момента достижения агрегатом, системой или деталью допустимого значения параметра состояния.

Ни один из методов группировки операций в перечне не содержит интегрированных оценок обоснованности проведения операций с оптимальной периодичностью l_{0i} , а с периодичностью ступени ТО L_i .

Издержки, соответствующие третьему методу диагностирования, определяют по формуле

$$И_3 = T_{\text{бк}^1} (C_{\text{бк}} + C_{\text{пр}}) + C_{\text{п}} \cdot Q_{\text{в}} + \Pi \cdot t_{\text{п}} \cdot Q_{\text{в}}, \quad (2.7)$$

где $T_{\text{бк}}$ – срок службы системы бортового контроля (СБК);

$C_{\text{бк}}$ – затраты (стоимость) СБК;

$C_{\text{пр}}$ – затраты на ремонт и ТО СБК (применительно к рассматриваемому элементу) за срок его службы;

$Q_{\text{в}}$ – контролируемые части автомобиля, для которых будет произведен профилактический ремонт на каждую тыс. км пробега.

Как известно, при ТЭМ определяется такая периодичность ТО $l_{0\Sigma}$ для перечня операций, которая соответствует минимуму затрат на поддержание и восстановление работоспособности по всем элементам, входящим

в этот перечень, с учетом затрат на техническое обслуживание и ремонт БСК:

$$C_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^k C_{Ii} + \sum_{i=1}^k C_{IIi} + \sum_{i=1}^k C_{IIIi} \rightarrow \min, \quad (2.8)$$

где $C_{\Sigma\Sigma}$ – суммарные удельные затраты на ТО и ремонт k элементов, включенных в перечень ступени ТО;

C_{Ii} – удельные затраты на ТО i -го элемента;

C_{IIi} – удельные затраты на ремонт i -го элемента;

C_{IIIi} – удельные затраты на ТО и ремонт БСК [68].

Однако в общем случае оптимальная периодичность обслуживания группы элементов $l_{0\Sigma}$ не будет совпадать с оптимальной периодичностью обслуживания l_{0i} элемента в перечне. Минимальные удельные затраты элемента соответствуют удельным затратам элемента при оптимальной периодичности обслуживания этого элемента, т.е. $C_i(l_{0i}) = C_{i\min}$. Реально элемент будет обслуживаться с групповой периодичностью $l_{0\Sigma}$, и тогда его удельные затраты $C_i(l_{0\Sigma})$ будут больше минимальных затрат $C_{i\min}$ на величину изменения суммарных удельных затрат:

$$\Delta C_i = C_i(l_{0\Sigma}) - C_{i\min} - C_{III} . \quad (2.9)$$

Таким образом, минимальные суммарные издержки при проведении ТО с групповой периодичностью $l_{0\Sigma}$ будут выше тех, которые достижимы в том случае, если профилактические воздействия по каждому элементу будут выполняться с оптимальной для него периодичностью l_{0i} , на величину изменения суммарных удельных затрат по всем элементам перечня, которая определяется из выражения:

$$\Delta C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{k-n} \Delta C_i + \sum_{i=1}^n \Delta C_i, \quad (2.10)$$

где k – общее количество элементов;

n – количество элементов с периодичностью близкой к оптимальной.

Величина ΔC_{Σ} формируется из изменений удельных затрат элементов перечня ΔC_i . Ряд авторов отмечают, что любое увеличение удельных затрат одного элемента должно компенсироваться уменьшением суммарных удельных затрат другого элемента [45]. Желательно, чтобы эти изменения были минимальны. В качестве периодичности проведения ТО для группы операций выбирается такая периодичность $l_{0\Sigma}$, которая соответствует минимальным изменениям суммарных удельных затрат ΔC_{Σ} по всем элементам перечня, т.е.

$$\sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min . \quad (2.11)$$

Рассмотрим целевую функцию стандартного ТЭМ:

$$C_{\Sigma \min} = C_1(l_{0\Sigma}) + C_2(l_{0\Sigma}) + \dots + C_k(l_{0\Sigma}) = \sum_{i=1}^k C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min. \quad (2.12)$$

Распишем слагаемые целевой функции:

$$C_i(l_{0\Sigma}) = C_{i\min} + C_{i\text{III}} + C_i(l_{0\Sigma}). \quad (2.13)$$

С учетом (2.12) целевую функцию (2.11) можно переписать:

$$C_{\Sigma \min} = \sum_{i=1}^k (C_{i\min} + C_{i\text{III}} + \Delta C_i(l_{0\Sigma})) = \sum_{i=1}^k C_{i\min} + \sum_{i=1}^k C_{i\text{III}} + \sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min. \quad (2.14)$$

Первое слагаемое в $\sum_{i=1}^k C_{i\min} + \sum_{i=1}^k C_{i\text{III}} = \text{const}$, поэтому оптимизация целевой функции будет происходить за счёт второго слагаемого $\sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma})$.

Следовательно, результат, получаемый предложенной модификацией ТЭМ, аналогичен результату, получаемому стандартным методом, но создаются предпосылки для оптимизации перечней, т.к. для каждого элемента, возможно, установить диапазон, в котором отклонения периодичности от оптимальной допустимы, а при назначении периодичности ТО вне этого диапазона должно рассматриваться решение об исключении этого элемента из перечня. Если периодичности ступеней кратны друг другу, то определенные таким образом перечни для отдельных ступеней дополнительно необходимо включить в те ступени ТО, периодичности которых кратны [52, с. 131]

Для узлов, подвергающихся саморегулированию, издержки определяются по формуле

$$И_4 = T_{\text{cc}}^{-1}(C_{\text{cc}} + C_{\text{пр}}) + C_{\text{п}} \cdot P_{\text{в}} + \Pi \cdot t_{\text{п}} \cdot P_{\text{в}}, \quad (2.15)$$

где T_{cc} – срок службы системы саморегулирования (СС);

C_{cc} – затраты (стоимость) СС;

$C_{\text{пр}}$ – затраты на ремонт и ТО СС (применительно к рассматриваемому элементу) за срок его службы.

В данном случае исключаются затраты на техническое обслуживание элементов, подвергающихся саморегулированию.

Минимум из четырех приведенных чисел $И_1, И_2, И_3, И_4$ указывает на наиболее целесообразный метод диагностирования или саморегулирования.

В настоящее время автомобили оснащаются бортовыми и встроенными системами диагностирования, при этом не теряют актуальности и традиционные системы внешнего диагностирования [44, с. 131]. Кроме того,

начинают внедряться в конструкцию автомобилей элементы, регулирующие состояние механизмов без проведения дополнительных работ. В связи с этим при выборе диагностических параметров необходимо определить, какие из них целесообразно контролировать бортовыми системами, какие – с помощью внешних средств технического диагностирования, а какие должны подвергаться саморегулированию.

Повышение эффективности функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия обеспечивается своевременным техническим обслуживанием и ремонтом на основе диагностирования автомобилей [86]. Однако не все предприятия обладают современным оборудованием для оценки технического состояния автомобилей, кроме того, периодичность контроля такова, что имеется возможность эксплуатации автомобилей с состоянием, требующим технического обслуживания (ТО) или текущего ремонта.

Выводы по пункту 2.3. Анализ целевой функции показывает, что изменения структурных параметров могут измеряться без разборки контролируемого агрегата. Необходимо только правильно установить диапазон измерения отклонений от нормативных и оптимизировать допустимую функцию периодичности проверки системы с уменьшением затрат на обслуживание элементов системы.

2.4. Вероятностно-логический подход к выявлению неисправностей автомобилей

Теоретическим и практическим вопросам контроля надежности различных механических объектов посвящено обширное количество научно-технических статей, брошюр, книг, монографий, справочных руководств и другой научно-технической литературы. Достаточно подробная информация по самым различным вопросам контроля показателей механической надежности исследуемых объектов содержится в справочниках.

Однако научно-техническая литература, посвященная разработке вероятностно-логических задач контроля показателей элементов автомобилей, практически отсутствует. Решению проблемы вероятностного и логического подхода поиска и определения неисправностей посвящены работы авторов [3].

2.4.1. Вероятностно-логическая модель как способ диагностирования автомобиля

Диагностические параметры связаны определенными зависимостями как со структурными параметрами, так и с эксплуатационными качествами двигателя. Знание зависимостей между структурными и диагностическими

параметрами, понимание характера их изменения в процессе эксплуатации позволяет определять действительное состояние агрегатов без их разборки, прогнозировать остаточный ресурс и обоснованно назначать вид ремонта или объем технического обслуживания двигателя. Из анализа [67] отказов, возникающих в топливной системе дизеля: около 40 % отказов приходится на неисправности, связанные с нарушением контактов и соединений; 30 % – выход из строя одного из элементов (например датчика); 20 % – подсистема смесеобразования; 10 %-механические.

Учитывая, что количество отказов возрастает с увеличением пробега автомобиля, то необходимо проведение углубленного анализа отказов системы управления топливной системой. Необходимо также понимать, что своевременная объективная диагностическая информация о достижении автомобилем предельных значений параметров позволяет в сжатые сроки направлять автомобили в ремонт или производить их списание. Применение встроенного диагностирования позволяет оперативно производить корректировку системы ТО и ремонта посредством воздействия управляющей информации по перераспределению потоков автомобилей, что предполагает уменьшение времени простоев автомобилей в ремонте.

Диагностические параметры двигателя позволяют определять техническое состояние отдельных его механизмов, систем и сборочных единиц, но не дают возможности оценить его состояние в целом. Поэтому на практике необходимо использовать одновременно несколько методов и параметров или выбирать подходящие для данного случая (подробнее описано в пункте 1.4 диссертации). Преимущества встроенного диагностирования очевидны, но требуют высококвалифицированного персонала. Например, анализ шума и вибрации, возникающих при работе механизмов, дает возможность диагностировать все подвижные сопряжения, в которых возникают ударные нагрузки. Этим методом можно диагностировать кривошипно-шатунный и газораспределительный механизмы на начальном этапе поиска неисправностей.

Применительно к автомобилям КАМАЗ с дизелями и многоплунжерными насосами можно выделить несколько стратегий диагностирования:

1. Диагностирование поточным методом (на постах диагностирования, включая КТП).
2. Диагностирование водителем на линии и по информации со щитка приборов.
3. Диагностирование водителем (оператором) системы управления двигателем с применением самодиагностики и считыванием блинк-кодов, а также с применением компьютерного диагностирования (OBD-2).
4. Диагностирование программно-измерительным комплексом с применением накладного датчика.

5. Диагностирование с применением программ экспертных систем.

Значит, вероятно-логическая модель позволяет при использовании ее на основе встроенных средств минимизировать вероятность возникновения неисправности путем своевременного отслеживания изменения контрольного параметра. В перспективе данный метод сможет охватывать все необходимые для контроля узлы и агрегаты автомобиля.

Если неисправность находится вне контролируемых датчиками параметров, то с помощью блока с базой данных система встроенного диагностирования позволит сократить время поиска неисправности.

Система анализирует полученную информацию и подтверждает связи между диагностическими параметрами и возможными нарушениями структурных параметров путем опроса водителя о косвенных признаках возникновения неисправности, событиях, предшествовавших возникновению дефекта – прохождении технического обслуживания, перечне операций ТО, применяемых материалах при ремонте и эксплуатации, режиме работы машины, лимите времени на выполнение операции и т.д. Данная методика построения гипотезы позволяет существенно снизить возникновение ложных гипотез. С развитием технологий перечень средств диагностирования может добавляться в базу данных. Как видно, в предлагаемой методике использованы все достоинства «логического» метода: низкие требования к квалификации диагностирующего, низкая стоимость средств диагностирования; влияние возможных ошибок при построении гипотезы снижается.

На основании полученной информации на этом этапе определяются вероятные гипотезы – элементы двигателя, подозреваемые на отказ.

По завершении этапа выбора качественных признаков в системе происходит просмотр базы данных и формирование рабочего набора предполагаемых неисправностей, обеспечивающих решение задачи поиска неисправностей. После определения качественного признака следует определить причину неисправности.

Применение встроенного диагностирования позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях.

Основываясь на вышеуказанных преимуществах вероятно-логической модели, возможно существенно сократить время на поиск неисправностей, возникающих при эксплуатации подвижного состава, и повысить оперативность диагностирования.

Предлагаемая методика позволит оперативно проводить диагностирование, по результатам которого автомобиль может направляться в ремонт, а нетрудоемкие операции восстановления неисправности могут проводить-

ся на линии. Данная методика создает предпосылки к росту коэффициента технической готовности парка автомобилей, снижению элементов резервирования автомобилей, что позволит оптимизировать транспортный процесс, технико-экономические показатели автомобилей и автотранспортного предприятия.

Процесс изучения параметров и показателей системы при помощи контрольно-измерительного оборудования, приборов и инструментов будем характеризовать параметром P_B (вероятностный), учитывая, что своевременно прекратить эксплуатацию автомобиля и подвергнуть его ремонту можно только в случае применения объективного инструментального диагностирования технического состояния. Определение без контрольно-измерительных приборов и инструментов диагностических параметров, поддающихся оценке с помощью органолептических методов или с применением отдельных средств, будем характеризовать параметром P_L (логический).

В частности, P_B и P_L применяются для:

- оценки (расчета), контроля и обеспечения показателей механической надежности топливной системы дизельных двигателей при её эксплуатации;
- создания различных автоматизированных контролирующих систем и диагностических комплексов.

Качественно оценить методику можно по связи с факторами, характеризующими трудоемкость диагностирования, а количественно — по их влиянию (весомости) на основные показатели процесса диагностирования.

Как мы ранее уже упоминали, в вероятностно-логической методике мы используем набор необходимых разработок в области диагностирования. Например, количественное сравнение возможно только в тех случаях, когда данные показатели имеют явно выраженный количественный характер, например число точек контроля, число встроенных датчиков, количество разрывов цепей, число унифицированных контрольных точек.

Реализация возможностей диагностики на автомобильном транспорте является сложной задачей, для решения которой необходимы дальнейшие исследования её управляющих функций и проведение производственного эксперимента.

Параметры выходных рабочих процессов, определяющих основные функциональные свойства объекта (например, тормозной путь, мощность двигателя, процент буксования сцепления и т.п.), дают обобщенную широкую информацию о состоянии механизмов в целом. Эта информация является основой для дальнейшего поэлементного диагностирования.

Параметры сопутствующих процессов (например нагрев, шумы, вибрации и др.) дают более узкую информацию о техническом состоянии объекта диагностики. Они достаточно универсальны и широко применимы

для поэлементного диагностирования сложных систем. Поэтому наш метод – вероятностно-логический – имеет следующие преимущества: доступность диагностирования; легкость подключения приборов; возможность диагностирования без разрыва цепей; удобство работ; обеспеченность контроля встроенными датчиками; безошибочность подключения; унификацию контрольных точек; число контрольных точек; централизацию контроля; санитарно-гигиенические показатели; возможность обойтись без снятия крупногабаритных элементов автомобиля.

Вывод по пункту 2.4.1. Для определения причины отказа без разборки агрегата необходимо найти диагностические параметры с рациональными затратами на поиск и максимально эффективными для устранения неисправности. Это сочетается при исследовании проблемы с логическими правилами, опирающимися на вероятные гипотезы отказа и включающие анализ на основе встроенного диагностирования.

2.4.2. Система коэффициентов вероятностно-логической модели поиска неисправностей автомобилей

Эффективное применение и развитие диагностики на АТП требуют дальнейшего совершенствования ее режимов, нормативных показателей, методов, средств, технологических процессов и организации, а также повышения контролепригодности автомобилей.

Поэтому для создания работоспособной модели системы коэффициентов нам необходимо достигнуть оптимальности взаимодействия между объективным и субъективным диагностированием по выявлению неисправностей дизелей.

Критериями оптимальности выявления неисправности могут служить:

- минимальные удельные суммарные затраты системы;
- минимальная удельная трудоёмкость;
- максимальная средняя наработка на отказ системы;
- вероятность отказа системы;
- коэффициент технической готовности.

Необходимо достичь оптимизации периодичности контроля, индивидуальной корректировки ТО и ТР при проведении диагностических мероприятий.

Управляющие функции процессов и средств диагностирования носят производственный и инспекционный характер. Они основаны на оптимизации режимов регламентного контроля, регулировании технологических постов обслуживаемых автомобилей путем отсортировки ремонтного фронта, индивидуальном корректировании объемов регламентного обслуживания и ремонта; проверке качества выполненного ТО и ТР автомобилей. Эти функции реализуются в производстве на основе информации о техническом состоянии автомобиля с помощью средств внешнего диагно-

стирования, которое мы будем корректировать с помощью коэффициентов. Необходимость в закономерности изменения параметров технического состояния автомобиля обусловлено получением контролепригодной модели коэффициентов, которая, в свою очередь, опирается на нормативы и оптимальную взаимосвязь между параметрами диагностирования. Поэтому необходимо обобщенное логическое или аналитическое описание наиболее важных свойств объекта диагностирования.

Эффективное применение и развитие диагностирования автомобилей требует дальнейшего совершенствования нормативных показателей, методов, средств, технологических процессов, а также повышения контролепригодности автомобилей. Поэтому для создания работоспособной модели встроенной системы диагностирования необходимо оптимальное взаимодействие между объективным и субъективным методами определения неисправностей; кроме того, необходимо провести оптимизацию периодичности контроля, индивидуального корректирования технического обслуживания и текущего ремонта при проведении диагностических мероприятий. Это приводит к необходимости получения контролепригодной модели коэффициентов, которая, в свою очередь, опирается на нормативы и оптимальную взаимосвязь между параметрами диагностирования. Поэтому необходимо обобщенное логическое или аналитическое описание наиболее важных свойств объекта диагностирования.

Эти функции реализуются в производстве на основе информации о техническом состоянии автомобиля с помощью средств внешнего диагностирования, которую необходимо корректировать с помощью вероятно-логического коэффициента и средств встроенного диагностирования.

Нахождение параметров можно представить в виде диагностической матрицы (Таблица 2.1), представляющей собой логическую модель, описывающую связи между диагностическими параметрами $L(P)$ и возможными неисправностями A объекта.

Таблица 2.1 – Матрица связи диагностических параметров с неисправностями

Диагностические параметры	Возможные неисправности		
	A_1	A_2	A_3
P_1	1	0	0
P_2	0	1	0
P_3	1	0	1
P_4	0	1	1

В данном случае единица означает возможность существования неисправности, а ноль — отсутствие такой возможности. С помощью представленной в таблице диагностической матрицы решается задача локализации одной из трех возможных неисправностей объекта с помощью

четырёх диагностических параметров. Физический смысл решения задачи заключается в определении соответствия полученной комбинации диагностических параметров, вышедших за нормативное значение, существованию одной из неисправностей. В рассматриваемой матрице имеем: неисправность A_1 возникает в случае одновременного выхода за норматив параметров P_1 и P_3 , неисправность A_2 — параметров P_2 и P_4 , а неисправность A_3 — параметров P_3 и P_4 .

Получается, что весь процесс диагностирования (параметр P) представляет собой зависимость между нахождением вероятных неисправностей и логическим отбором необходимых диагностических параметров, следовательно, полная вероятность события заключается в нахождении неисправности элемента, которую можно описать, как

$$P_{ВЛ} = P_{В} + P_{Л}, \quad (2.16)$$

где $P_{В}$ — параметр вероятностного диагностирования;

$P_{Л}$ — параметр логического диагностирования.

Одним из способов определения необходимых параметров для оценки системы является введение в рассмотрение вероятностных характеристик. Наиболее логическое описание и тем самым инструмент для отслеживания объекта можно провести с помощью вероятностно-логического коэффициента:

$$K_{ВЛ} = P_{В} / P_{ВЛ} = P_{В} / (P_{В} + P_{Л}) = 1 / (1 + P_{Л} / P_{В}). \quad (2.17)$$

Чем больше параметров системы будет определено за одну проверку, тем быстрее будут выявлены причины отказа. Однако для постановки диагноза и нахождения причины отказа элемента используются несколько диагностических параметров, что значительно усложняет процесс. Для решения задачи в данном случае необходимо на основе данных о надёжности объекта выявить связи между его наиболее вероятными неисправностями и используемыми диагностическими параметрами.

Объект диагностирования будем рассматривать как преобразование вводимых в объект величин Y в величины реакции объекта $Z_{В}$ вероятностного диагностирования. Работа объекта диагностирования будет выражена формулой

$$Z_{В} = A_{В} \cdot Y_{В}, \quad (2.18)$$

где $Z_{В}$ — результат выходных величин вероятностного диагностирования;

$A_{В}$ — оператор объекта вероятностного диагностирования;

$Y_{В}$ — входные величины для вероятностного диагностирования.

Объект в данном случае имеет конечное количество состояний:

$$Z_{В}(i) = A_{В}(i) \cdot Y_{В}, \quad (2.19)$$

где $A_{В}(i)$ — оператор объекта диагностирования в случае i -го отказа.

Исходя из формулы полной вероятности события для нахождения A в:

$$P(A) = \sum_{i=1}^{\infty} P(B_i) \cdot P(AB_i). \quad (2.20)$$

где B_1, B_2, \dots – количество проверок, необходимое для нахождения параметров, характеризующих отказ системы;

A – оператор объекта диагностирования в случае отказа.

При подходящем выборе гипотез для события A могут быть сравнительно просто вычислены произведением всех вероятностей $P(AB_i)$ и собственно $P(B_i)$. Предположим, что существует некое конечное количество проверок, и параметр вероятностного диагностирования $P_{пв}(x)$ тогда запишется как:

$$P_{пв}(x) = B(x) / B_j \cdot n, \quad (2.21)$$

где $B(x)$ – число проверок изделия за наработку l ;

n – общее число отказов изделия за наработку l ;

B_j – минимально необходимое количество проверок на один отказ.

Значение B_j можно представить как функцию, которая позволяет характеризовать надежность системы уравнений и будет задаваться для всей совокупности проверок конечным числом переменных, которые будут принимать значения от 1 до z , где z – целое число, при котором использование проверок нерационально, так как затраты на диагностирование превышают стоимость замены элемента на новый:

$$B_j(z) = \left\{ \begin{array}{l} B_j \in 1 \dots z \\ z = f(P) \end{array} \right\}, \quad (2.22)$$

где P – параметры системы.

Для каждого элемента параметр P можно записать, как

$$P_j = \frac{\sum M_j}{\sum n_j}, \quad (2.23)$$

где $\sum M_j$ – совокупность элементов, которая помогает находить параметр P ;

$\sum n_j$ – сумма отказов одного элемента.

Чем большее количество датчиков имеет система, тем меньший логический аппарат необходим для вычисления параметров технического состояния, но, с другой стороны, требуется больше затрат на их приобретение, переоборудование автомобиля и закупку необходимых диагностических комплексов считывания информации.

С другой стороны, если для диагностирования мы используем датчики, то нижний доверительный предел \underline{P}_γ вероятности безотказной работы

$P_j(\Pi_D)$ – вероятность правильного показания j -го датчика при технически исправном его состоянии.

Параметр P_D имеет право на существование при выполнении условий, изложенных выше, и когда определяющие параметры x_i датчиковой аппаратуры из условий безотказной работы вычисляются по вероятности безотказной работы датчиков [2]:

$$P_j(D) = \prod_{j=1}^n P_j(\Pi_D), \quad (2.28)$$

где n – число датчиков.

Тогда параметр вероятностный определится по формуле

$$P_B = P_j(D) \cdot P_{ПВ}(x). \quad (2.29)$$

Параметр вероятностной составляющей вероятностно-логической модели запишется:

$$P_B = \prod_{j=1}^n \left. \begin{array}{l} P(x_1^{KP} - x_1^D = u_1 > 0) \\ P(x_2^{KP} - x_2^D = u_2 > 0) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ P(x_N^{KP} - x_N^D = u_N > 0) \end{array} \right\} B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1 \dots z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\}. \quad (2.30)$$

Если отказы происходят, то для их нахождения нам понадобится за наработку l найти интересующие параметры с помощью наименьшего количества проверок, увеличивая количество датчиков или нахождения логической функции, отвечающей за выбор количества проверок и наиболее рациональный путь для получения функции, что приведет к уменьшению количества датчиков системы и позволит снизить затраты на диагностирование, техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей.

Эффективное применение и развитие диагностирования автомобилей требует дальнейшего совершенствования методов, средств и технологических процессов, а также повышения контролепригодности автомобилей. Поэтому для создания работоспособной модели диагностирования необходимо оптимальное взаимодействие между объективным и субъективным методами определения неисправностей. Это приводит к необходимости получения диагностической информации, которая опирается на взаимосвязь между параметрами диагностирования и обобщенное логическое или аналитическое описание наиболее важных свойств объекта диагностирования.

Такие свойства в производстве реализуются на основе информации о техническом состоянии автомобиля с помощью средств внешнего и встроенного диагностирования. Одним из способов определения необ-

ходимых параметров для оценки системы является введение вероятностных характеристик.

Получается, что весь процесс диагностирования представляет собой зависимость между нахождением вероятными неисправностями и логическим отбором необходимых диагностических параметров, следовательно, полная вероятность события заключается в нахождении неисправности элемента, которую можно представить как

$$P_{ВЛ} = P_{В} + P_{Л}. \quad (2.31)$$

Наиболее логическое описание объекта и тем самым инструмент для отслеживания эффективности системы вероятностного и логического диагностирования можно представить с помощью вероятностно-логического коэффициента:

$$K_{ВЛ} = 1 / (1 + P_{Л} / P_{В}). \quad (2.32)$$

Объект диагностирования будем рассматривать как преобразование вводимых величин логического диагностирования $Y_{Л}$ в величины реакции объекта логического диагностирования $Z_{Л}$. Работа объекта диагностирования запишется:

$$Z_{Л} = f(Y_{Л}), \quad (2.33)$$

где $Z_{Л}$ – результат выходной величины логического диагностирования;

$Y_{Л}$ – входная величина для логического диагностирования.

Если объект имеет конечное количество состояний, то:

$$Z_{Лi} = f(Y_{Лi}), \quad (2.34)$$

где $Z_{Лi}$ – результат выходных величин логического диагностирования;

$Y_{Лi}$ – входные величины для логического диагностирования.

Чем больше параметров системы будет определено за одну проверку, тем быстрее будут выявлены причины отказа. Однако увеличение числа диагностических параметров значительно усложняет процесс диагностирования. Для решения задачи необходимо на основании данных о надежности объекта выявить связи между его наиболее вероятными неисправностями и числом используемых диагностических параметров.

Событие N (из-за чего произошел отказ системы) может произойти из-за неисправности A , а также из-за совокупности независимых неисправностей A_1, A_2, \dots, A_i , объединённых логическими операциями — «и» (\wedge) присутствуют одновременно, «или» (\vee) – присутствует одна из неисправностей обусловленная схожестью диагностических параметров, «не» (\neg) – присутствует неисправность, исключая возможность существования другой. Вывод события N по схеме «и» запишется следующим образом [44]:

$$A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_i \rightarrow N. \quad (2.35)$$

По схеме «или» запишется, как

$$A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_i \rightarrow N. \quad (2.36)$$

При выводе может использоваться любая совокупность логических операций:

$$A_1 \wedge A_2 \neg A_4 \rightarrow N. \quad (2.37)$$

Это выражение читается следующим образом: если имеем события A_1 и A_2 исключая A_4 , то в результате найдем событие N (из-за чего произошел отказ).

Однако не всегда наличие случайных независимых событий A_1, A_2, \dots, A_i в любом случае приводит к возникновению события N . В некоторых случаях выявить все факторы, влияющие на возникновение события N , невозможно, либо для выявления полной картины возникновения события N потребуются значительные ресурсы, что является неоправданным. Поэтому дополним правила логического вывода условием, при котором оно задействуется, — вероятностью выполнения правила $P (A \rightarrow N)$. Тогда вывод события N с вероятностью выполнения правила будем записывать, как

$$A \xrightarrow{P} N, \quad (2.38)$$

где P — вероятность выполнения правила.

Правило будет действовать, если выполнится неравенство $P (A \rightarrow N) \leq P_{\text{пл}}$, где $P_{\text{пл}}$ — параметр логического диагностирования, которое может принимать значения в интервале $(0, 1]$.

Получается:

$$P_{\text{пл}}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in Q \\ 0, & \text{если } x \notin Q \end{cases}, \quad (2.39)$$

где x — параметр неисправности;

Q — некоторое множество параметра неисправности, ограниченное условиями диагностирования.

Из теории надёжности известно, что если отказы элемента имеют случайный характер, т.е. наработка на отказ элемента имеет экспоненциальное распределение ($\nu=1$), то элемент не может быть профилактируемым. Обозначим степень принадлежности элемента x_i к множеству $R(x)$ — чем меньше значение коэффициента вариации ν , тем больше должно быть значение показателя $R(Q)$. Для формулы (2.33) степень принадлежности $P_{\text{пл}}(x)$ запишется, как правило:

$$P_{\text{пл}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } \nu(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot \nu(x), & \text{если } \nu(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, & \text{если } \nu(x) \leq 0,3 \end{cases}. \quad (2.40)$$

Тогда событие представим с помощью диапазона степеней принадлежности, который разобьем на три интервала, и каждому интервалу поставим в соответствие свою переменную (малое, среднее, большое). Запишем правила следующим образом:

ЕСЛИ $v_i(x) = \text{малое}$, ТОГДА $P_{л}(x) = \text{большое}$ (принимает значения от 0,71 до 1);

ЕСЛИ $v_i(x) = \text{среднее}$, ТОГДА $P_{л}(x) = \text{среднее}$ (принимает значения от 0,5 до 0,71);

ЕСЛИ $v_i(x) = \text{большое}$, ТОГДА $P_{л}(x) = \text{малое}$ (принимает значения от 0 до 0,5).

Здесь $v_i(x)$ – коэффициент вариации параметра неисправности; значение $v_i(x) = \text{малое}$ – используется не более 2 датчиков включительно; значение $v_i(x) = \text{среднее}$ – используется от 3 до 5 датчиков включительно; значение $v_i(x) = \text{большое}$ – используется более 5 датчиков.

Тогда получим выражение логического параметра:

$$P_{л}(x) = P_{пл}(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ если } v(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot v(x), \text{ если } v(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, \text{ если } v(x) \leq (0,3 \end{array} \right\}. \quad (2.41)$$

Если принять во внимание, что вероятностный метод использует опытно-статистические данные о функциональной зависимости параметров состояния в зависимости от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями, для каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома. Логический метод основан на косвенных признаках возникновения неисправности, событиях, предшествовавших возникновению дефекта (прохождении технического обслуживания, перечне операций ТО, применяемых материалах при ремонте и эксплуатации, режиме работы машины и т.д.) и последующем анализе. Логический метод поиска неисправностей, позволяющий определять по внешним признакам предполагаемую неисправность, используют для сложных конструктивных элементов. Такой метод не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора [41, 44, 122]. При создании вероятностно-логического метода мы получим модель, которая позволяет узнавать информацию о состоянии большинства

элементов системы одновременно, не прибегая к перебору проверок диагностических параметров элементов отдельно. Коэффициент этой модели:

$$K_{\text{вЛ}} = \left[\left[B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1 \dots z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\} \right] / \left[B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1 \dots z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\} \right] + \right. \\ \left. + \prod_{j=1}^n \left. \begin{array}{l} P(x_1^{\text{КР}} - x_1^{\text{Д}} = u_1 > 0) \\ P(x_2^{\text{КР}} - x_2^{\text{Д}} = u_2 > 0) \\ \dots \\ P(x_N^{\text{КР}} - x_N^{\text{Д}} = u_N > 0) \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ если } v(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot v(x), \text{ если } v(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, \text{ если } v(x) \leq 0,3 \end{array} \right\} \right]. \quad (2.42)$$

Реализация данной модели предполагает установку на автомобиль системы встроенного диагностирования для наиболее часто выходящих из строя элементов. Для дизельного двигателя таким элементом является топливная система высокого давления.

На примере двигателя это будет выглядеть следующим образом. При обнаружении снижения мощности после проведения экспресс-диагностирования или по заявке водителя автомобиль направляется на диагностирование двигателя. Согласно статистическим данным максимальную вероятность возникновения отказов имеет топливная система, поэтому системой самодиагностики с помощью накладного тензодатчика производится контроль процесса работы топливной аппаратуры. Это позволяет сравнить течение реального процесса работы топливной системы с эталонным. Информация о нарушении протекания процесса в том или ином элементе также может выводиться на дисплей в автоматическом режиме, что позволяет пользоваться прибором работнику, не имеющему высокой квалификации в области диагностирования. Данная методика позволяет экономить время на поиск неисправностей внутри топливной системы с любой вероятностью их возникновения, что качественно отличает предложенную модель от вероятностного метода, а также снижает влияние человеческого фактора по сравнению с логическим методом. Это позволяет применять предлагаемую вероятностно-логическую модель в системах внешнего и встроенного диагностирования на автомобилях одного или нескольких классов, а также типов подвижного состава.

В нашем случае получим:

$$K_{\text{вЛ}} = 1 / (1 + 0,95 / (0,95 * 0,95 * 0,25)) = 0,19.$$

Аналогично можно произвести расчет для каждого метода.

Если принять во внимание, что:

1) вероятностный метод использует опытно-статистические данные о функциональной зависимости параметров состояния от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями; для каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома;

2) логический метод основан на анкетировании водителя о косвенных признаках возникновения неисправности, событиях, предшествовавших возникновению дефекта, и последующем их анализе. Логический метод поиска неисправностей, позволяющий определять по внешним признакам предполагаемую неисправность, используют для сложных конструктивных элементов. Такой метод не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора, то при создании вероятностно-логической модели получим информацию о состоянии большинства элементов системы одновременно в виде построения графика, не прибегая к перебору проверок отдельных диагностических параметров элементов.

На примере двигателя это будет выглядеть следующим образом. При обнаружении снижения мощности системой самодиагностирования с помощью накладного тензодатчика производится контроль процесса работы топливной аппаратуры. Это позволяет сравнить течение реального процесса работы топливной системы с эталонным. Информация о нарушении протекания процесса в том или ином элементе также может выводиться на дисплей в автоматическом режиме, что позволяет пользоваться прибором работнику не имеющего высокой квалификации в области диагностирования.

Такая схема возможна как в стационарном, так и в мобильном варианте.

Для определения величины влияния стоимости введем коэффициент издержек вероятностно-логической модели поиска неисправностей.

Целевая функция издержек на профилактические воздействия без диагностирования элемента с помощью внешних средств имеет вид:

$$I_{\text{БД}} = l^{-1} [C_I \cdot Q_{\text{инп}}(l) + C_{II} \cdot Q_{\text{ир}}(l) + \Pi \cdot (t_n \cdot Q_{\text{инп}}(l) + t_p \cdot Q_{\text{ир}}(l))], \quad (2.43)$$

где C_d – затраты на одно диагностирование;

C_I и C_{II} – соответственно затраты на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента;

- Π – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем за 1 час эксплуатации;
 $Q_{ип}$ – автомобили, для которых не будет произведен профилактическое техническое обслуживание на пробеге ;
 $Q_{ир}$ – автомобили, для которых будет произведен аварийный ремонт;
 $t_{в1}$ – время на одно диагностирование;
 $t_{п}$ и $t_{р}$ – соответственно время, отведенное на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента.

Издержки на диагностирование с помощью встроенных систем диагностирования, основанных на вероятностно-логическом методе, определяют по формуле

$$I_{в-лд} = t^{-1} \left[(C_{всд} + C_{првсд}) + C_{п} \cdot Q_{ир} + \Pi \cdot t_{р} \cdot Q_{ир} \right], \quad (2.44)$$

где $C_{всд}$ – стоимость встроенной системы диагностирования;

$C_{првсд}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание встроенной системы диагностирования за срок ее службы.

Для определения величины влияния стоимости коэффициент издержек вероятностно-логического метода в общем виде можно записать, как

$$K_{и_в-л} = \frac{I_{в-лд}}{I_{бд}}, \quad (2.45)$$

где $I_{в-лд}$ – издержки вероятностно-логического диагностирования.

$I_{бд}$ – издержки без диагностирования.

Тогда коэффициент издержек для встроенной системы диагностирования определится по формуле

$$K_{и_в-л} = \frac{(C_{всд} + C_{првсд}) + C_{п} \cdot Q_{ир} + \Pi \cdot t_{р} \cdot Q_{ир}}{C_{1} \cdot Q_{ип} + C_{п} \cdot Q_{ир} + \Pi \cdot (t_{п} \cdot Q_{ип} + t_{р} \cdot Q_{ир})}. \quad (2.46)$$

Исходя из определенных нами коэффициентов (Таблица 2.2) вероятностно-логического метода рассмотрим стратегии диагностирования к автомобилям КАМАЗ с дизельными двигателями и многоплунжерными насосами.

Таблица 2.2 – Анализ значений коэффициентов моделей диагностирования

Модель	Ки	Квл
Без диагностирования	1	1
Диагностирование с помощью внешних средств	0,71	0,78
Диагностирование с помощью систем встроенных датчиков	0,62	0,46
Диагностирование логическим методом	0,54	0,65
Диагностирование с помощью бортовых систем контроля	0,25	0,81
Использование вероятностно-логической модели диагностирования	0,11	0,19

Анализируя таблицу, видим, что наиболее приемлемым методом в нашем случае является диагностирование с применением вероятностно-логической модели, что позволяет не только существенно снизить затраты, но и отыскать причину неисправности.

Вывод по пункту 2.4.2. Правила поиска неисправностей можно модифицировать в коэффициенты вероятностно-логической модели, что позволяет оценить различные стратегии подходов диагностирования и выбрать оптимальный для каждого АТП. Выведенные коэффициенты позволяют нам описать сложный процесс между параметрами, а также создать комбинированную методику принятия решений с использованием конечных данных в виде решения коэффициентов в вероятностно-логической модели. Анализ значений коэффициентов позволяет нам выбрать исходные данные для эксперимента.

2.5. Выводы по второй главе

1. При проведении теоретических исследований выдвинуто предположение, что по мере эксплуатации автомобиля и увеличения его пробега с начала эксплуатации, стоимость работ по выявлению отказов и стоимость восстановления работоспособности автомобиля не остаются постоянными, а возрастают. При этом стоимость восстановления работоспособности увеличивается более интенсивно, чем стоимость диагностирования.

2. Диагностирование дизелей должно содержать в себе оптимальное соотношение вероятностной и логической составляющей предложенной модели диагностирования.

3. Разработаны коэффициенты вероятностно-логической модели для изучения рационального диагностирования дизелей разными стратегиями.

4. Разработаны общие принципы поиска неисправностей, отличающиеся от существующих подходов тем, что определение неисправностей осуществляется при помощи внутреннего диагностирования с возможным последующим перебором.

5. Предложена вероятностно-логическая модель поиска неисправностей, преимуществом которой является количественная характеристика перехода от вероятностного к логическому методу поиска неисправностей, а также известен вклад каждого элемента в достижение минимальных удельных затрат группы элементов, что даёт возможность обоснованно принимать решение о неисправности того или иного элемента.

6. Теоретически установлено, что параметры надежности всей системы ниже параметров надежности любого из ее элементов.

7. Анализ коэффициентов позволяет принимать необходимые решения при использовании вероятностно-логической модели на каждом АТП.

Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Общая методика исследований

Экспериментальные исследования проводились с целью сбора данных для формирования модели эксплуатационной надёжности, а также практической апробации теоретической методики, описанной во второй главе. Для этого эксперимент проводился на двух различных предприятиях автомобильного транспорта: ФГУП «УДС № 5 при Спецстрое России» (г. Рязань) и ООО «Опора +» (г. Пенза).

Структурная схема методики экспериментальных исследований приведена на рисунке 3.1. В соответствии с этой методикой на первом этапе производился выбор и обоснование объектов исследования, выбор плана проведения испытаний и определение объёма статистических наблюдений.



Рисунок 3.1 – Структурная схема методики экспериментальных исследований

На втором этапе производился анализ организации работы предприятий, на которых проводился эксперимент, их документооборота, систем учёта и информационного обеспечения. Для проведения экспериментальных исследований на предприятии должен быть налаженный документооборот, позволяющий получать достоверную информацию по отказам и неисправностям, выполняемым работам ТО и ремонта, их трудоёмкости. Производственно-техническая база предприятия, на котором проводится эксперимент, оснащение технологическим оборудованием и инструментом, нормативно-технологическое обеспечение должно обеспечивать качественное и своевременное выполнение ТО и ремонта испытуемого объекта.

На третьем этапе на основе теоретических исследований определялся качественный состав необходимой информации, которую нужно получить в ходе пассивного эксперимента. Состав этой информации следующий:

- количественные характеристики безотказности элементов объектов эксплуатационных испытаний;
- количественные характеристики ремонтпригодности элементов объектов эксплуатационных испытаний;
- данные о стоимости элементов структуры объектов эксплуатационных испытаний;
- экспертные знания о формировании отказов и неисправностей, о взаимосвязи элементов структуры и объектов эксплуатационных испытаний.

Система информационного обеспечения методики экспериментальных исследований максимально унифицировалась с системой информационного обеспечения, действующей на предприятиях, на которых проводился эксперимент.

Пассивный эксперимент заключался в получении информации о безотказности и ремонтпригодности автомобилей КАМАЗ.

Затем проводилась подготовка данных для проектирования программного продукта.

Вывод по пункту 3.1. Необходимо создать экспериментальный массив из отказов для элементов автомобилей, использующих планово-предупредительную и вероятностно-логическую стратегию на малых АТП, и следовать пунктам общей методики исследования.

3.2. Обоснование плана и объема исследований

Произведем обоснование плана и объёма испытаний. Сложившаяся на автомобильном транспорте система сбора и обработки информации по эксплуатационной надёжности основана на системе ГОСТов. Существует ряд рекомендательных документов, которые отражают этапы создания подконтрольных выборок автомобилей, их объёмы, требования к ним и т.д.

Эти документы послужили основой для разработки методики эксплуатационного эксперимента.

На автомобильном транспорте часто используют план испытаний NRT по ГОСТ 27.502, где N – число объектов в выборке; R – отказавшие изделия не восстанавливаются, а заменяются; T – наработка на критерий прекращения испытаний. В плане NRT неизвестными являются две величины – число объектов наблюдений и величина критерия прекращения испытаний. Согласно ГОСТ 27.502 объём выборки зависит от вида закона распределения наработки на отказ, доверительной вероятности β и относительной ошибки δ .

Наработки на отказ в гарантийный период по данным обычно подчиняются экспоненциальному закону распределения или близкому к нему. Коэффициент вариации ν в этом случае равен 0,8–1,2. Экспоненциальное распределение является частным случаем распределения Вейбулла, поэтому для автомобилей при определении объёма подконтрольной выборки за основное распределение берём распределение Вейбулла.

Тогда N будет определяться по параметрическому методу по формуле:

$$(\delta + 1)^b = \frac{2N}{\chi_{1-\beta; 2N}^2}, \quad (3.1)$$

где δ – относительная ошибка;

b – параметр формы распределения Вейбулла;

$\chi_{1-\beta; 2N}^2$ – квантиль распределения, соответствующей доверительной вероятности β и числу степеней свободы $2N$.

Коэффициент вариации ν связан с параметром формы b распределения. По данным коэффициент вариации ν распределения Вейбулла находится в интервале 0,33–1,0. Это соответствует параметру формы b в пределах 0,3–0,5–1,0.

Величина доверительной вероятности β выбирается из ряда 0,8, 0,9, 0,95, 0,99. Для нашего случая примем $\beta = 0,9$. Воспользовавшись таблицами, найдем величину N зависимости от относительной ошибки δ .

При $\delta = 0,1$ минимальный объём выборки N для проведения эксплуатационных испытаний равен 46.

На случай непредвиденных ситуаций при подконтрольной эксплуатации и для повышения точности результатов минимальный объём выборки рекомендуется увеличивать на 5 %. Поэтому увеличим исходную расчётную минимальную выборку. Примем окончательный объём выборки не менее 48 для проведения испытаний на безотказность автомобилей.

Выбор топливной системы в качестве предмета исследования объясняется следующими причинами. Топливная система является относительно

сложным агрегатом, однако значительно более простым, чем двигатель, что облегчает анализ её надёжности.

Автомобили, на которых была установлена встроенная система диагностирования, выполняли перевозку строительных материалов и сыпучих грузов в г. Пензе и г. Рязани. В целом эксплуатация автомобилей КАМАЗ поводилась в соответствии с «Руководством по эксплуатации» и «Положением о техническом обслуживании и ремонте автомобилей». Техническое обслуживание выполнялось в полном объёме. Замена масла производилась регулярно.

Вывод по пункту 3.2. Согласно подконтрольной выборке нам необходимо по каждому направлению произвести 48 испытаний на безотказность автомобилей и сделать отбор для дальнейшего анализа с помощью вероятностно-логической модели.

3.3. Общее назначение и цели выполнения экспериментальных исследований

В процессе проведения экспериментальных исследований по сбору статистического материала по отказам элементов автомобилей КАМАЗ, кроме отказов по двигателю, рассматривались отказы по трансмиссии, ходовой части, тормозной системе, рулевому управлению и электрооборудованию.

Среди всех вышедших из строя элементов отказы по двигателю, трансмиссии, ходовой части, тормозной системе, рулевому управлению и электрооборудованию распределились следующим образом: двигатель – 39 %, трансмиссия – 18 %, электрооборудование — 9 %, тормозная система – 16 %, рулевое управление – 3 %, гидравлическая система — 6 %, кузов — 1 %.

Собранные статистические материалы позволили выявить, что значительная часть отказов по своим проявлениям и диагностическим показателям указывает на отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива. Вместе с тем более детальная обработка материалов и проведенные работы по диагностированию и выявлению причин неисправностей позволила сделать заключение, что 39 % отказов действительно относятся к отказам по двигателю, а 38,5 % из них – отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива.

Так, например, практика работы с автомобилями КАМАЗ позволила выявить, что частый ремонт ТНВД приводит к выходу из строя трубопровода высокого давления в 7 % случаев. Однако эти неисправности устраняются небольшими разборочно-сборочными работами и не требуют технических воздействий на топливную систему высокого давления.

Отказы по ходовой части в очень большой степени связаны с условиями эксплуатации и пробегом автомобилей. Анализ отказов и их

распределение по элементам ходовой части позволили выявить, что около 50 % отказов приходится на неисправности, связанные с выходом из строя задних рессор и реактивных штанг; по 10 % – выход из строя балки передней оси и амортизаторов передней оси, 20 % – передних рессор.

Учитывая, что количество отказов возрастает с увеличением пробега автомобиля с начала эксплуатации, был проведен специальный анализ имеющихся статистических данных, который позволил установить зависимость нарастания отказов от года эксплуатации автомобиля и пробега. Исходные данные были получены в результате обработки статистической информации, собранной в Пензе и Рязани.

Анализ отказов трансмиссии дал возможность получить их распределение. При этом в процессе эксплуатации автомобилей наиболее часто наблюдаются отказы межосевого карданного вала (36,4 %), синхронизаторов делителя, главной передачи среднего моста (по 18,2 %).

Третья позиция по количеству отказов (9,1 %) приходится на привод спидометра, пневмогидроусилитель, подшипник выжимной. Обычно наибольшее их количество (2/3) вызвано работой в тяжелых условиях эксплуатации.

Тормозная система у большинства грузовых автомобилей пневматическая, тем не менее наибольшее количество отказов (по 23,5 %) приходится на тормозные накладки, 17,6 % приходится на компрессор двухцилиндровый. По 11,8 % выходов из строя приходится на тормозной барабан, разжимные кулаки и энергоаккумулятор. Кронштейн энергоаккумулятора, трубопроводы, главный тормозной кран и опорный диск суппорта дают по 7,1 % отказов.

Отказы и их распределение по элементам электрооборудования позволили выявить, что по 25 % отказов приходится на неисправности, связанные с выходом из строя генераторов, стартера, проводки рамной, электромотора отопления кабины.

Анализ отказов гидравлического привода подъемом кузова показал, что в процессе эксплуатации автомобилей наиболее часто наблюдаются отказы насоса НШ-32 (80 %), и 20 % приходится на выход из строя цилиндра гидроподъемника.

С целью получения дополнительной информации об отказах систем управления работой двигателей и уточнения исходных статистических материалов вторая часть экспериментальных исследований проводилась в фирменных сервисных центрах технического обслуживания автомобилей КАМАЗ.

Эксплуатируемые в гг. Пензе и Рязани грузовые автомобили проходят работы по техническому обслуживанию, диагностированию и ремонту на автотранспортных предприятиях.

Вместе с тем при выполнении исследований необходимо было провести изучение отказов элементов топливной системы и выявить основные причины их возникновения. В связи с изложенным для выполнения работы потребовалось провести сбор статистических данных по отказам и неисправностям элементов дизельных топливных систем автомобилей КАМАЗ и МАЗ при их эксплуатации в различных условиях.

Цель проведения экспериментальных исследований преследовала выявление наиболее слабых элементов дизельных топливных систем, определение их среднего ресурса в эксплуатации и степени влияния на работоспособность всей системы, разработку мероприятий по выявлению и отказов при эксплуатации.

Дополнительно при выполнении исследований необходимо было провести сравнение статистических материалов при эксплуатации автомобилей в различных условиях.

В ходе эксперимента было важно учесть климатические условия, обеспеченность сервисных предприятий достаточным технологическим оборудованием и квалифицированным ремонтным персоналом. По этим причинам для экспериментальных исследований поставлена задача о проведении эксплуатационных исследований на автотранспортных предприятиях гг. Пензы и Рязани.

Вывод по пункту 3.3. Собранные статистические материалы показывают, что значительная часть отказов по своим проявлениям и диагностическим показателям указывает на отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива. Необходим дальнейший анализ с обоснованными характеристиками объекта исследования и методики проведения исследований.

3.4. Характеристика объекта исследований и методика проведения исследований

В начальный период при проведении экспериментальных исследований в качестве объекта принята дизельная топливная аппаратура грузовых автомобилей российского и белорусского производств КАМАЗ.

Анализ парка дизелей в нашей стране показывает, что подавляющее большинство их оборудовано системами старого образца, более того, новые грузовые автомобили, выпускаемые в нашей стране, оборудуются механическими многоплунжерными ТНВД и позволяют выполнять нормы токсичности Евро I, II.

По этим причинам в процессе сбора статистических материалов потребовалось анализировать топливную систему в целом и учитывать конструкционные различия между ними. При этом объект исследований (топливная система) рассматривался как система, состоящая из самого

ТНВД и его устройств, представляющих прецезионные пары и исполнительные устройства.

С целью получения наибольшего объема информации об исследуемых объектах дизельной топливной системы грузовых автомобилей методикой исследований предполагалось провести изучение всех обращений на АТП по грузовым автомобилям российского производства при отказах элементов дизельной топливной системы.

Методика исследований предполагала регистрацию моделей автомобилей, моделей (типов) двигателей, года выпуска автомобилей, пробега с начала эксплуатации, характеристик проявления отказов при эксплуатации, определение возможных причин появления отказов, а также дополнительных данных, позволяющих дать углубленную характеристику выявленному отказу элементов дизельной топливной системы.

Методика экспериментальных исследований должна была также выявить особенности в отказах элементов дизельной топливной системы при эксплуатации автомобилей в условиях России.

К рассмотрению принимались только автомобили АТП (без учета восстановления отказов в ремонтных мастерских), поэтому основная выборка автомобилей составлена из подвижного состава, выпущенного в 2003–2005 годах.

Вывод по пункту 3.4. Предложенная методика исследований в полной мере позволит узнать, когда и почему происходит отказ в топливной системе дизеля и научит правильно применять статистические данные для анализа отказов элементов дизельной системы.

3.5. Анализ статистических данных по отказам элементов дизельной топливной системы при эксплуатации автомобилей КАМАЗ в условиях Пензы и Рязани

Экспериментальные исследования по сбору, анализу и обработке данных об отказах и неисправностях системы питания дизельным двигателем, выполненные в г. Пензе и г. Рязани, позволили сделать ряд выводов, характеризующих особенность эксплуатации автомобилей на территории РФ.

Данные, приведенные в приложении 1, указывают на несущественные различия в появлении отказов в процессе эксплуатации автомобилей в условиях г. Пензы и г. Рязани.

Следовательно, фактическое количество отказов и неисправностей в г. Пензе и г. Рязани примерно одинаковое.

Анализ условий хранения и пуска автомобилей в г. Пензе позволил установить следующие данные:

- 1) на открытых организованных стоянках – 85 %;
- 2) в закрытых неотапливаемых гаражах и боксах – 15 %;

Анализ условий хранения и пуска автомобилей в г. Рязани позволил установить следующие данные:

- 1) на открытых организованных стоянках – 78 %;
- 2) в закрытых неотапливаемых зонах ТО и ТР – 22 %;

В ходе выполненных исследований получены данные о пробегах, на которых происходили отказы элементов в процессе эксплуатации автомобилей КАМАЗ (приложение 1, 2).

Выявленные отказы по автомобилям позволили получить закономерности распределения отказов по пробегам. При этом для элементов, отказы по которым имели небольшое количество, обработка информации велась в условиях ее недостатка. В результате выполненных расчетов для элементов топливной системы получены следующие показатели характеристик надежности (Таблицы 3.1, 3.2), (Рисунок 3.2, 3.3).

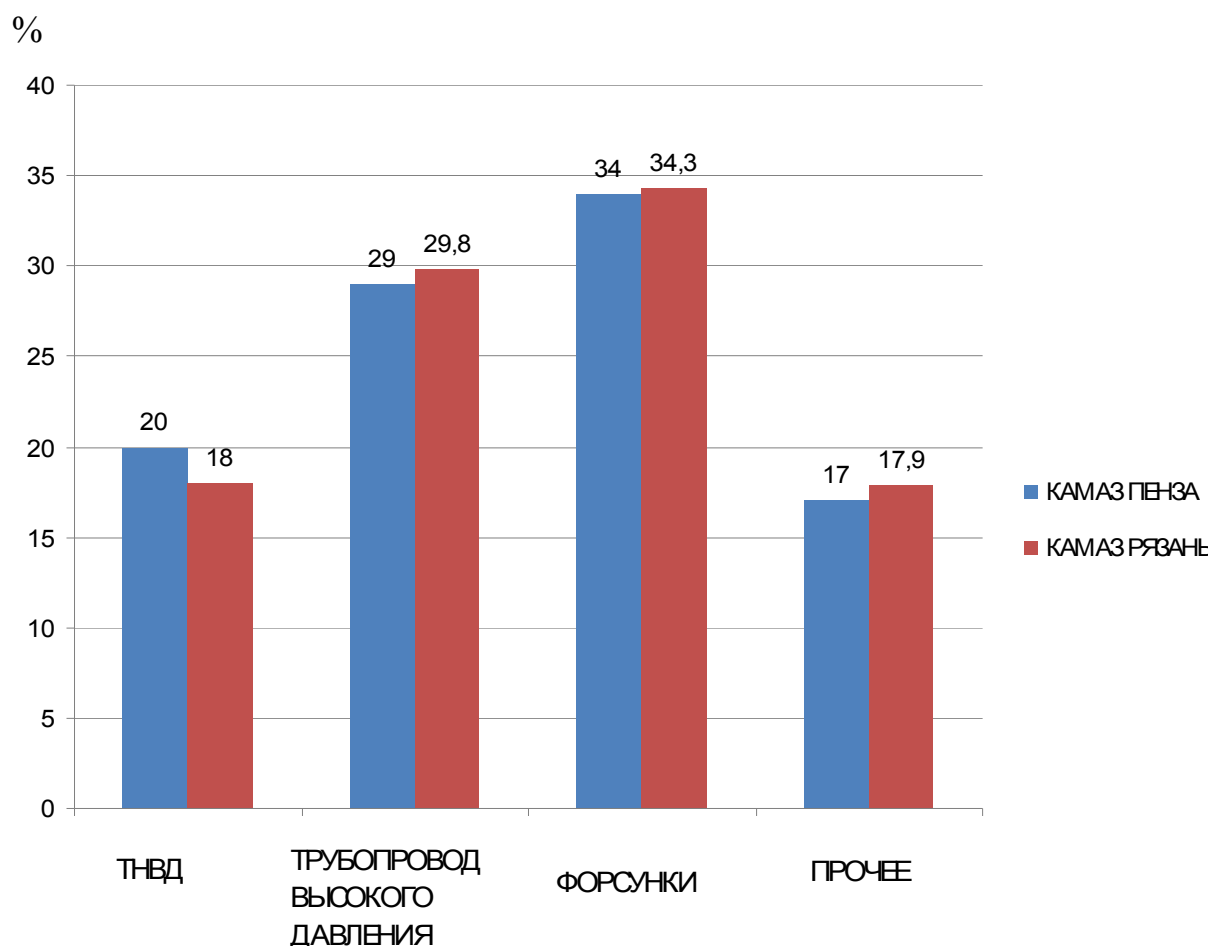


Рисунок 3.2 – Диаграмма основных неисправностей КАМАЗ для планово-предупредительной системы

Таблица 3.1 – Отказы дизельной топливной системы для планово-предупредительной системы

№ п/п	Элементы топливной системы	Процентное содержание отказа	
		г. Пенза	г. Рязань
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	7,1	6,7
1.2	пружина толкателя	2,8	2,3
1.3	пружина нагнетательного клапана	2,6	2,4
2	Нагнетательный трубопровод высокого давления:	7,6	6,7
2.1	крепление трубопроводов	16,2	16,4
2.2	трубки высокого давления	12,8	13,4
3	Форсунки:		
3.1	пружина	11,3	11,2
3.2	игла	12,3	11,9
3.3	крепление форсунки	10,4	11,2
4	Прочее	17	17,9

Таблица 3.2 – Отказы дизельной топливной системы

№ п/п		Процентное содержание отказа	
		г. Пенза	г. Рязань
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	7,1	6,7
1.2	пружина толкателя	2,8	2,3
1.3	пружина нагнетательного клапана	2,6	2,4
2	Нагнетательный трубопровод высокого давления:	7,6	6,7
2.1	крепление трубопроводов	16,2	16,4
2.2	трубки высокого давления	12,8	13,4
3	Форсунки:		
3.1	пружина	11,3	11,2
3.2	игла	12,3	11,9
3.3	крепление форсунки	10,6	11,2
4	Прочее	17,2	17,9

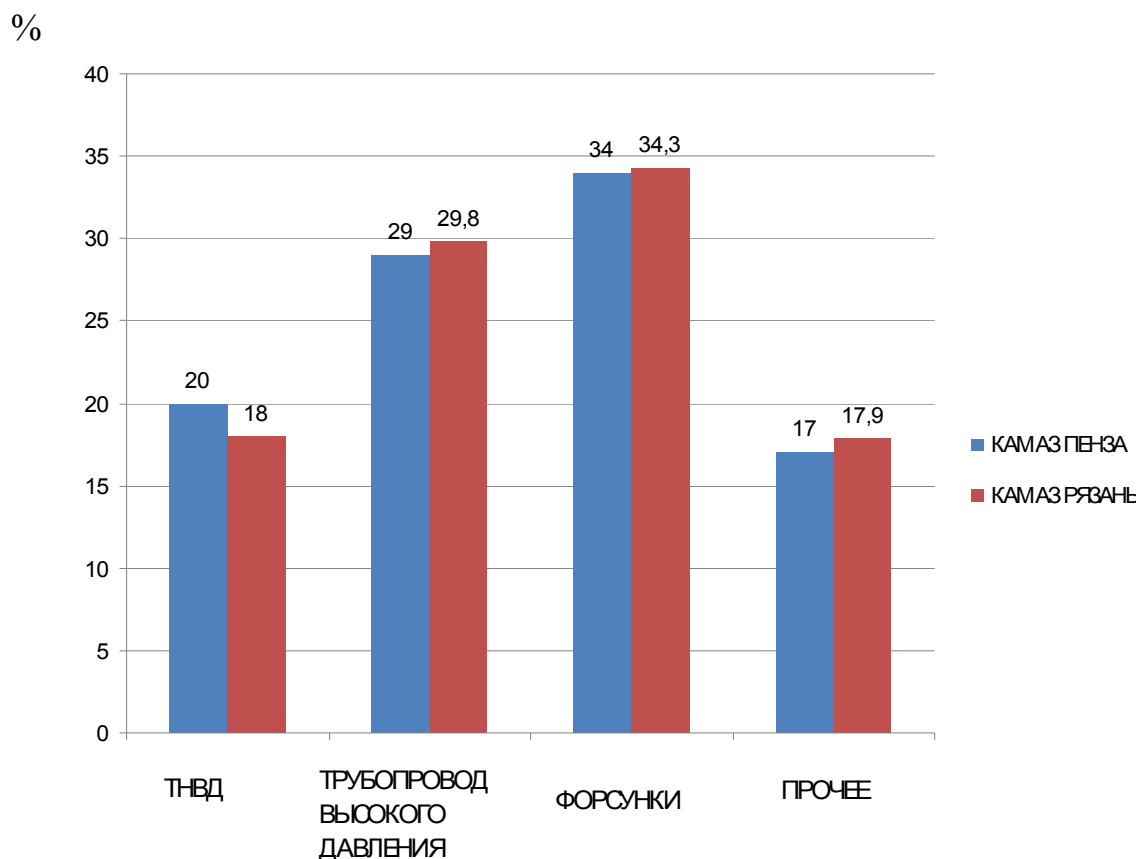


Рисунок 3.3 – Диаграмма основных неисправностей автомобиля КАМАЗ для вероятностно-логической методики

Средняя наработка на отказ:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (3.2)$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}. \quad (3.3)$$

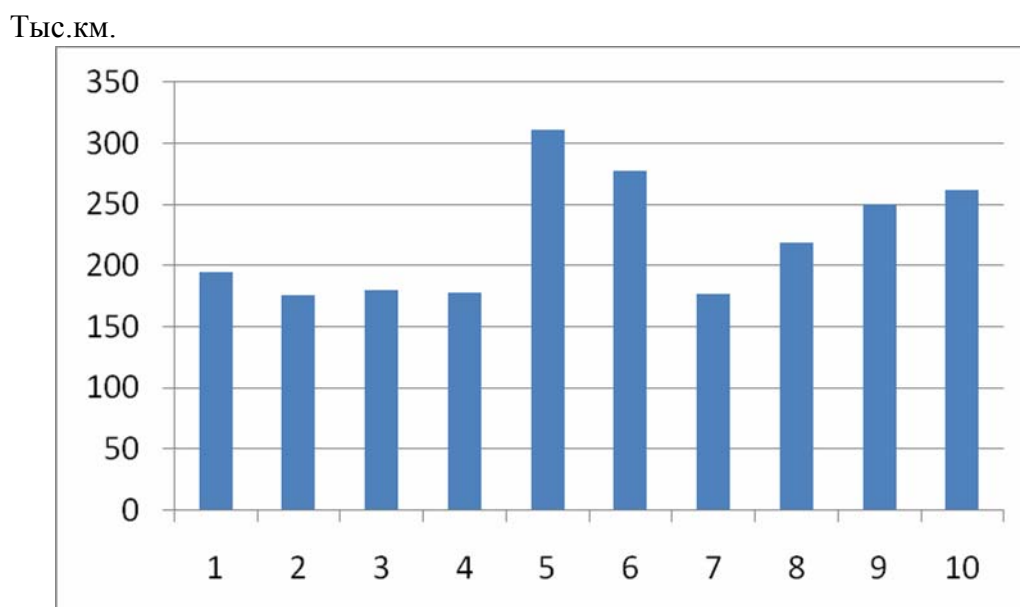
Коэффициент вариации:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (3.4)$$

На основе указанных формул можно определить среднюю наработку на отказ, а также среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации.

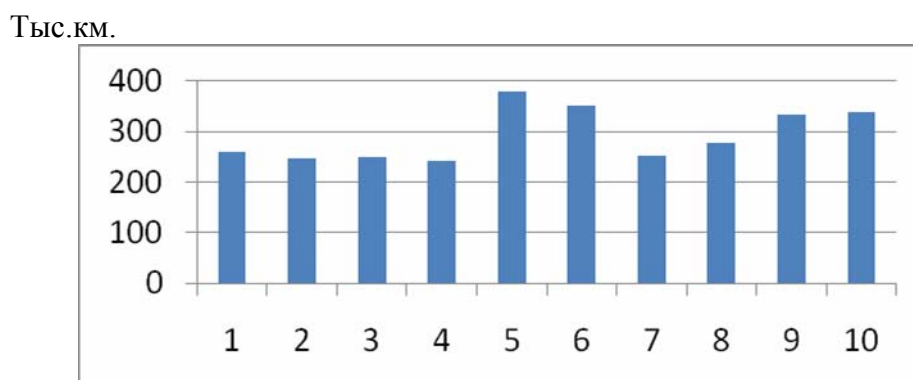
Более подробные данные приведены в приложении 3–8; здесь укажем среднюю наработку на отказ по основным элементам топливной системы.

Статистические и информационные данные, полученные в ходе пассивного эксперимента, позволяют судить об отказах элементов автомобилей (Рисунок 3.4, 3.5).



1 – плунжерная пара; 2 – пружина толкателя; 3 – пружина нагнетательного клапана; 4 – нагнетательный клапан; 5 – крепление топливопроводов; 6 – трубы высокого давления; 7 – пружина форсунки; 8 – игла форсунки; 9 – крепление форсунки; 10 – прочее

Рисунок 3.4 – Средняя наработка на отказ топливной системы автомобилей КАМАЗ для планово-предупредительной системы



1 – плунжерная пара; 2 – пружина толкателя; 3 – пружина нагнетательного клапана; 4 – нагнетательный клапан; 5 – крепление топливопроводов; 6 – трубы высокого давления; 7 – пружина форсунки; 8 – игла форсунки; 9 – крепление форсунки; 10 – прочее

Рисунок 3.5 – Средняя наработка на отказ топливной системы автомобилей КАМАЗ для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

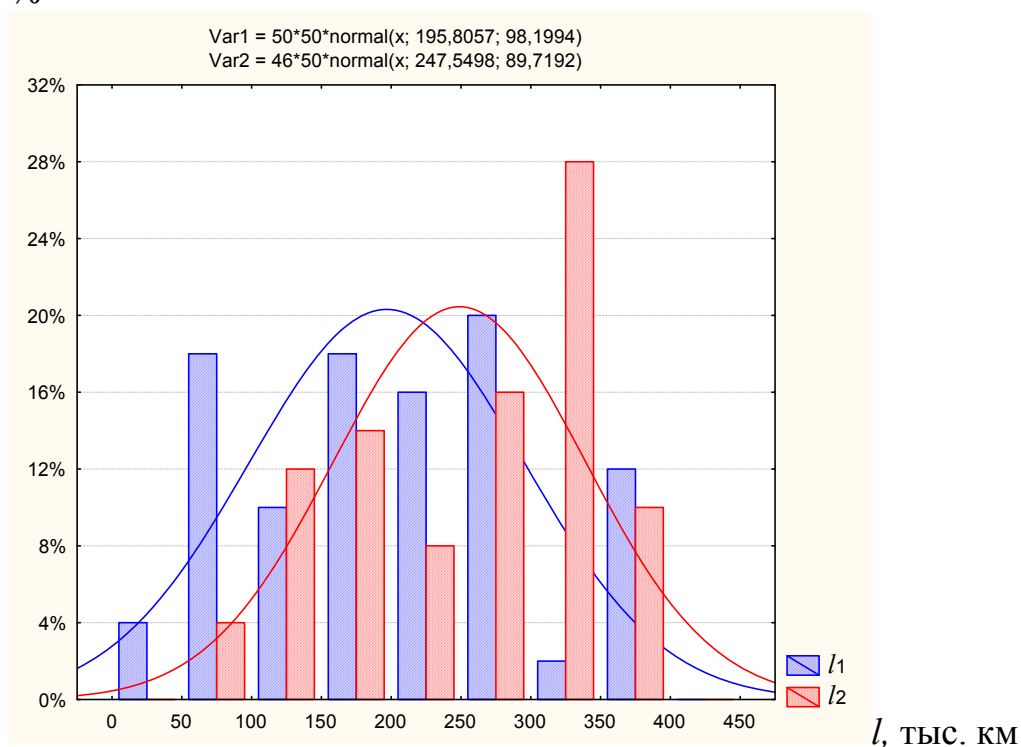
Как видно из приведенных выше данных о надежности работы элементов топливной системы в г. Пензе и г. Рязани, показатели закономерностей распределения отказов указывают, что они могут быть описаны нормальным законом распределения.

Анализ наработки на отказ ТНВД в зависимости от выбора стратегии обслуживания показан на рисунке 3.6.

В результате проведенных исследований по сбору статистической информации об отказах элементов дизельной топливной системы грузовых автомобилей КамАЗ получены данные о средней наработке на отказ каждого из элементов; проведено сравнение результатов, собранных в г. Пензе и г. Рязани. Установлена доля отказов каждого из элементов дизельной топливной системы, что в дальнейшем может быть использовано для нормирования потребности в запасных частях для обеспечения работоспособности системы.

Установлено, что существуют следующие основные отказы: топливный насос высокого давления, трубопровод высокого давления, форсунки, прочее.

$f(l)$, %



1) – для планово-предупредительной системы; 2) – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Рисунок 3.6 – Распределение величины наработки на отказ ТНВД в зависимости от выбора системы диагностирования

С использованием статистических данных определена зависимость ухудшения показателей, работоспособности системы питания дизельного двигателя.

Стоимость выполнения контрольно-диагностических работ с ростом пробега автомобиля также как и стоимость устранения отказа, возрастает.

Вывод по пункту 3.5. Необходим сравнительный анализ результатов и обработка информационного материала со статистическими данными в области отказов топливной аппаратуры дизелей.

3.6. Сравнительный анализ результатов исследования поиска неисправностей

3.6.1. Определение времени простоя автомобилей

Для построения зависимостей необходимо провести моделирование случайной величины. Определение зависимости эксплуатационной надежности от функции наработки на отказ необходимо составить исходя из определенных нами наиболее значимых элементов топливной аппаратуры на отказ, а именно: плунжерной пары; подпружиненного нагнетального клапана; иглы; пружины.

Представим функции распределения от датчика $F(l)$, где l будем представлять как наработку от шести до десяти точек, так, чтобы первая из них была равна нулю и являлась началом отсчета. Для построения данной функции требуется определить максимально до девяти значений на оси значений аргумента. Первое l_0 и последнее l_{10} значение, при котором $F(l)$ равна 0. Этим достигается повышение быстродействия вычисления значения элементов топливной системы на отказ.

Значение величины l вычисляем, используя принцип подобия, по формуле

$$l = \frac{(R - l_{i-1})(l_i - l_{i-1})}{F - F_{i-1}} + l_{i-1}, \quad (3.5)$$

где R – значение величины l , спроецированной по принципу подобия на интервале $[0, 1)$ (Рисунок 3.6);

F_i и F_{i-1} – значения функции распределения, в интервал которых попало число R ;

l_i и l_{i-1} – значения наработки, на которой происходит фиксация показаний датчика, соответствующих значениям F_i и F_{i-1} ;

l – значение определяемой наработки автомобиля.

Метод нахождения значений функции можно определять вычислением или задавать экспертно, чтобы получить более широкие возможности для определения наработки на отказ.

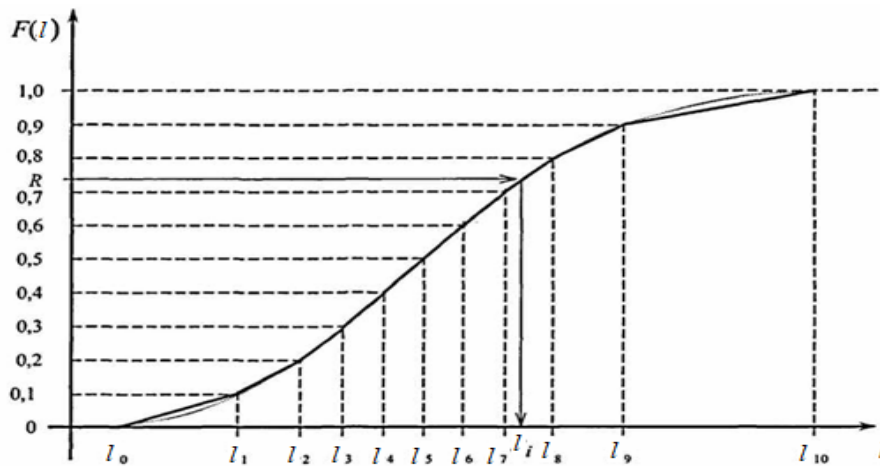


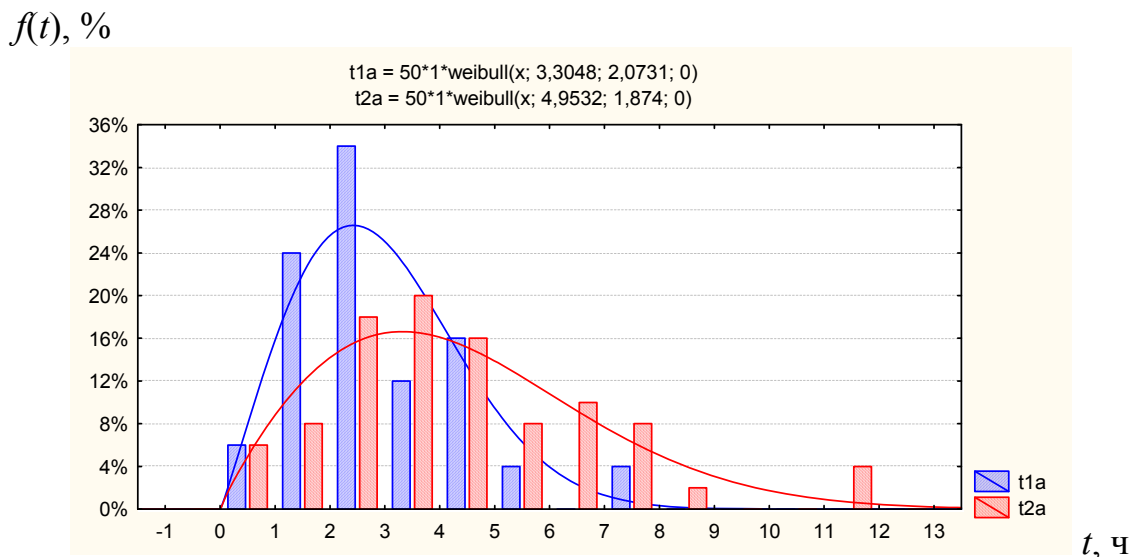
Рисунок 3.7 – Схема построения функции от значений датчика

Данная функция позволит нам смоделировать наработку на отказ и узнать наработку l и время простоя t .

По предложенным элементам топливной системы сформируем графики на один автомобиль.

В первую очередь нас интересует, насколько перспективна вероятностно-логическая модель со встроенным датчиком для диагностирования в сравнении с существующей на предприятии системой обслуживания.

Также необходимо проанализировать простой автомобиля от используемого способа диагностирования; для этого опираясь на теоретическую функцию и принцип подобия, по формуле (3.5) формируем график (Рисунок 3.8, приложение 7) величины простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль, используя показатель времени.

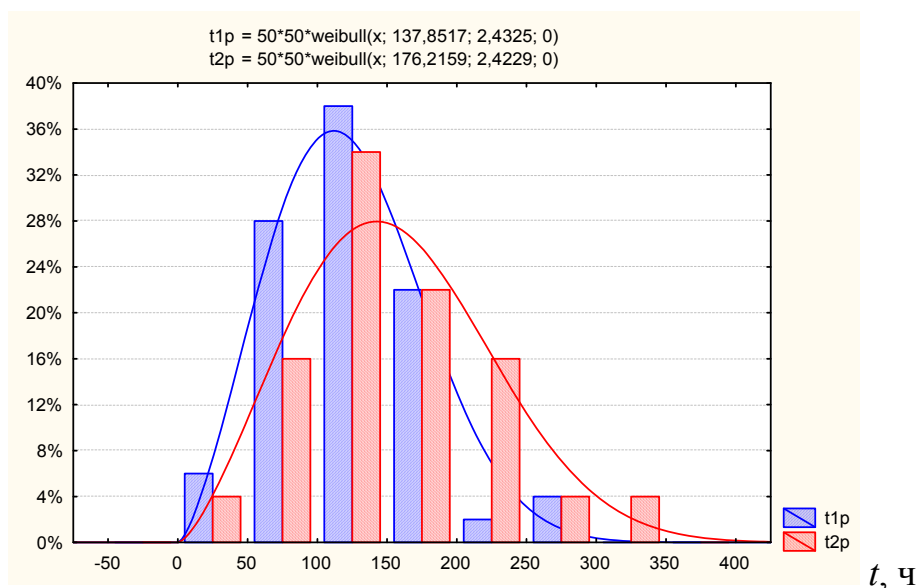


1 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей; 2 – для планово-предупредительной системы

Рисунок 3.8 – Распределение времени простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль

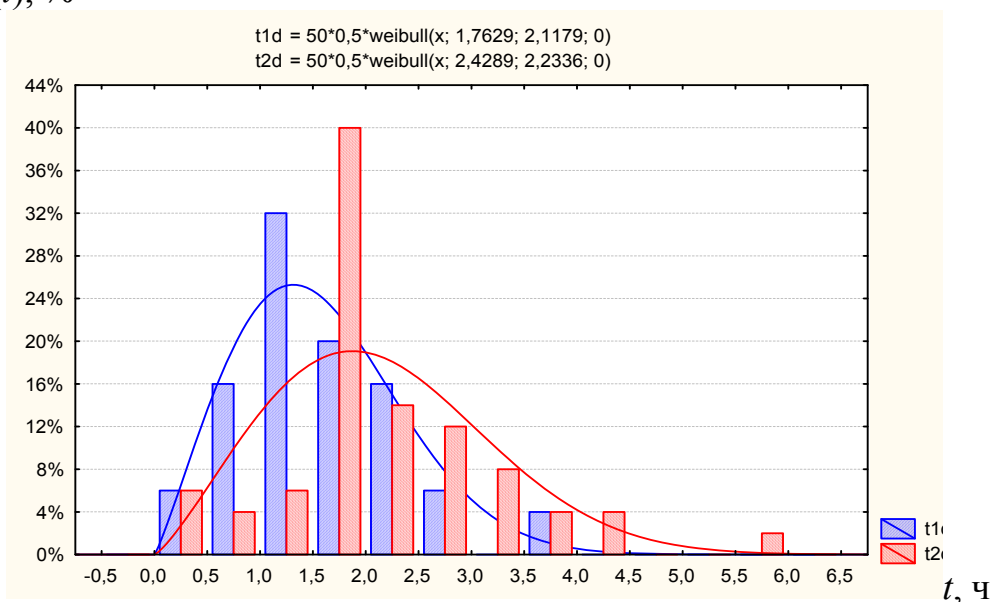
По парку автомобилей, для которых эксперимент проводился, суммарное время простоя составило следующие зависимости (Рисунок 3.9, 3.10).

$f(t)$, %



1 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей; 2 – для плано-предупредительной системы
 Рисунок 3.9 – Распределение времени простоя по ТНВД до отказа элемента на весь парк испытуемых

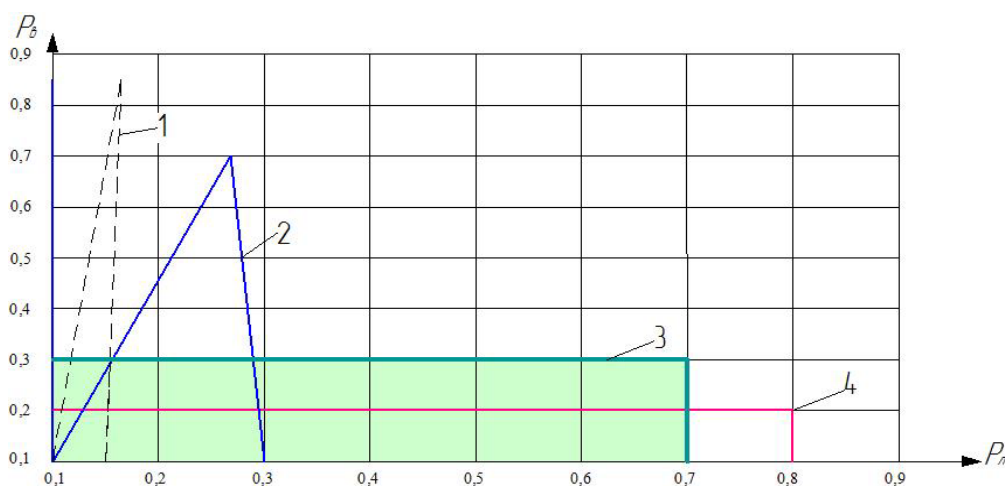
$f(t)$, %



1 – для плано-предупредительной системы; 2 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей
 Рисунок 3.10 – Распределение времени простоя по ТНВД до отказа элемента на один день эксплуатации по парку испытуемых

Величины простоя по форсунке от отказа элемента на один автомобиль, используя показатель времени, приведены в приложении 8.

На данный момент предприятие использует планово-предупредительную стратегию обслуживания по данным, предложенным заводом-изготовителем. Нормативы корректируются согласно «Положению о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта». Для оценки вероятностно-логического метода сравним данные с предприятия до внедрения встроенного диагностирования и после (Рисунок 3.11).



- 1 – без диагностирования; 2 – для планово-предупредительной системы;
 3 – наиболее полезная область сочетания вероятностного P_v и логического P_l параметра;
 4 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Рисунок 3.11 – Распределение коэффициентов по исследуемым методам диагностирования

Вывод по пункту 3.6.1. Введенная система вероятностно-логической модели с встроенным диагностированием на предприятии существенно улучшает показатели по сокращению времени простоя на 15–18 % по сравнению с действующей на предприятии планово-предупредительной системой обслуживания автомобилей.

3.6.2. Анализ удельных затрат на поиск неисправностей автомобилей КАМАЗ

Современные ТС можно рассматривать как сложные системы, и причины возникновения отказов носят различный характер. Для большинства технических систем грузовых автомобилей характерны три вида зависимостей интенсивности отказов от временного промежутка, которые соответствуют трем состоянием этих систем (Рисунок 3.12).

Первый вид характеристики (участок «1») отмечен монотонным уменьшением интенсивности отказов. В этом периоде проявляются дефекты технологии и изготовления, которые не свойственны конструкции.

Второй вид характеристики (участок «2») обусловлен константной интенсивностью отказов. В этот период, как правило, возникают внезапные отказы конструкции. Количество, а также частота их возникновения зависят от наработки.

Третий вид характеристики (участок «3») отражает постоянное возрастание интенсивности отказов. Это соответствует периоду износа, вызванного процессами старения. В этот период возникают, главным образом, постепенные отказы.

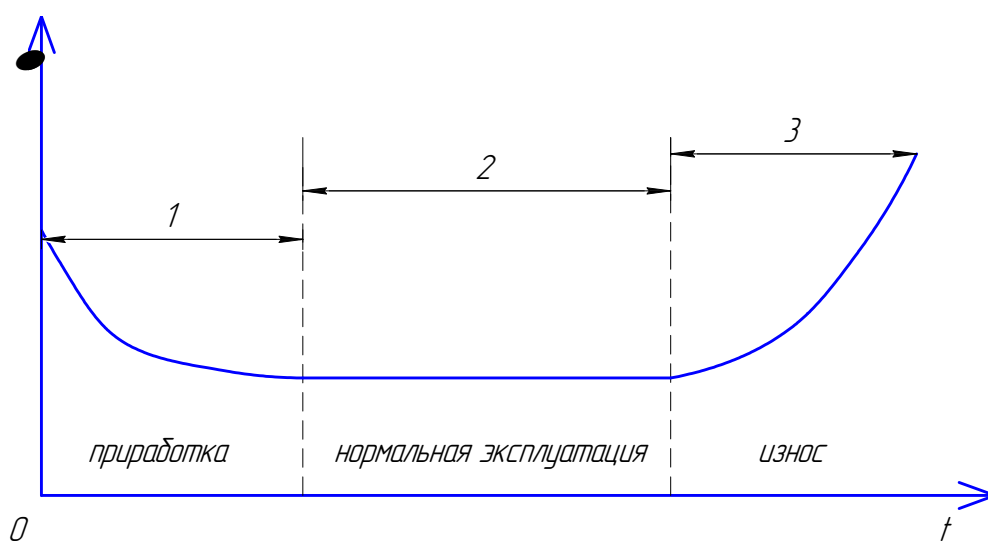
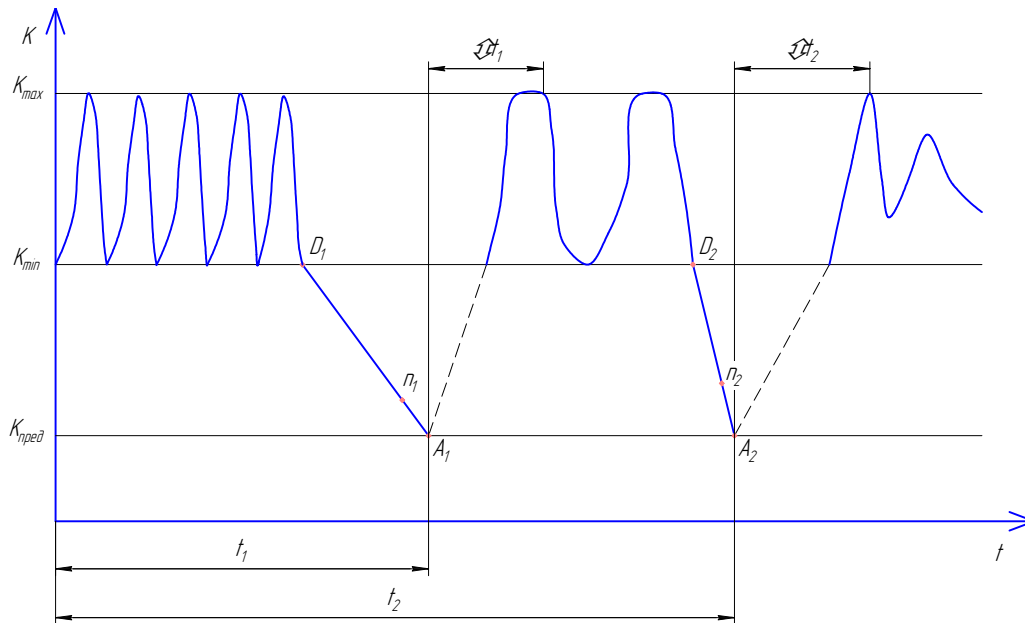


Рисунок 3.12 – Зависимость интенсивности отказов от времени

Рассматривая ТС с точки зрения системы, предложенной на рисунке 3.6, можно отметить тот факт, что на всем его протяжении заметно изменение качества объекта (уменьшение/увеличение), происходящее по причине отказов. Поэтому можно предложить модель, которая бы описывала, что влияет на надежность и достижение автомобилем заявленного заводом-изготовителем ресурса (Рисунок 3.13).

Проанализируем удельные затраты на ремонт C_p , руб./1000 км, и удельные затраты на оплату услуг C_y , руб./1000 км. По предприятию их средняя цена примерно составляет 55 рублей 80 копеек. Далее, исходя из указанных в пункте 3.5 настоящей диссертации средних наработок на отказ и информационных данных приложений 1–6, можно посчитать средние показатели по удельным затратам: на ремонт до введения вероятностно-логической модели $C_p=52,30$ руб., после введения вероятностно-логической модели $C_p=35,80$ руб. (Рисунок 3.14).



K_{\max} , K_{\min} , $K_{\text{пред}}$ – соответственно максимальное, минимальное и предельно допустимое качество грузового автомобиля; D_1 , D_2 – начала формирования отказа; A_1 , A_2 – точки отказа; Δt_1 , Δt_2 – периоды восстановления; n_1 , n_2 – соответственно точка, предшествующая началу отказа, и точка после того, как последствия отказа неизбежно приводят к износу

Рисунок 3.13 – Графическая модель работы автомобиля до отказа и после

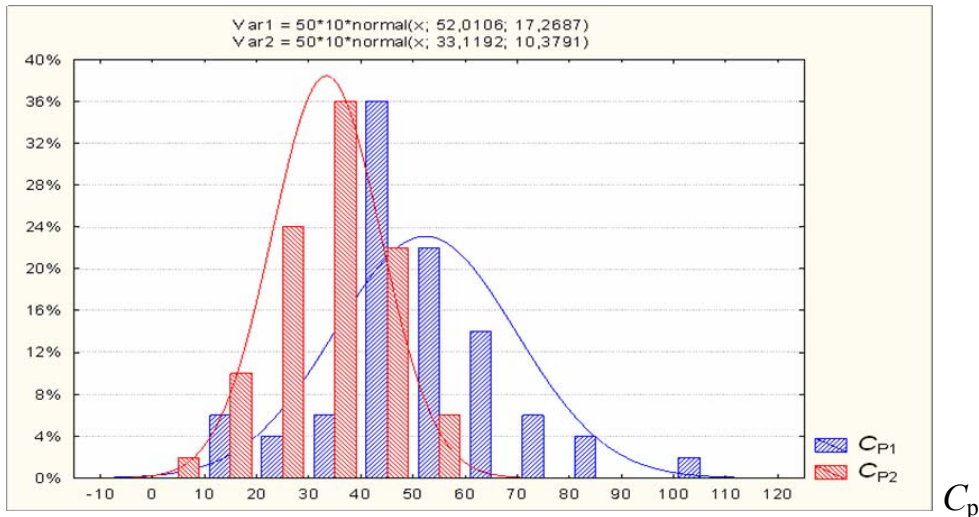
Для анализа полученных результатов была оценена оптимальная сходимости результатов при определении удельных затрат на ремонт C_p автомобилей КамАЗ (Рисунок 3.14). При исследуемом числе входящих данных и распределении его по нормальному закону погрешность определения удельных затрат на ремонт C_p не превышает 3 %.

Полученные значения можно применять для планирования затрат на ремонт, при анализе деятельности малых АТП с преимущественным преобладанием автомобилей КамАЗ и МАЗ. Так, например, на один автомобиль КАМАЗ для проведения ремонта топливной аппаратуры в среднем затрачивается 859,80 руб., в 80 % случаев затраты на ремонт составят не более 906,64 руб.

При помощи разработанного вероятностно-логического метода из теории можно исследовать изменение показателей при изменении различных входных характеристиках. Для решения данной задачи проведем вычислительный эксперимент. В эксперименте оценивалось изменение удельных затрат на ремонт C_p в зависимости от коэффициента $K_{\text{и}}$, который определяется по формуле (2.39). Можно найти общие затраты на диагностирование; они составят:

$$C_{\text{общ}} = (1 + K_{\text{и}})C_p. \quad (3.5)$$

$f(C_p)$



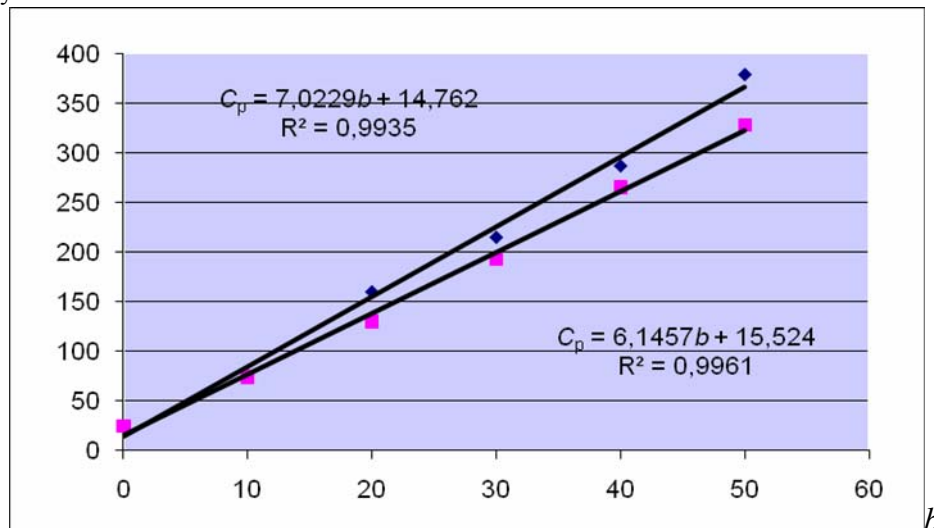
C_{p1} – до введения вероятностно-логической методики, C_{p2} – после введения вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Рисунок 3.14 – Распределение удельных затрат C_p на ремонт автомобилей на предприятии

Также необходимо оценить убытки, связанные с отказом и простоем автомобиля. Эти убытки связаны с потерями от ненадёжности автомобиля (Рисунок 3.15).

Сформировав модель для оценки эксперимента, можно теперь определить убытки от простоя из-за отказа.

C_p , руб./1000 км.



1 – до внедрения вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей; 2 – после вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей на предприятии

Рисунок 3.15 – Изменение удельных затрат на ремонт в зависимости от убытков, связанных с отказом и простоем автомобиля

На рисунке 3.15 коэффициент b определяется по формуле

$$b = C_{\text{пр}} / C_y, \quad (3.6)$$

где $C_{\text{пр}}$ – убытки, связанные с отказом и простоем автомобиля;

C_y – удельные затраты на услуги.

Вывод по пункту 3.6.2. Моделирование основных данных проведенных в ходе эксперимента позволяют нам в дальнейшем сделать анализ по убыткам и сравнить значения изменения стоимости нормо-часа до и после внедрения вероятностно-логической модели.

3.6.3. Анализ удельных затрат и эффективности применения встроенной системы диагностирования для топливной системы автомобилей КАМАЗ

Для анализа убытков автомобилей КАМАЗ были проведены экспериментальные исследования, результатом которых стали статистические данные, включающие наработки на отказ, стоимость и трудоёмкости замены элементов топливной системы дизельного автомобиля. Совместив полученные данные по предприятию с экспериментом, получили следующие показатели по изменению удельных затрат:

При выборе исходных данных задавались стоимостью одного часа простоя $C_{\text{пр}} = 1400$ руб. и стоимостью одного нормо-часа $S_{\text{н-ч}} = 800$ руб. В результате расчета по формулам (3.5)–(3.7) были получены следующие нормативы для этой стратегии:

- удельные суммарные затраты на поддержание работоспособности топливной системы — 252,8 руб./ 1000 км.;
- средняя наработка на отказ (на примере плунжерной пары) — 198,8 тыс. км.;
- удельная трудоёмкость текущего ремонта – 0,03 чел. ч / 1000 км.

Рассчитанные показатели позволяют планировать затраты на эксплуатацию автомобилей.

Исходя из данных, выявленных в процессе эксперимента, определили группу элементов топливной системы, лимитирующих её надежность:

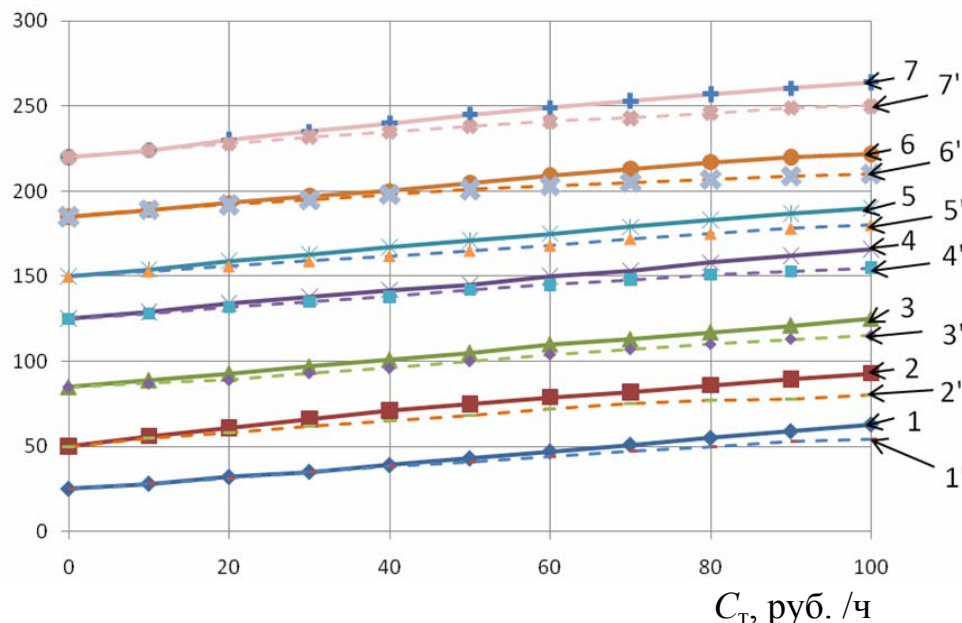
- 1) плунжерная пара ТНВД;
- 2) нагнетательный клапан ТНВД;
- 3) игла форсунки;
- 4) пружина форсунки.

Для каждого элемента определим удельные суммарные затраты C_p (Рисунок 3.16), а также изменения удельных суммарных затрат ΔC , соответствующие периодичностям проверки 70, 80, 90 тыс. км (Таблица 3.3):

- удельные суммарные затраты при встроенном диагностировании — 5,3 руб./1000 км;

- удельные суммарные затраты на эксплуатацию системы с профилактикой — 61, 6 руб./1000 км;
- трудоёмкость ТО — 1,8 чел-ч./1000 км;
- удельная трудоёмкость текущего ремонта — 0,23 чел-ч./1000 км.

C , руб./1000 км



1, 1' – 0; 2, 2' – 200; 3, 3' – 400; 4, 4' – 600; 5, 5' – 800; 6, 6' – 1000; 7, 7' – 1200
 — для планово-предупредительной системы; - - - для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Рисунок 3.16 – Графики изменения удельных суммарных затрат для планово-предупредительной системы и вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей в зависимости от часовой тарифной ставки C_T и стоимости одного часа простоя $C_{пр}$

Таблица 3.3 – Определение оптимальной периодичности контроля по изменению удельных суммарных затрат (руб./1000 км)

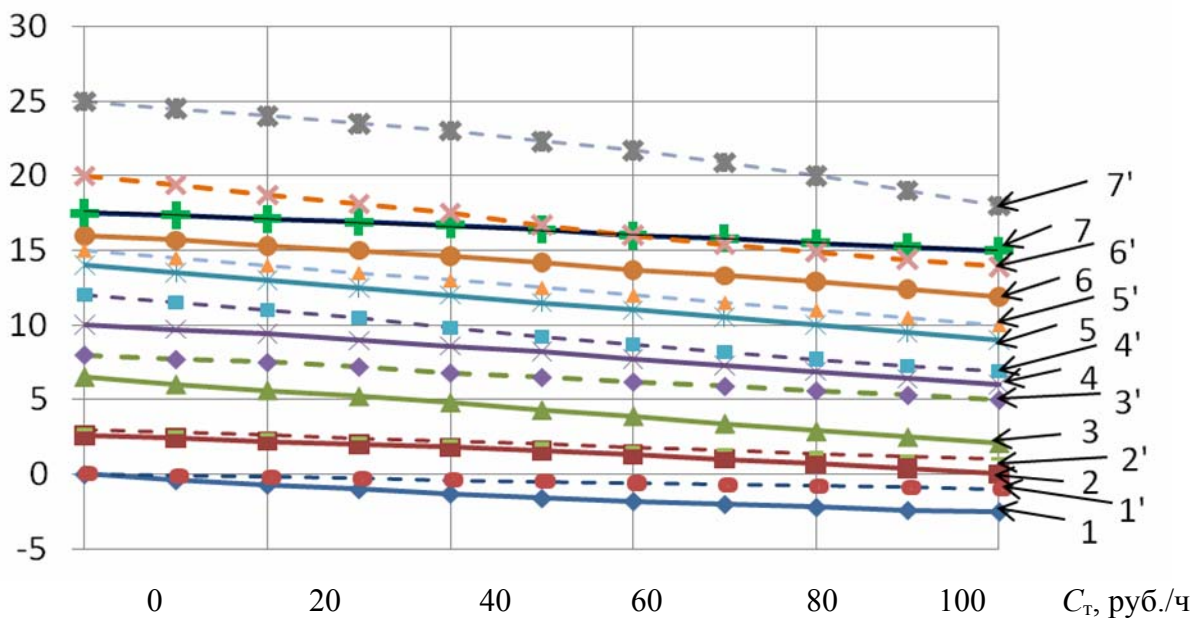
Наименование элемента	l_0	C_p (l_0)	ΔC при 70 тыс.	ΔC при 80 тыс.	ΔC при 90 тыс.
плунжерная пара	208234	1,2	0,08	0,003	0,098
подпружиненный нагнетальный клапан	142034	2,1	0,02	0,028	0,14
иглу	203233	1,1	0,3	0,11	0,027
пружину	179432	1,4	0,07	0,001	0,063
Сумма ΔC			0,47	0,142	0,328

Как мы видим, при эксплуатации автомобилей с системой встроенного диагностирования средняя наработка на отказ увеличилась на 18,9 %, при этом удельные затраты снизились на 26,8 %, что является подходящим

значением и находится в пределах точности моделирования. Однако это можно объяснить тем, что элементы, которые выбирали, обладают низкой вероятностью на отказ, которая для большинства элементов находится в пределах 0,5–0,7.

Эффективность (\mathcal{E}) встроенного диагностирования возрастет с увеличением стоимости одного часа простоя и уменьшается с увеличением тарифной ставки диагностирования автомобиля (Рисунок 3.17). Если на первый параметр мы воздействовать не можем, потому что на каждом АТП стоимость простоя зависит от множества величин, то на второй можно повлиять, используя вероятностно-логический метод нахождения неисправности, а именно снизить время нахождения неисправности, что приведет к уменьшению количества затрачиваемых часов независимо от стоимости нормо-часа. Отметим, что диагностирование требует более квалифицированного персонала; на это повлиять мы не можем, и данный факт приводит к уменьшению эффективности нашей стратегии.

\mathcal{E} , руб./1000 км



1, 1' – 0; 2, 2' – 200; 3, 3' – 400; 4, 4' – 600; 5, 5' – 800; 6, 6' – 1000; 7, 7' – 1200;

— — для планово-предупредительной системы; - - - - для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Рисунок 3.17 – Графики изменения эффективности в зависимости от стратегии и от часовой тарифной ставки C_T , а также стоимости одного часа простоя $C_{пр}$

Полученные нами зависимости показывают, что удельные суммарные затраты, формирующиеся при эксплуатации автомобилей КАМАЗ по стратегии встроенного диагностирования с применением вероятностно-логического метода, увеличиваются при увеличении стоимости одного часа простоя и часовой тарифной ставки. Эффективность нашей стратегии выше, чем при профилактической стратегии. Зависимость эффективности при одном значении стоимости одного часа простоя изменяется незначительно, но при увеличении часовой тарифной ставки существенно возрастают убытки предприятия, которые находятся в пределах 20,0–25 руб./1000 км. Таким образом, эффективность профилактической стратегии при увеличении часовой тарифной ставки уменьшается, а эффективность выбранной нами стратегии, наоборот, увеличивается.

При увеличении часовой тарифной ставки происходит увеличение удельных суммарных затрат на эксплуатацию системы без профилактики C_p .

Экономия достигается тем, что разница между затратами на ремонт элементов и при групповом ремонте существенна; чем выше часовая тарифная ставка, тем больше экономия и, соответственно, эффективность стратегии.

Вывод по пункту 3.6.3. Вероятностно-логическая методика с встроенным диагностированием позволяет снизить затраты незначительно при замене одного элемента в результате диагностирования и значительно при замене групп элементов.

3.7. Выводы по третьей главе

1. В целях практической апробации предложенной методики вероятностно-логической стратегии были проведены экспериментальные исследования на основании статистической информации об эксплуатационной надёжности автомобилей КАМАЗ.

2. В результате проведения эксперимента установлены наиболее значимые элементы по топливной системе, по которым происходит отказ.

Для топливной системы КАМАЗ в результате проведения эксперимента установлен перечень элементов, в который включены: плунжерная пара; нагнетательный клапан ТНВД; игла и пружина форсунки.

3. В результате проведения анализа экспериментальных данных, полученных по автомобилям КАМАЗ, выявлено, что в исследуемый период основная доля отказов в топливной системе приходится на плунжерную пару ТНВД (6,7 %); иглу форсунки (11,9 %), пружину форсунки (11,2 %), пружину нагнетательного клапана ТНВД (2,4 %); крепления элементов в процессе диагностирования не рассматривались, потому что они являются непрогнозируемыми отказами.

4. В результате проведения эксперимента были установлены нормативы, включающие удельные затраты на ремонт (35,8 руб./1000 км), удельные затраты на эксплуатацию системы с профилактикой (52,6 руб./1000 км), удельные затраты на услуги (5,3 руб./1000 км).

5. Для топливной системы КАМАЗ в результате проведения эксперимента установлен перечень элементов, в который включены: плунжерная пара и нагнетательный клапан ТНВД; игла и пружина форсунки; была определена оптимальная периодичность контроля этого перечня — 80 тыс. км.

4. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Структура и описание работы программы по диагностированию технического состояния автомобиля

Для оперативного ежедневного контроля над состоянием подвижного состава автотранспортного предприятия предлагается внедрить диагностический прибор, работа которого основана на фиксации и анализе показателей автомобиля при использовании диагностирования.

Программа прибора включает блоки формирования баз данных по результатам диагностирования (Рисунок 4.1) и сведениям по работе двигателя со слов водителя. Подготовленные данные обрабатываются с помощью расчётно-анализирующего блока. С помощью блока индикации результаты расчета и анализа выводятся на экран прибора, расположенного в кабине автомобиля. Данная информация является основанием для своевременного принятия решений по проведению технического обслуживания двигателя автомобиля.



Рисунок 4.1 – Логическая схема программы

Первая часть программы – аналитическая, определяет наличие и вид неисправностей в топливной системе дизеля (ТНВД и форсунки), вторая часть – опросная, рассчитана на остальные системы двигателя.

Алгоритм программы выглядит следующим образом (Рисунок 4.2).

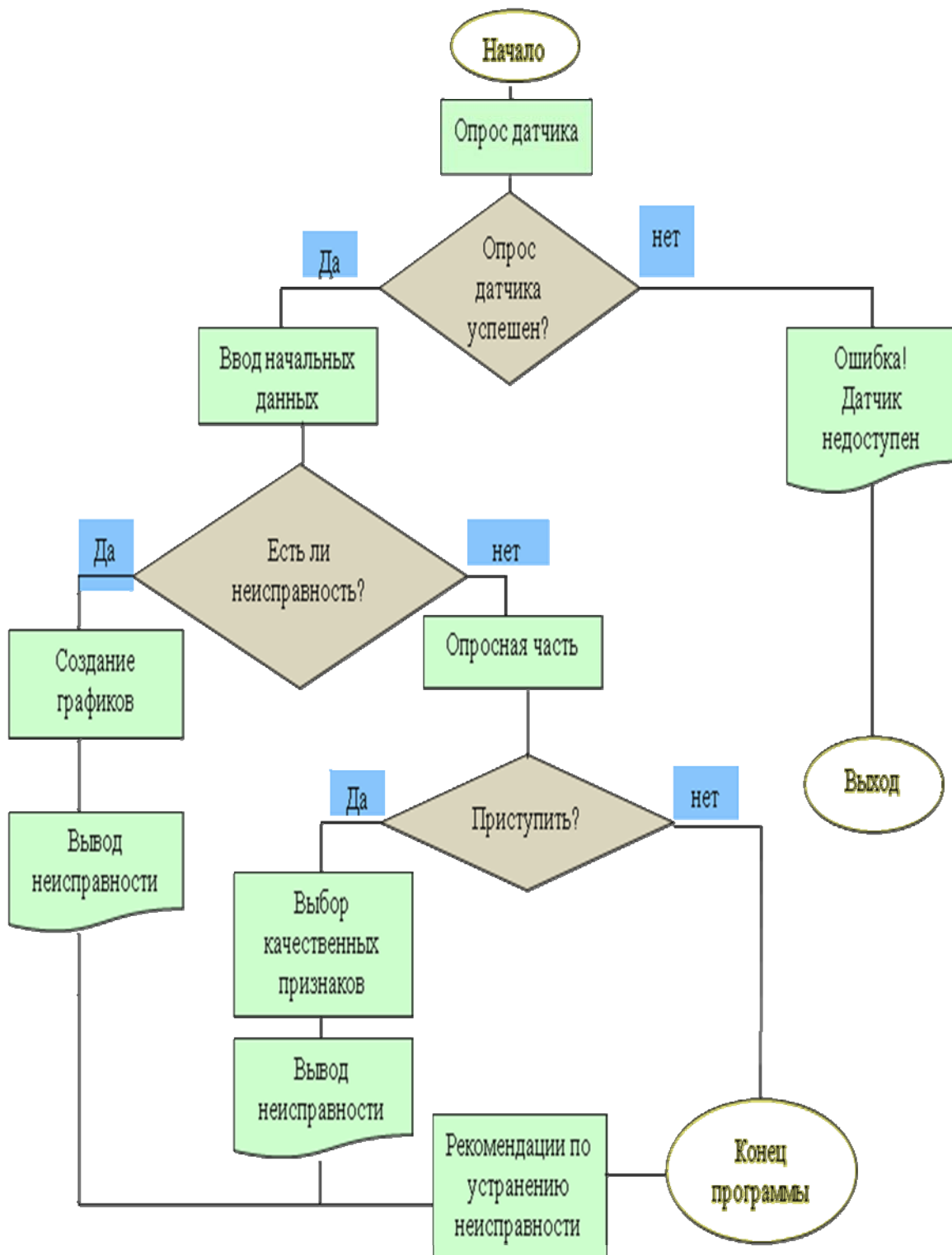


Рисунок 4.2 – Алгоритм работы системы диагностирования

При запуске программа начинает работу с проверки наличия контакта с датчиком давления. Если контакт не установлен, то на экран прибора в кабине водителя выводится надпись «Ошибка! Датчик недоступен». В этом случае программа прекращает свою работу.

Если контакт с датчиком установлен, то в программу водителем вводятся начальные данные. Затем программа по показаниям датчика строит график и при наличии неисправностей выводит их на экран в текстовом режиме. Далее система переходит к опросной части. Водителю предлагается выбор – закончить программу сейчас или продолжить поиск неисправностей в других системах двигателя. При продолжении программа использует метод «логический поиск с последовательным исключением». Водителю надлежит выбрать качественные признаки неправильной работы двигателя. Затем в конце процесса на экран выводится неисправность.

Программа считывает значения с накладного датчика давления топлива, установленного на топливопровод высокого давления.

Считанные значения автоматически записываются в базу данных программы, затем на основании этих данных строятся графики давления топлива. По давлению топлива в контрольных точках определяется наличие неисправности и её вид.

Изменение давления анализируется следующим образом (Рисунок 4.3).

Здесь в точке 1 начинается повышение давления в результате движения плунжера насоса, в точке 2 срабатывает нагнетательный клапан, и при малой скорости движения плунжера рост давления на некоторое время замедляется. В точке 3 поднимается игла форсунки. При этом давление падает, поскольку высвободившийся объем не успевает заполниться топливом, а затем снова повышается до определённой величины.

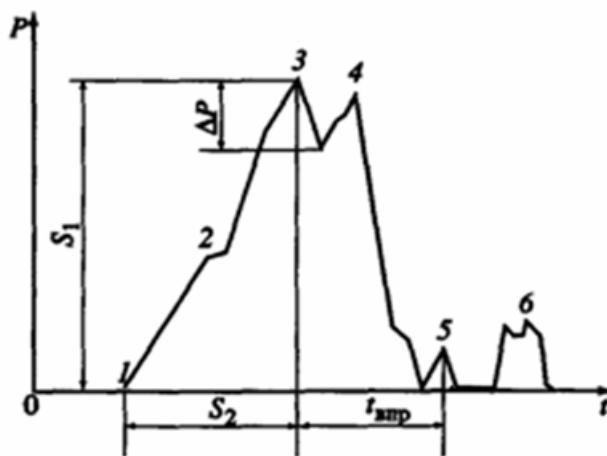


Рисунок 4.3 – Характерные точки на графике давления топлива

Точка 4 на большой частоте вращения коленчатого вала двигателя может характеризовать максимальное давление процесса впрыска. Однако для нормального процесса в режиме холостого хода это давление обычно фиксируется по характерному пику точки 3. В точке 5 происходит "посадка" иглы форсунки и впрыскивание заканчивается, после чего происходит "посадка" в седло нагнетательного клапана плунжера. Импульсы остаточного давления (б) появляются в результате недостаточной герметичности нагнетательного клапана. Величина сигнала S_1 определяет затяжку пружины форсунки и статическое давление начала впрыска. Перепад давления ΔP характеризует подвижность иглы форсунки. Путем интегрирования на периоде впрыска $t_{впр}$ можно оценить цикловую подачу топлива. Время задержки впрыска S_2 характеризует зазор в плунжерной паре, вызывающий утечку топлива между гильзой и плунжером.

При разработке программы учитывались данные по давлению топлива в дизельных двигателях (КАМАЗ). Показания давления снимались с двигателей на двух режимах работы – холостой ход и нагрузочный режим.

Необходима предварительная подготовка, которая должна проходить в условиях, приближенных к производственным, т.е. на экране компьютера должно воспроизводиться возможное изменение давления в топливной системе, соответствующее заданной неисправности, а диагност должен правильно его идентифицировать.

С этой целью предлагается ввести модуль, воспроизводящий осциллограммы давления при различных неисправностях элементов системы питания, на основе чего создается база данных с осциллограммами давления при различных неисправностях топливной системы.

Так как описать осциллограммы аналитическими зависимостями не предоставляется возможным, то при создании базы осциллограмм использован метод оцифровки уже существующих осциллограмм, которая производилась с помощью программы Graph2Digit2. Оцифровка выполнялась по цвету линии графика (цвет линии – синий), который был предварительно подготовлен (Рисунок 4.4). Далее были заданы пределы и шаги оцифровки по координатным осям. Поскольку весь процесс изменения давления при впрыске топлива проходил за 20 мс, предел по абсциссе был принят равным 200. Шаг в нашем случае равен 1, что в переводе в мс составило 0,1 мс. Такие параметры позволили наиболее точно оцифровать исходный график и получить базу данных по данной зависимости, которая была трансформирована в файл системы управления базами данных Paradox.

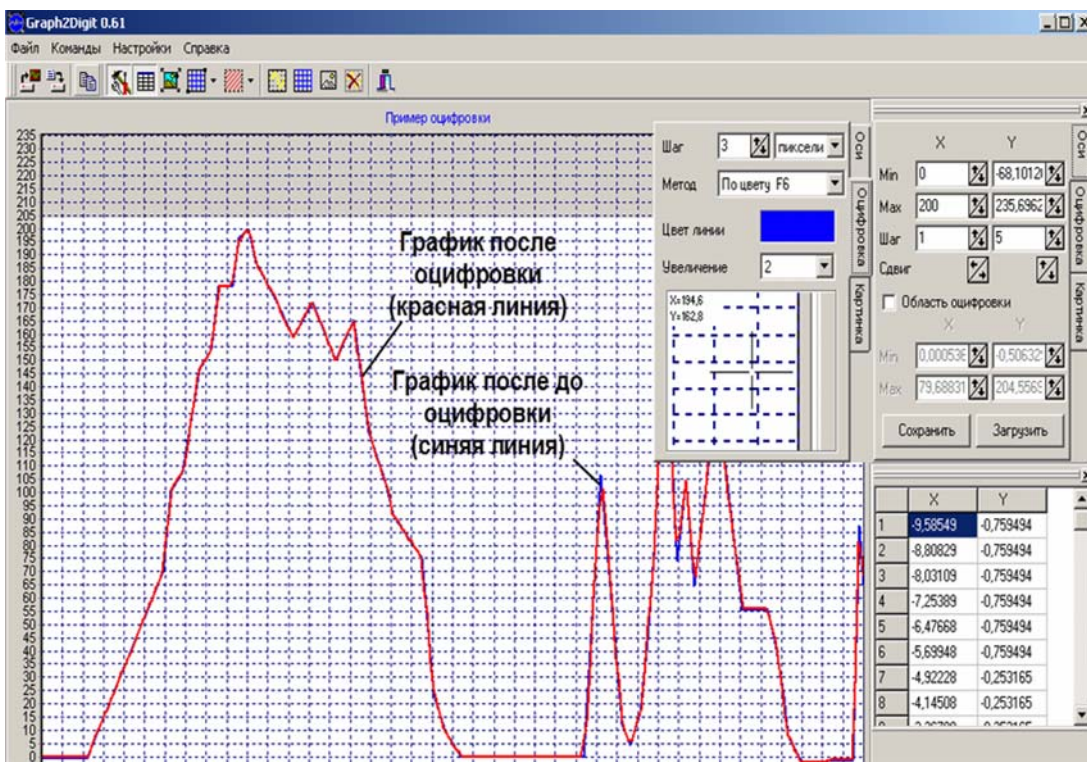


Рисунок 4.4 – Оцифровка графика давления топлива

Для выхода в режим диагностирования системы питания предлагается запустить двигатель и нажать кнопку F4 «Осциллограмма».

На экране появится осциллограмма синего цвета 1 (Рисунок 4.5), характеризующая пульсацию давления в топливной системе диагностируемого двигателя, и осциллограмма зеленого цвета 2, характеризующая изменение давления топлива при отсутствии неисправностей (контрольная осциллограмма). Сопоставляя эти осциллограммы, программа по допустимому значению может найти совпадающие осциллограммы синего цвета 1 (осциллограмма диагностируемого двигателя) и красного цвета 3 (осциллограмма из базы данных соответствующая известной неисправности), т.е. определить неисправность топливной системы дизеля.

Добавив функцию вызова осциллограмм давления топлива с возможными неисправностями во время диагностирования двигателя, можно обеспечить сравнение реальной и базовой осциллограмм. Это позволит упростить процесс выявления отказов.

При запуске программы оператор выбирает дату проведения диагностирования, наработку дизеля, категорию условий эксплуатации и климатические условия эксплуатации автомобиля.

Затем осуществляется переход непосредственно к диагностированию топливной системы двигателя на холостых оборотах. Для наглядности наличия неисправности на графиках изначально присутствуют графики нормальной работы элементов топливной системы дизеля.



Рисунок 4.5 – Окно с осциллограммами

Затем осуществляется переход к диагностированию топливной системы двигателя на холостых оборотах. Для наглядности наличия неисправности на диаграммах введены графики нормальной работы элементов топливной системы дизельного двигателя (Рисунок 4.6).

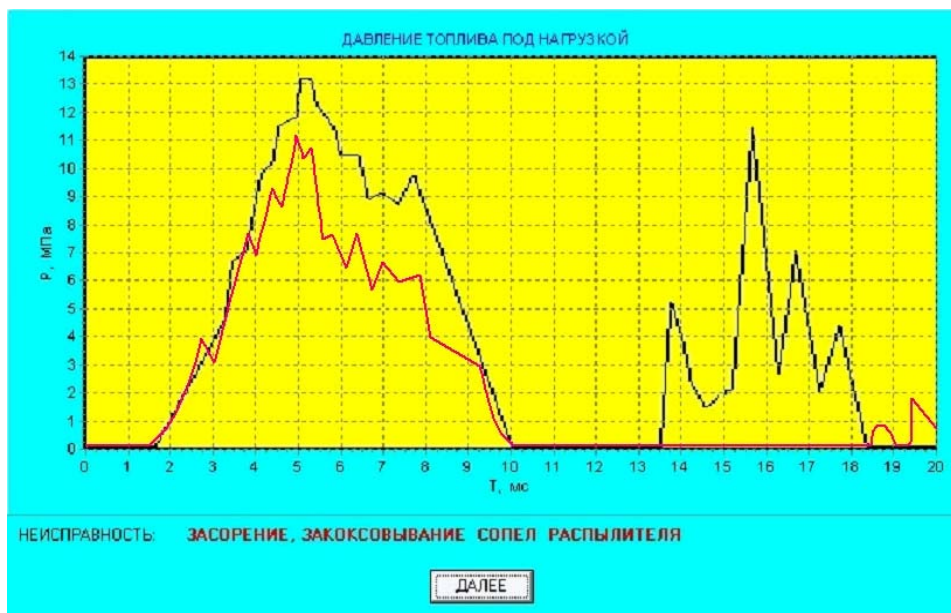


Рисунок 4.6 – Засорение, закоксовывание сопел распылителя форсунки

Следующий этап – диагностирование дизельного двигателя под нагрузкой. Здесь также для наглядности наличия неисправности на графиках присутствуют кривые нормальной работы элементов топливной системы дизельного двигателя под нагрузкой.

Под графиками в случае выявления неисправности появляется надпись, характеризующая эту неисправность, например, «нарушение подвижности иглы распылителя». Если неисправностей не выявлено, появится надпись «неисправностей не обнаружено».

Если неисправностей в топливной системе не выявлено, то система переходит к поиску неисправностей путём опроса водителя автомобиля, который выбирает из предложенных вариантов неправильной работы двигателя наиболее характерные признаки, которые он заметил на своём автомобиле. Опросная система имеет древовидную структуру.

Последовательность опроса по этим вопросам зависит от частоты появления признаков и составляется на основании статистических данных, собранных в условиях эксплуатации. На основании полученной информации на этом этапе определяются вероятные гипотезы – элементы двигателя, подозреваемые на отказ.

По завершении этапа выбора качественных признаков в системе происходит просмотр базы данных и формирование рабочего набора предполагаемых неисправностей, обеспечивающих решение задачи поиска неисправностей.

Для уточнения процесса поиска неисправностей система в диалоговом режиме проводит опрос пользователя о том, какая наработка двигателя, какие ремонтно-обслуживающие работы проводились в последнее время, как были замечены проявления качественного признака, какие работы выполнялись, какие ещё сопутствующие качественные признаки проявляются при этом. Определяющим при последовательности задания вопросов является логическая целесообразность того или иного вопроса. Взаимодействие с системой происходит посредством последовательного предъявления пользователю вопросов (Рисунок 4.7, 4.8) системы и выбором им вариантов ответа в меню различных типов.

Для перемещения по меню используются "стрелки", выбор позиций осуществляется нажатием клавиши "Space". Переход к следующему меню в древовидной структуре осуществляется нажатием клавиши "ДАЛЕЕ".

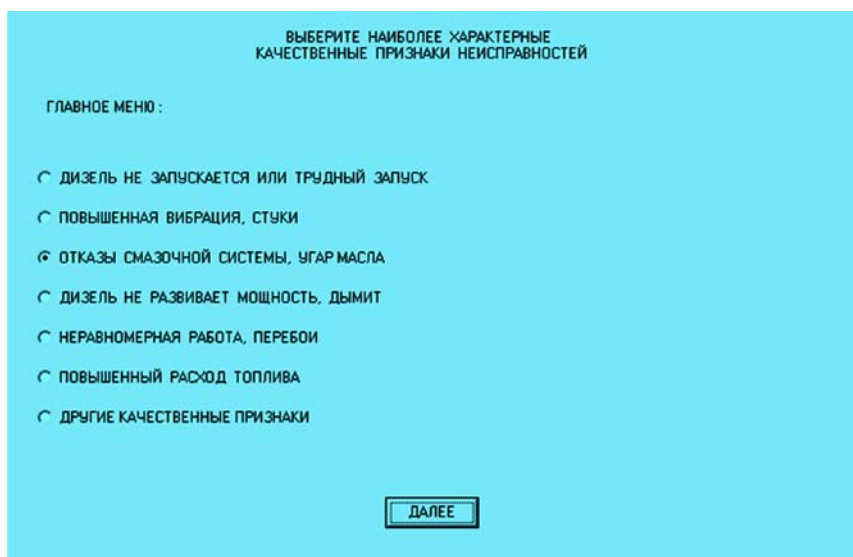


Рисунок 4.7 – Главное меню

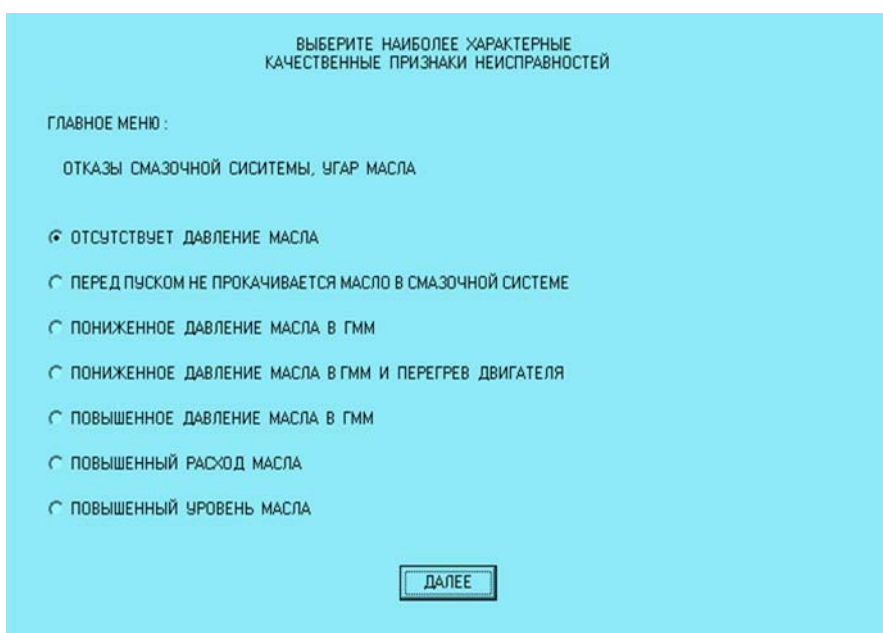


Рисунок 4.8 – Выбор нужного признака

По результатам опроса уточняются вероятности рассматриваемых гипотез. В ряде случаев, основываясь только на результатах ответов на опросные вопросы, можно принять диагностическое решение. Диагностическая система обладает знаниями о типичных ситуациях, соответствующих наличию наиболее часто встречающихся неисправностей. В ходе опроса система анализирует полученную информацию и формирует гипотезы о неисправностях и предлагает в оптимальной последовательности провести диагностические проверки по качественным признакам с использованием инструментальных средств диагностирования. Номенклатура диагностических средств, применяемых при поиске, легко изменяется в соответствии с имеющимися у пользователя.

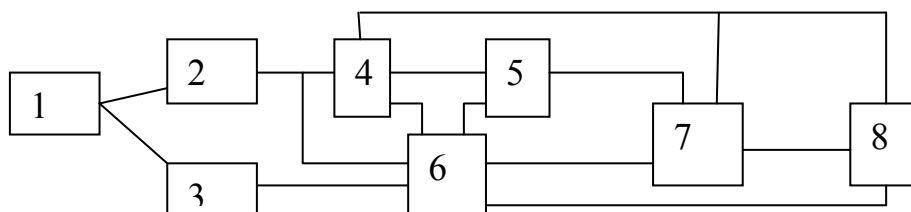
Взаимодействие с системой происходит посредством последовательного предъявления заданий на проведение диагностических проверок. При этом доступна инструкция о технологии проведения проверки. Работа системы заканчивается определением наиболее вероятной неисправности двигателя.

Вывод по пункту 4.1. Разработан алгоритм программы встроенного диагностирования на основе вероятностно-логической методики поиска неисправности, который позволит выполнить Макетный образец встроенной системы диагностирования автомобильных дизелей.

4.2. Макетный образец встроенной системы диагностирования автомобильных дизелей

Разработанное оборудование, программное обеспечение и алгоритмы диагностирования дизеля – составные части системы встроенного диагностирования двигателя, именно системы, поскольку она включает в себя целый комплекс модулей и блоков и производит диагностирование не отдельного узла или системы, а всех основных систем дизеля.

Разработанный макетный образец состоит из трех основных блоков: датчиков; интерфейса; программного обеспечения. Структурная схема такого прибора представлена на рисунке 4.9. В таком же исполнении прибор может устанавливаться на автомобиль и являться системой бортовой диагностики транспортного дизеля.



1 – датчик давления топлива; 2 – формирователь сигнала частоты вращения коленчатого вала; 3 – формирователь сигнала датчика момента впрыска топлива; 4 – блок вычисления угловой скорости; 5 – блок вычисления углового ускорения; 6 – блок управления; 7- арифметическое логическое устройство; 8 – блок индикации.

Рисунок 4.9 – Устройство для диагностирования дизеля

Устройство работает следующим образом. Импульсы от датчика 1 с периодичностью, соответствующей углу поворота коленчатого вала, пройдя формирователь 2, поступают в блоки 4 и 6. Блок 4 измеряет период следования данных импульсов, и измеренным периодом вычисляет угловую скорость на данном угле поворота вала, значение которой поступают на входы блоков 5, 7 и 8. Блок 6, учитывая период следования

импульсов, измеренную угловую скорость, а также значение угловой скорости, вычисляет угловое ускорение, значения которой поступают на вход арифметического логического устройства 7.

Сигнал от датчика 1 момента впрыска топлива определенного цилиндра, как правило, первого, через формирователь 3 поступает на вход блока 6 управления. Блок 6 с приходом импульса от датчика 1 подсчитывает импульсы и рассчитывает угол поворота коленчатого вала. При повороте коленчатого вала на угол, соответствующий моменту впрыска топлива в первом цилиндре двигателя, блок 6 подает первый управляющий сигнал на вход блока 7. По этому сигналу блок 7 начинает выбор минимального значения угловой скорости, приходящегося на начало рабочего хода в первом цилиндре. Одновременно блок 7 осуществляет выбор максимального значения углового ускорения, приходящегося на первую половину рабочего хода в первом цилиндре.

При повороте коленчатого вала на угол, равный $720/(3*i)$ (где i – число цилиндров двигателя) от верхней мертвой точки конца сжатия, в первом цилиндре блок 7 подает второй управляющий сигнал, с приходом которого блок 8 прекращает выбор минимального значения угловой скорости и максимального значения углового ускорения, заносит эти значения в память и переходит в режим поиска максимального значения угловой скорости, приходящегося на среднюю часть такта расширения. Одновременно блок 7 осуществляет выбор минимального значения углового ускорения, приходящегося на вторую половину такта расширения в первом цилиндре.

При повороте коленчатого вала на угол, равный $720/i$, блок 6 подает третий управляющий сигнал, по которому блок 7 прекращает выбор максимального значения угловой скорости и минимального значения углового ускорения, заносит эти значения в память. Одновременно блок 7 начинает поиск минимального значения угловой скорости и максимального значения углового ускорения в следующем по порядку работы цилиндре.

По окончании цикла измерения, который для достижения необходимой точности должен длиться не менее 10 циклов, блок 6 подает очередной управляющий сигнал в блоки 7 и 8. По этому сигналу блок 7 вычисляет среднее значение приращений угловой скорости от минимального значения) до максимального, приходящегося на такт расширения каждого цилиндра, и уменьшение угловой скорости от максимального его значения для i -го цилиндра до минимального его значения, приходящегося на такт расширения в следующем по порядку работы цилиндре, т.е. для $(i+1)$ -го цилиндра, аналогичные показатели определяются и по угловому ускорению. Блок 7 определяет диагностические параметры, сопоставляет их с

нормативными значениями и ставится диагноз. Результаты индицируются блоком 8 индикации.

Особенности реализации отдельных блоков системы диагностирования дизелей рассматриваются ниже более подробно.

Для диагностирования топливной системы использовался датчик давления (Рисунок 4.10), обработка и вывод сигнала выполнялся с помощью встроенной системы диагностирования (Рисунок 4.11).

Изготовление встроенной системы диагностирования (ВСД) с точки зрения мощности и выбора комплектующих элементов не имеет особых трудностей, так как программа обработки и алгоритма постановки диагноза не большая (1000 Кбайт) и не содержит больших циклических расчетов.

Программное обеспечение состоит из двух программ, первая из которых зашита в микроконтроллер интерфейса и обеспечивает прием – передачу информации от датчиков на ВСД. Вторая ведет запись данных в файл и их обработку, включая постановку диагноза.

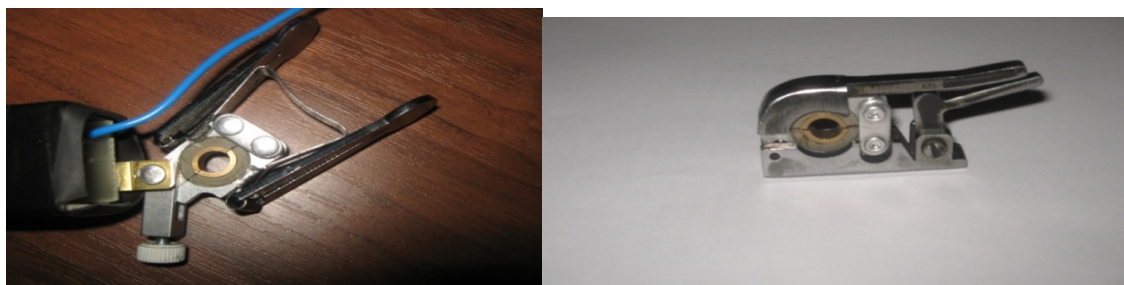


Рисунок 4.10. Датчики давления топлива с пружинным и эксцентриковым зажимом

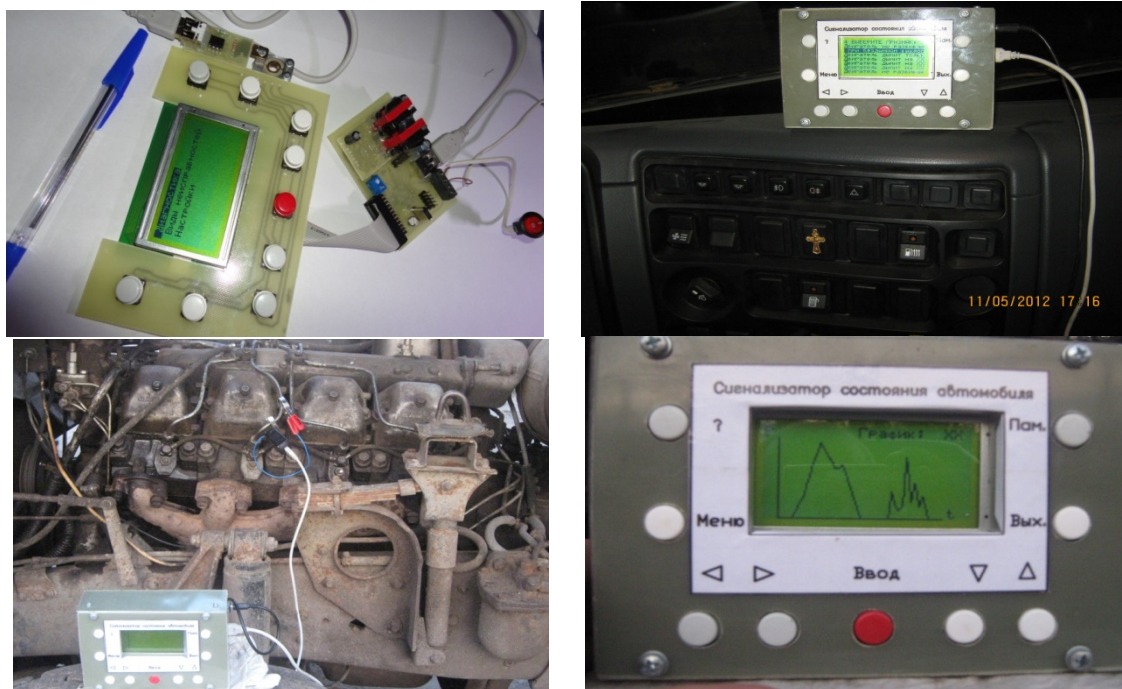


Рисунок 4.11. Внутренний и внешний вид встроенной системы диагностирования

Одним из важнейших показателей работы с системой диагностирования является трудоемкость операций подготовки системы к работе и сам процесс диагностирования дизеля. Трудоемкость установки датчика составляет 0,03 чел.-ч. Трудоемкость непосредственного диагностирования, как показали хронометражные измерения, составляет 0,18 чел.-ч. Такая схема не требует особой квалификации от оператора, что делает диагностирование более эффективным. Таким образом, общая трудоемкость диагностирования составляет 0,21 чел.-ч.

Вывод по пункту 4.2: приведено описание и принцип работы макетного образца встроенной системы диагностирования автомобильных дизелей.

4.3. Оценка экономической эффективности внедрения системы диагностирования автомобильных дизелей

Обоснованием целесообразности внедрения различных технических систем, в том числе и систем диагностирования, является экономическая оценка суммарного эффекта, определяемого снижением затрат на эксплуатацию и дополнительными затратами на систему объективной инструментальной оценки состояния в любой момент эксплуатации.

Расчет экономической эффективности производился для случая внедрения встроенной системы диагностирования в АПТ малой мощности (50 автомобилей).

Ожидаемый годовой эффект от внедрения диагностирования дизелей можно определить по формуле [86]

$$\mathcal{E}_Г = (C_1 - C_2) - E_H \cdot K, \quad (4.1)$$

где C_1 и C_2 – затраты на содержание автомобилей соответственно до и после внедрения диагностирования;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_H = 0,15$);

K – капитальные затраты на приобретение диагностического оборудования.

Снижение затрат на эксплуатацию автомобилей при внедрении встроенной системы диагностирования дизелей достигается за счет снижения эксплуатационного расхода топлива, трудоемкости ТО и ТР двигателя, сокращения затрат на запасные части и материалы и сокращения потерь транспортной работы из-за раннего возврата с линии и опоздания с выездом на линию. Исходные данные для расчета экономической эффективности представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные расчета экономической эффективности внедрения встроенной системы диагностирования

№ п/п	Наименование показателя	Значения показателей	
		До внедрения	После внедрения
1	2	3	4
1	Списочное количество автомобилей, шт.	50	50
2	Годовой пробег автомобилей, тыс. км	50	50
3	Годовые затраты на топливо, руб.	16713620	15728120
4	Трудовые затраты на ТО и Р двигателей, чел.-ч/(авт. год.)	80,3	73
5	Трудоемкость диагностирования, чел.-ч/(авт. год.)	-	2,72
6	Затраты на запасные части и материалы, руб./(авт. год.)	8231	6322
7	Вероятность раннего возврата с линии	0,12	0,06
8	Вероятность опоздания с выездом на линию	0,11	0,05
9	Время возврата с линии, ч	1	1
10	Время опоздания с выездом на линию, ч	1	1
11	Средняя прибыль за один час работы автомобиля, руб./(авт. час.)	600	600
12	Стоимость оборудования, руб.	-	15080

Расчеты производились из расчета работы предприятия в условиях умеренной климатической зоны и использования автомобилей модели КамАЗ.

Годовые затраты на топливо рассчитывались исходя из годового пробега, линейных норм расхода топлива на единицу пробега, транспортной работы и стоимости дизельного топлива.

Снижение среднего эксплуатационного расхода топлива за счет улучшения технического состояния двигателя в результате внедрения диагностирования принимается в размере 1 %.

Трудовые затраты на ТО и Р двигателей принимались исходя из пооперационных нормативов трудоемкости на техническое обслуживание. Снижение трудоемкости ТО и ТР достигается за счет исключения напрасных трудовых затрат на демонтно-монтажные операции исправных узлов и агрегатов, имеющие место при планово-предупредительной системе ТО и ТР ПС автомобильного транспорта.

Годовая экономия от снижения затрат на ТО и Р определялась по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{ТО}} = (T_{\text{ТО}} - T'_{\text{ТО}} - T_{\text{Д}}) \cdot q_{\text{р}}, \quad (4.2)$$

где $T_{\text{ТО}}$ и $T'_{\text{ТО}}$ – годовая трудоемкость ТО и Р соответственно до и после внедрения диагностирования, чел.-ч;

$T_{\text{Д}}$ – годовая трудоемкость диагностирования внедряемым оборудованием, чел.-ч;

$q_{\text{р}}$ – тарифная ставка ремонтного рабочего, руб./чел.-ч.

Экономия за счет сокращения потерь транспортной работы из-за раннего возврата с линии и опоздания с выездом на линию определялась как

$$\mathcal{E}_{\text{в}} = q \cdot (P_{\text{возвр}} \cdot t_{\text{возвр}} + P_{\text{опозд}} \cdot t_{\text{опозд}}), \quad (4.3)$$

где $P_{\text{возвр}}$ и $P_{\text{опозд}}$ – соответственно вероятности раннего возврата и опоздания с выездом на линию;

$t_{\text{возвр}}$ и $t_{\text{опозд}}$ – соответственно время раннего возврата и опоздания с выездом на линию, ч;

q – средняя прибыль за один час работы автомобиля, руб.

Эксплуатационные расходы, связанные с содержанием внедряемого оборудования, можно определить:

$$Z_{\text{экс}} = C_{\text{об}} \cdot K_{\text{а}} + Z_{\text{э}}, \quad (4.4)$$

где $C_{\text{об}} \cdot K_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления, определяемые как произведение стоимости оборудования $C_{\text{об}}$ на коэффициент амортизационных отчислений, $K_{\text{а}} = 0,15$;

$Z_{\text{э}}$ – эксплуатационные затраты: электроэнергия, ТО и ремонт оборудования (принимается десять процентов от стоимости оборудования $0,1 C_{\text{об}}$).

Результаты расчета экономической эффективности внедрения встроеной системы диагностирования сведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчета экономической эффективности внедрения системы встроенного диагностирования дизелей

№ п/п	Наименование показателей	Величина показателя
1	2	3
1	Капитальные затраты на диагностическое оборудование, руб.	15080
2	Затраты на эксплуатацию оборудования, руб./год.	3770
	Всего:	18850
3	Годовая экономия затрат на топливо, руб./год.	19710
4	Годовая экономия затрат от сокращения трудоемкости ТО и Р, руб./год.	2190
5	Годовая экономия затрат на запасные части и материалы, руб./год.	1909
6	Годовая экономия затрат от сокращения потерь транспортной работы, руб./год.	8760
7	Всего:	32569
8	Экономический эффект от внедрения вероятностно-логической системы технического диагностирования дизелей, руб./год.	13719
9	Срок окупаемости, лет.	1,37

Вывод по пункту 4.3. Анализ результатов расчета показывает высокую экономическую эффективность внедрения системы технического диагностирования дизелей на основе вероятностно-логической модели (В-ЛМ) поиска неисправностей даже на небольших предприятиях, что подтверждается небольшим сроком окупаемости проекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработанных теоретико-прикладных положений, подходов и математических моделей появилась возможность решать важную научно-практическую задачу повышения уровня эффективности эксплуатации автомобилей за счет создания новой модели оценки технического состояния двигателей.

Основные результаты и выводы

1. Для малых и средних АТП, а также автоколонн, работающих в отрыве от производственных баз, на основе анализа разработана методика контроля работоспособности и выявления неисправностей дизелей, перспективная в отношении массового внедрения с реализацией как в средствах внешнего, так и встроенного диагностирования.

2. Разработана математическая модель обоснования коэффициентов вероятностно-логического $K_{ВЛ}$ и издержек $K_{И}$ для методики контроля работоспособности и выявления неисправностей дизелей, обеспечивающая выбор и использование наиболее приемлемой системы диагностирования.

3. В результате проведения анализа экспериментальных данных, полученных по автомобилям КАМАЗ, выявлено, что в исследуемый период более 50 % отказов в двигателе приходится на топливную систему; из них на плунжерную пару ТНВД 6,7 %; иглу форсунки 11,9 % пружину форсунки 11,2 %, пружину нагнетательного клапана ТНВД 2,6 %.

4. Разработана методика, использующая предложенную вероятностно-логическую модель поиска неисправностей, на основании которой построен алгоритм постановки диагноза технического состояния и выполнен прибор для поиска неисправностей и контроля работоспособности дизелей.

5. Разработана методика определения влияния встроенной системы диагностирования на показатели эффективности объектов исследования. Для встроенного диагностирования на основе вероятностно-логической модели поиска неисправностей по сравнению с ППС средняя наработка на отказ увеличилась на 18,9 %, при этом удельные суммарные затраты снизились на 26,8 %.

6. Разработан и внедрен в производственный процесс ТО и ремонта автомобилей ФГУП «УДС № 5 при Спецстрое России» г. Рязани макетный образец прибора для диагностирования дизелей. Положительной особенностью прибора является возможность выявления, наиболее вероятных неисправностей, используя датчик давления и вероятностную составляющую

щую В-ЛМ поиска неисправностей, а наименее вероятные неисправности выявляются с помощью вероятностной и логической составляющей.

7. Экономический эффект совершенствования методики поиска неисправностей дизелей обеспечивается в результате снижения среднего эксплуатационного расхода топлива за счет улучшения технического состояния двигателя в результате внедрения вероятностно-логической модели поиска неисправностей, исключения трудовых затрат, на демон- тажно-монтажные операции исправных узлов и агрегатов, имеющие место при ППС ТО и Р автомобильного транспорта, сокращения потерь транспорт- ной работы из-за раннего возврата с линии и опоздания с выездом на линию. Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий по совершенствованию методики диагностирования дизелей составляет 13719 руб. на один автомобиль в год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксельрод, Д.И. Поэлементное диагностирование топливной аппаратуры высокого давления дизельных двигателей / Д.И. Аксельрод // Тр. МАДИ. – 1980. – С. 25.
2. Алиев, А.М. Оценка характеристик топливоподачи высокого давления / А.М. Алиев // Вестник МГАУ. – 2009. – № 4 – С. 36.
3. Алиев, А.М. Анализ средств и технологий диагностирования топливных систем дизеля // Вестник МГАУ. – 2009. – № 4 – С. 98.
4. Алиев, А.М. Совершенствование метода и разработка средств диагностирования плунжерных пар при техническом сервисе топливной аппаратуры дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. – М., 2011. – 167 с.
5. Андреев, Ю.В. Быстроходные дизели производства зарубежных стран: учеб пособие / Ю.В. Андреев, А.Е. Свистула. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. Ползунова, 2002. – 169 с.
6. Аринин, И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. пособие / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В.Баженов. – 2-е изд. – Ростов н/Д, 2007. – 314 с.
7. Бацежев, Х.Х. Улучшение показателей работы тракторных дизелей путем оптимизации параметров топливоподачи при выполнении ремонтно-обслуживающих работ: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Х.Х. Бацежев. – Краснодар, 2001.- 167 с.
8. Бацежев, Х.Х. Улучшение показателей работы тракторных дизелей путем оптимизации параметров топливоподачи при выполнении ремонтно-обслуживающих работ [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.20.03 / Х.Х. Бацежев. – Краснодар, 2001. – 21 с.
9. Баширов, Р.М. Топливные системы автотракторных и комбайновых дизелей, конструкционные особенности и показатели работы / Р.М. Баширов. – Уфа: БГАУ, 2000. – 156 с.
10. Белявцев, А.В. Причины изменения производительности топливных насосов/ А.В. Белявцев // Техника в сельском хозяйстве. – 1975 – № 10. – С. 19.
11. Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение. – 1978. – 240 с.
12. Борщенко, Я.А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Я.А. Борщенко. – Тюмень, 2003. – 175 с.
13. Власов, П.А. Особенности эксплуатации дизельной топливной аппаратуры / П.А. Власов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 367 с.

14. Вохмин, Д.М. Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Д.М. Вохмин. – Тюмень, 2005. – 212 с.
15. Высоцкий, В.И. Использование уточненных методов расчета и сравнительных оценок топливных систем для улучшения показателей автотракторных дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.И. Высоцкий. – Нальчик, 1998. – 202 с.
16. Габитов, И.И. Улучшение эксплуатационных показателей топливной аппаратуры сельскохозяйственных дизелей путем научного обоснования и реализации в ремонтном производстве технологических процессов, методов и средств диагностирования : дис.... д-ра техн. наук: 05.20.03 / И.И. Габитов; [С.-Петерб. гос. аграр. ун-т]. – СПб.: 2001. – 319 с.
17. Габитов, И.И. Информационно-измерительный комплекс для исследований топливоподающих систем автотракторных дизелей. Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей / И.И. Габитов, А.В. Неговора, М.Д. Гафуров // Сб. науч. тр. пост, действ, семинара стран СНГ. – СПб.: СПбГАУ, 2000. – 118 с.
18. Головин, С.И. Мониторинг изнашивания деталей дизеля как средство оптимизации системы технического обслуживания: дис.... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.И. Головин. – М., 2007. – 201 с.
19. Горбаневский, В.Е. Оборудование для испытания топливной аппаратуры дизелей / В.Е. Горбаневский, Р.Н. Горбач – М.: Машиностроение, 1981. – 213 с.
20. Горбаневский, В.Е. Оборудование для испытания топливной аппаратуры дизелей / В.Е. Горбаневский, Р.Н. Горбач. – М.: Машиностроение, 1987. – 209 с.
21. ГОСТ 10579–88. Форсунки дизелей. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15 с.
22. ГОСТ 17510–79. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 23 с.
23. ГОСТ 20760–75. Техническая диагностика. Общие положения о порядке разработки систем диагностирования. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 4 с.
24. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 13 с.
25. ГОСТ 8.009-84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений, 1984. – 16 с.
26. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Ивашенко, В.А. Марков. – М., 2005. – 348 с.
27. Грехов, Л.В. Автоматизированный комплекс для исследований и диагностирования топливных систем дизельных двигателей. Рабочие про-

цессы дизелей: учеб. пособие. / Л.В. Грехов, В.А. Светлов, А.В. Сячинов. – Барнаул: АлтГУ, 1995. – 160 с.

28. Бельских, В.И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов / В.И. Бельских. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 413 с.

29. Григорьев, М.А. Обеспечение надежности двигателей / М.А. Григорьев, В.А. Долецкий. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 322 с.

30. Данилов, С.В. Метод и цифровой прибор для автоматизированного определения цикловой подачи топлива при регулировании топливной аппаратуры дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.В. Данилов. – М., 2010. – 125 с.

31. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики / Р.Г. Джексон. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.

32. Диагностики топливной аппаратуры дизельных двигателей // Труды Седьмой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2000 (24-27 октября, г. Переславль-Залесский). – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2000. – Т. 2. С. 89.

33. Никитин, Е.А. Диагностирование дизелей / Е. А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.

34. Долгушин, А.А. Оперативный контроль технического состояния топливной аппаратуры дизельных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.А. Долгушин. – Новосибирск, 2004. – 121 с.

35. Дролов, Л.В. Исследование способа оценки технического состояния дизельных двигателей по характеристикам переходного процесса в эксплуатационных условиях. дис. ... канд. техн. наук 05.20.03 / А.А. Долгушин. – Новосибирск, 1982. – 147 с.

36. Друзьякин, И.Г. Технические измерения и приборы: учеб. пособие / И.Г. Друзьякин, А.Н. Лыков. – Пермь: Изд-во Пермского гос. техн. ун-та, 2008. – 412 с.

37. Дыдыкин, А.М. Повышение технико-экономических показателей быстроходного дизеля путем совершенствования процесса впуска: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.М. Дыдыкин; [Место защиты: Нижегород. гос. техн. ун-т]. – Нижний Новгород, 2010. – 146 с.

38. Еремеев, А.Н. Повышение надежности дизельных двигателей путем оптимизации регулировочных параметров топливной аппаратуры: дис.... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Еремеев. – Ульяновск, 2007. – 152 с.

39. Желтухин, Ю.П. Разработка автоматизированных средств для исследований и испытаний топливной аппаратуры как основы для создания САИ и АСЧТП / Ю.П. Желтухин, А.В. Пресняков // Труды ЦНИТА. – 1985. – Вып. 86. – 154 с.

40. Ильин, В.А. Повышение эффективности технического сервиса топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.А. Ильин. – Уфа, 2006. – 148 с.
41. Илюхин, А.Н. Применение нечеткой логики в автоматизированной системе испытаний дизельных двигателей с использованием метода Саати: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / А.Н. Илюхин – Набережные Челны, 2009. – 122 с.
42. Инсафуддинов, С.З. Совершенствование методики оценки неравномерности подачи топливных систем тракторных дизелей: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / С.З. Инсафуддинов. – Уфа, 2004. – 152 с.
43. Климпуш, О.Д. Исследование и выбор диагностических параметров автомобильных дизелей семейства ЯМЗ: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / О.Д. Климпуш. – Уфа, 1973. – 168 с.
44. Князьков, А.Н. Разработка методики автоматизированного проектирования нормативов системы ТО и ремонта автомобилей: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.Н. Князьков. – Красноярск, 2004. – 235 с.
45. Коньков, А.Ю. Диагностические технического состояния дизеля в эксплуатации на основе идентификации быстропротекающих рабочих процессов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / А.Ю. Коньков. – Хабаровск, 2010. – 414 с.
46. Корнев, В.А. Способ обеспечения оптимальной достоверности диагностирования топливной аппаратуры дизелей переносными приборами: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / В.А. Корнев. – М., 1983. – 183 с.
47. Коровин, А.И. Диагностирование автомобильных дизельных двигателей по амплитудным параметрам колебаний давления отработавших газов: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.И. Коровин. – Харьков, 1983. – 178 с.
48. Коровин, А.И. Прибор для общего диагностирования топливной аппаратуры дизельных двигателей / А.И. Коровин // Сборник научных трудов ЧПИ. – 1979. – № 233. – 67 с.
49. Коффон, Дж. Расширение микропроцессорных систем / Дж. Коффон, В. Лонг. – М.: Машиностроение, 1987. – 318 с.
50. Кривенко, П.М. Дизельная топливная аппаратура / П.М. Кривенко, И.М. Федосов. – М.: Колос, 1970. – 536 с.
51. Крутов, В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания / В.И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с.
52. Крючков, С.В. Совершенствование методов и средств контроля показателей топливоподачи при испытаниях топливных насосов тракторных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.В. Крючков. – Саранск, 2006. – 179 с.

53. Кудрин, А.И. К вопросу о диагностировании топливной аппаратуры дизелей / А.И. Кудрин. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 106 с.
54. Кузнецов, Е.В. Математическая модель рабочего процесса дизеля / Е.В. Кузнецов // Автомобильная промышленность. – 2000. – № 6. – С. 17.
55. Кулешов, А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания / А.С. Кулешов, Л.В. Греков. – М.: МГТУ, 2000. – 64 с.
56. Левин, М.И. Микропроцессорная система управления углом опережения впрыскивания топлива / М.И. Левин, Э.С. Островский Е.Ю. Леснер // Двигателестроение. – 1988. – № 6. С. 47.
57. Левин, М.И. Современное состояние. Проблемы дизельной автоматики в зарубежной практике и отечественный опыт / М.И. Левин // Двигателестроение. – 1999. – № 4. – с.28-31; 2000. – № 1. С. 19.
58. Ложкин, В.Н. Оптимизация регулировочных параметров топливной аппаратуры дизеля КАМАЗ-740 по экологическим показателям применительно к условиям эксплуатации / В.Н. Ложкин, А.В. Николаенко, В.М. Занько // Сборник научных трудов ЦНИТА. – Л, 1990. – С. 107.
59. Маркелов, А.А. Диагностирование дизеля по результатам расчетно-экспериментального исследования индикаторной диаграммы в условиях рядовой эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.А. Маркелов. – Хабаровск, 2007. – 175 с.
60. Марков, В.А. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.И. Мальчук. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2007. – 360 с.
61. Матвеевский, В.Р. Надежность технических систем / В.Р. Матвеевский. – М.: МГИЭМ, 2002. – 113 с.
62. Методические указания по метрологической аттестации стендов КИ-921М (КИ-921), КИ-22205 для испытания и регулировки дизельной топливной аппаратуры. – М.: ГОСНИТИ, 1983. – 58 с.
63. Щендригин, А.С. Методы и технические средства испытаний двигателей внутреннего сгорания / А.С. Щендригин, Б.С. Науменко // Материалы X региональной научно-технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». – СевКавГТУ, 2006. – 95 С.
64. Неговора, А.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных дизелей совершенствованием конструкции и технологии диагностирования топливоподающей системы: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / А.В. Неговора. – СПб., 2004. – 343 с.
65. Неговора, А.В. Диагностирование топливной аппаратуры автотракторных дизелей. Актуальные проблемы теории и практики современного двигателестроения / А.В. Неговора, Л.В. Греков, И.И. Габитов // Сб. науч. тр. м/н. н-т конф. 100-лет Вибс. – Челябинск: ЮУрГУ, 2003. – 85 с.

66. Немков, М.В. Корректирование нормативов ресурса двигателей специальных автомобилей в зависимости от режимов эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / М.В. Немков. – Тюмень, 2005. – 136 с.
67. Нигматуллин, Ш.Ф. Совершенствование методов и средств диагностирования топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Ш.Ф. Нигматуллин. – Уфа, 2002. – 157 с.
68. Ольховский, С.Н. Комплексный контроль технического состояния ДВС по параметрам переходных режимов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С. Н. Ольховский. – Новосибирск, 2005. – 158 с.
69. Панферов, В.И. Обеспечение работоспособности нагнетательных клапанов топливной аппаратуры дизелей при эксплуатации лесных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01/ В.И. Панферов. – М., 2008. – 175 с.
70. Половинкин, В. HART – протокол / В. Половинкин // СТА. – 2002. – № 01. – С.6-14.
71. Пономарев, А.В. Прогнозирование ресурса цилиндропоршневой группы дизелей с учетом контактной гидродинамики: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.В. Пономарев. – Самара, 2006. – 125 с.
72. Пупков, К.А. Современные методы, модели и алгоритмы интеллектуальных систем: учеб. пособие / К.А. Пупков. — М.: РУДН, 2008. – 154 с.
73. Рачкин, В.А. Улучшение технико-эксплуатационных показателей тракторных дизелей применением комбинированной системы топливоподачи: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.А. Рачкин. – Пенза, 2005. – 190 с.
74. Савченко, О.Ф. Контроль и экспертиза технического состояния тракторных дизелей в условиях эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / О.Ф. Савченков. – Новосибирск, 1997. – 143 с.
75. Савченко, О.Ф. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей. / О.Ф. Савченко, И.П. Добролюбов, В.В. Альт, С.Н. Ольшевский. – Новосибирск: СО РАСХН, 2006. – 272 с.
76. Сафарбаков, А.М. Основы технической диагностики: учеб. пособие. / А.М. Сафарбаков, А.В. Лукьянов, С.В. Пахомов. – Иркутск: ИрГУПС, 2006. – 216 с.
77. Сачков, М. Будущее под капотом: выбираем конструкцию двигателей / М. Сачков // За рулем. – 2002. – № 4. – С. 28.
78. Смирнов, В.Н. Способы анализа стабильности показателей изделий и погрешности средств их контроля / В.Н. Смирнов, А.М. Доценко, Г.Н. Фомичев. – М.: Информационный центр научно-технической информации и пропаганды, 1979. – 208 с.

79. Соловьев, Д.Е. Разработка метода диагностирования дизеля в условиях эксплуатации с использованием неустановившихся режимов работы: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Д.Е. Соловьев. – М., 2004. – 152 с.
80. Стабилизация параметров топливной аппаратуры как фактор экономии эксплуатационных затрат / Д.А. Лавреньев // Двигателестроение. –1987. – №3. – С. 24.
81. Темукуев, Б.Б. Оптимизация точности измерения регулировочных параметров топливоподачи топливных насосов высокого давления дизелей при выполнении ремонтно-обслуживающих работ: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.03 / Б.Б. Темукуев; [Кабардино-Балкарская с.-х. акад. (КБГСХА)]. – Нальчик, 2002. – С. 27.
82. Третьяков, А.А. Автоматизированная оценка адаптивной системы управления транспортным дизелем и повышение её точности и быстродействия / А.А. Третьяков. – Ярославль, 2011. – 157 с.
83. Фомин Ю.Я. и др. Топливная аппаратура дизелей: справочник / Ю.Я. Фомин, Г.В. Никонов, В.Г. Ивановский. – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.
84. Хадлстон, К. Проектирование интеллектуальных датчиков с помощью Microchip dsPIC / К. Хадлстон. – К.: «МК-Пресс», 2008. — 320 с.
85. Хайртдинов, И.Н. Разработка методов и динамической математической модели для исследования дизелей при неустановившихся нагрузках: дис.... канд. техн. наук: 05.04.02 / И.Н. Хайртдинов. – Казань, 2003. – 158 с.
86. Харазов, А.М. Диагностирование и эффективность эксплуатации автомобилей: учеб. пособие для сред. ПТУ / А.М. Харазов. – М.: Высш. шк., 1986. – 63 с.
87. Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие / Р.Х. Хасанов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с.
88. Хоменко, Т.В. Математическая модель и алгоритмы выбора лучших технических решений чувствительных элементов систем управления с учетом взаимозависимости эксплуатационных характеристик: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Т.В. Хоменко. – Астрахань, 2003. – 126 с.
89. Хрулев, А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей Производственно-практическое издание / А.Э. Хрулев – М.: Изд-во «За рулем», 1999. – 440 с.
90. Хрящев, Ю.Е. Дизельный автомобиль как регулируемый объект / Ю.Е. Хрящев. // Контроль. Диагностика. – 1999. – № 7. – С. 40.
91. Чечет, В.А. Руководство по оценке состояния топливной аппаратуры высокого давления дизелей сельскохозяйственных машин с помощью механотестера КИ-5918 в эксплуатационных условиях / В.А.Чечет, Н.Т. Иванов, Е.А. Пучин. – М.: ГОСНИТИ, 1993. – С. 36.

92. Шапран, В.Н. Оценка технического состояния дизелей по критериям топливоподачи / В.Н. Шапран – Рязань: РВАИ, 2006. – 188 с.
93. Шарифуллин, С.Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / С.Н. Шарифуллин. – Б.м., 2009. – 368 с.
94. A.D. Edgar and S.C. Lee, «FOCUS Microcomputer Number System» Commun. ACM, vol. 22, p. 166, 1979. – 354 s.
95. Adorno T.W. Erziehung zur Miindigkeit- 13.Aufl. –Frankfurt [Main] : Suhrkamp, 1991. – 147 s.
96. Brase K. Philosophie und Erziehung. – Frankfurt am Main : Peter Lang, 1976. – Bern : Herbert Lang. – 1976. –S. 93.
97. C.W. Clenshaw and F.W.J. Olver, «Beyond Floating Point, J. ACM, vol. 31, p. 319, April, 1984. – 189 s.
98. Erziehungswissenschaft und Erziehungsforschung//Schaller K. (Hg.). Hamburg, 1968. – S.204Portner D., Schulz G., Driftmann H., Wullich P. Grundlagen der Allgemeinen Wehrpadagogik. – Regensburg, Wallhalla u. Praetoria, 1977. – 442 s.
99. H. Henkel, «Improved Accuracy for the Logarithmic Number System,» IEEE Trans, on Acoust., Speech, and Signal Proc., vol. ASSP-37, p. 301, 1989. – 412 s.
100. Lindgren M. Multiplexed vehicle electronics tutorial / M. Lindgren. – Mecel. – 1995. – 123 pp.
101. Lang J. On the design of a special-purpose digital control processor / J. Lang // IEEE Transactions on automatic of control. – 1987. – №3. – p. 195 – 201.
102. Leland W. E. On the self-similar nature of Internet traffic (Extended Versuon) / W. E. Leland, M.S. Taggu // IEEE/ACM Transations on Networking. – №2. – 1994. – p 45 – 48.
103. M.L. Frey and F.J. Taylor, «A Table Reduction Technique for Logarithmically Architected Digital Filters,» IEEE Trans, on Acoust., Speech, and Signal Proc., vol. ASSP-33, 1985, p. 718.
104. Ryn B. Point process models for self-similar Network Traffic, with applications / B. Ryn and S. Lowen // Stochastic Models. – № 14. – 1998. – p. 142 – 196.
105. T. Chen, «Maximal Redundancy Signed Digit Systems» Proceedings of the 7th Symposium on Computer Arithmetic, p. 296-300, 1985. – 450 p.
106. Relex Visual Reliability Software. Reference Manual. Relex Software Corporation, USA, 1999,470 p.
107. Relex Visual Reliability Software. Tutorial Manual. Relex Software Corporation, USA, 2001, 66 p.

108. Romeu J. L. Statistical Analysis of Reliability Data, Part 3: On Statistical Modeling of Reliability Data. Journal of the RAC, Fourth Quarter, 2001, pp.1-5.

109. Russel S. J., Norvig P. Artificial Intelligence. A Modern Approach. Prentice-Hall International, Inc., 1995, 932 p.

110. Tang D., Hecht M., Rosin A., Handal J. Experience in Using MEADep. Proceedings of the 1999 Annual Reliability and Maintainability Symposium, Washington DC, January 18-21, 1999.

111. Qiong L. On the long-range dependence of packet round-trip delays in Internet / L. Qiong, David L., Mills. // Processings of IEEE ICC 98. – №2. – 1998. – 232 pp.

112. Ronald K. Jurgen Automotive electronics handbook / K. Jurgen Ronald. – In: McGraw-Hill. – 1999. – 364 pp.

113. Ryn B. Point process models for self-similar Network Traffic, with applications / B. Ryn and S. Lowen // Stochastic Models. – № 14. – 1998. – p. 142 – 146.

114. The component object model specification. – Draft version 0.9 Microsoft. – 1995.

Основные положения диссертации опубликованы:

Издания из перечня ВАК России:

115. Тарасов, А.И. Эффективность применения систем диагностирования и саморегулирования при эксплуатации автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 1. – С. 51-56.

116. Тарасов, А.И. Сигнализатор уровня энергосбережения на автотранспортном предприятии / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.С. Иванов, А.И. Тарасов // Автотранспортное предприятие. – 2011. – № 7. – С. 28-32.

117. Тарасов, А.И. Анализ неисправностей топливных систем дизельных автомобилей / С.А. Кривобок, В.В. Лянденбургский, А.А. Тарасов, А.В. Федосков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 3. – С. 3-11.

118. Тарасов, А.И. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, С.А. Кривобок // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 4. – С. 3-9.

119. Тарасов, А.И. Программа поиска неисправностей дизельных двигателей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, С.А. Кривобок // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 8. – С. 28-33.

120. Тарасов, А.И. Совершенствование датчиков давления топлива дизельных двигателей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Д.А. Коломеец // Интернет-журнал. – М.: Науковедение, 2013. – № 1. – С. 28-39.

121. Тарасов, А.И. Вероятностный подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.И. Тарасов, И.Е. Долганов // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – № 1. – С. 26-33.

122. Тарасов, А.И. Логический подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Р.Р. Сейфетдинов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 5. – С. 194-198.

Публикации в других научных изданиях:

123. Тарасов, А.И. Комбинированная система технического обслуживания и ремонта автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов // Материалы I международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2008. – С. 83-85.

124. Тарасов, А.И. Модифицированный технико-экономический метод технического обслуживания автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, И.Е. Ильина // Материалы II международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2009. – С. 147-150.

125. Тарасов, А.И. Вероятностный подход к построению модели технического состояния автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 55-61.

126. Тарасов, А.И. Статистическая модель выбора оптимальных интервалов технического обслуживания автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса. – Магадан: СВГУ, 2010. – С. 193-196.

127. Тарасов, А.И. Экспериментальные исследования отказов автомобилей КАМАЗ. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, С.А. Кривобок // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 135-137.

128. Тарасов, А.И. Анализ отказов топливных систем дизельных автомобилей эксплуатируемых в условиях России. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, К.А. Абрамов // Материалы IV международной

научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 132-135.

129. Тарасов, А.И. Характеристика отказов топливных систем дизельных автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, А.Н. Потапов // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 137-140.

130. Тарасов, А.И. Методика экспериментальных исследований отказов дизельных автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С.191-193.

131. Тарасов, А.И. Анализ отказов топливных систем дизельных автомобилей. Проблемы развития строительной отрасли. Теория и практика / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, С.А. Кривобок, К.А. Абрамов // Материалы конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 261-263.

132. Тарасов, А.И. Выбор интервалов оптимальных периодичностей технического обслуживания автомобилей. Проблемы развития строительной отрасли. Теория и практика / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов, Федосков А.В. // Материалы конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 257-261.

133. Тарасов, А.И. Графоаналитическая модель формирования технического обслуживания автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов, А.В. Федосков // Материалы конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 263-268.

134. Тарасов, А.И. Неисправности и их влияние на состояние дизельного двигателя / Лянденбургский В.В., А.И. Тарасов, Е.В. Кравченко, А.А. Бердников // Материалы V международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2012. – С. 56-60.

135. Тарасов, А.И. Встроенная система диагностирования автомобиля / В.В. Лянденбургский, С.А. Кривобок, А.И. Тарасов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. – Пенза: ПГУАС, 2012. – С. 39-44.

136. Тарасов, А.И. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей: моногр. / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 298 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Характеристика отказов КАМАЗ, полученных в Пензе и Рязани

№ п/п		Пробеги, на которых произошли отказы, тыс.км	
		г. Рязань	г. Пенза
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	83,01; 153,12; 203,15; 354,33; 123,67; 266,78; 377,16; 139,26; 268, 89; 388,87;	86,32; 156,73; 206,78; 347,79; 126,93; 269; 380; 142,36; 272,45
1.2	пружина толкателя	81,54; 150,67; 205,69; 260,28	37,16; 83,39; 152,62; 207,07
1.3	пружина нагнетательного клапана	66,29; 152,11; 204; 288	38,19; 88,78; 153,98; 206,27
1.4	нагнетательный клапан	85,03; 151,06; 206,23; 255,67; 124,77; 257,96; 378,85; 162,56; 271,74; 379,98	87,7; 153,38; 207,86; 256,745; 126,68; 259,854; 163,75; 273,59; 383,33
2	Трубопровод высокого давления:		
2.1	крепление трубопроводов	205,25; 377,16; 388,63; 309,6; 271,687; 207,8; 379,3; 390,67; 311,32; 315,89; 201,5; 369,7; 389,56; 301,457; 316,233; 204,867; 371,47; 387,87; 308,98; 272,23; 202,76; 373,98; 381,6	207,67; 379,87; 389,98; 319,65; 275,87; 212,54; 383,87; 394,23; 314,03; 325,76; 210,32; 373,353; 393,89; 304,05; 318,64; 208,65; 374,87; 389,23; 310,87; 274,17; 206,28; 374,56

Окончание прил. 1

1	2	3	4
2.2	трубки высокого давления	205,07; 377,09; 388,56; 309,23; 209,87; 199,355; 189,89; 303,23; 275,17; 390,83; 209,95; 187,57; 381,9; 315,456; 380,45; 199,78; 185,23; 300,87; 275,8	208,54; 378,7; 380,67; 319,98; 209,56; 214,89; 194,27; 308,8; 281,3; 395,15; 214,56; 192,76; 386,94; 321,38; 385,57; 204,24; 190,86; 305,34;
3	Форсунки:		
3.1	пружина	83,45; 153,67; 203,68; 301,67; 125,34; 254,67; 123,786; 256,245; 377,567; 125,28; 270,7; 79,8; 81,34; 150,28; 205,19; 260,17	88,27; 158,85; 208,48; 259,96; 128,64; 261,934; 382,79; 130,16; 275,27; 84,56; 85,78; 155,24; 36,35; 156,7; 210,6.
3.2	игла	81,56; 157,18; 205,26; 301,48; 125,77; 257,84; 378,348; 388,69; 303,9	86,56; 162,34; 210,78; 306,27; 125,86; 262,98; 383,75; 131,29; 276,85; 85,87; 88,90; 158,75; 132,97; 394,53; 382,72; 393,98
3.3	крепление форсунки	79,85; 150,87; 203,94; 256,238; 125,67; 258,86; 378,96; 380,87; 383,36; 385,85; 388,27; 391,78; 82,87; 393,656; 85,38; 87,086	75,6; 156,65; 208,78; 261,37; 130,89; 263,95; 383,76; 386,18; 388,03; 390,02; 393,07; 396,87; 87,78; 398,54; 90,76
4.	прочее	63,2; 153,76; 203,39; 254,18; 123,70; 256,64; 377,72; 125,778; 270,65; 79,87; 85,5; 87,3; 205,8; 377,3; 388,3; 309,5; 271,8; 207,64; 371,96; 379,58; 311,59; 315,27; 272,75; 316,23	88,67; 158,98; 208,76; 259,7; 128,5; 261,8; 382,8; 130,523; 275,67; 84,87; 89,91; 92,97; 210,57; 382,78; 392,79; 314,13; 277,27; 211,69; 376,69; 384,67; 316,87; 321,87; 278,8

Приложение 2

Характеристика отказов КАМАЗ с встроенной системой
диагностирования, полученных в г. Пензе и г. Рязани

№ п/п		Пробеги, на которых произошли отказы, тыс.км	
		г. Пенза	г. Рязань
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	195,84; 263,9; 303,75; 324,8; 324,52; 367,48; 375,14; 345,72	301,6; 181,21; 252,56; 350,12; 322,1; 370,56; 178,35; 340,48
1.2	пружина толкателя	101,7; 280; 256,23; 311	98,2; 180,9; 248,3
1.3	пружина нагнетательного клапана	103,6; 210,87; 251; 340,5	208; 192,6; 260
1.4	нагнетательный клапан	105,2; 256; 312,4; 155,5; 311,7; 366,4; 202,8; 340,97	120; 254,7; 331,2; 157,5; 326,34; 210,3; 327; 363,3
2	Трубопровод высокого давления:		
2.1	крепление трубопроводов	266,5; 375,02; 383,12; 309; 271; 266,3; 376,31; 387,5; 401; 409,3; 253,1; 360,8; 375,9; 301; 308,9; 261,1; 301,3; 329,12; 259,6; 370;	266,5; 369,9; 389,8; 311,5; 341; 278,9; 380,3; 322,5; 210; 373; 393; 304; 318; 258,3; 363,76; 347,98; 256,6; 378,72

Окончание прил. 2

1	2	3	4
2.2	трубки высокого давления	266,5; 371,25; 381,26; 309;209; 241,3; 238,14; 395,72; 350,3; 365; 257,6; 326,3; 247,6; 220,6; 300; 350,3	260,23; 371,25; 324,26; 271,26; 279,98; 239,56; 311,62; 350,6; 397,7;278,5; 249,6; 396,25; 304,46; 256,3; 241,3
3	Форсунки:		
3.1	пружина	103,65; 203,25; 261,09; 304,04; 150,25; 303,12; 157,44; 325,12; 150,25; 320,85; 101,75; 102,85; 200,25; 266,5; 332,8	109,89; 203,82; 262,08; 332,8; 166,4; 326,8; 395,6; 167,7; 346,5; 103,6; 106,23; 200,69; 110,23; 208,56; 265,25
3.2	игла	101,25; 254,24; 269,3; 396,12;150,25; 323,82; 397,7;303	106,23; 208,98; 266,5; 150,25;335,36; 481,25; 169,35; 345; 102,25; 110,89; 208,28; 165; 312,2
3.3	крепление форсунки	101,25; 200; 230,89; 327,69; 150,25; 325,08; 371,25; 375,2; 101,25; 390,6; 102,75; 103,25	102,75; 156; 208; 261; 130; 263; 380,3; 389,1; 381,8; 310,84; 103,25; 120,9
4.	прочее	102,75; 192,78; 251,25; 253,2; 168,7; 322,56; 371,25; 158,75; 340,2; 101,91; 102,82; 105,3; 262,4; 371,25; 383,26; 383,16; 341,26; 258,75; 301,25	106,3; 199,08; 262,08; 326,34; 165,12; 330,5; 161,2; 375,2; 104,3; 110,3; 120,6; 263,3; 392,78; 309,6; 395,64; 349,02; 270,08; 310,88; 350,08

Приложение 3

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ (Пенза)

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс. км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс. км	Коэффициент вариации, v
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	209,7	93	0,44
1.2	пружина толкателя	210,3	55	0,26
1.3	пружина нагнетательного клапана	152	59,6	0,38
1.4	нагнетательный клапан	210,7	93,1	0,44
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	316,1	59	0,18
2.2	трубки высокого давления	282,2	111	0,39
3	Форсунки:			
3.1	пружина	179,3	85,3	0,47
3.2	игла	223,3	116	0,52
3.3	крепление форсунки	267,6	137	0,51
4.	прочее	244	97	0,39

Приложение 4

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ со встроенной системой диагностирования Пенза

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс. км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс. км	Коэффициент вариации, v
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	293,2	136,89	0,46
1.2	пружина толкателя	212	91,4	0,43
1.3	пружина нагнетательного клапана	232	86,2	0,37
1.4	нагнетательный клапан	281,3	123,03	0,43
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	389,36	88,5	0,22
2.2	трубки высокого давления	334,1	129,6	0,38
3	Форсунки:			
3.1	пружина	219,58	83,4	0,41
3.2	игла	257,81	116,3	0,49
3.3	крепление форсунки	342,9	98,4	0,29
4.	прочее	291,84	89,6	0,28

Приложение 5

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ (Рязань)

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс.км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс.км	Коэффициент вариации, ν
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	192,3	110	0,57
1.2	пружина толкателя	175	59	0,33
1.3	пружина нагнетательного клапана	182,2	90	0,49
1.4	нагнетательный клапан	175,1	98	0,56
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	314	56,7	0,18
2.2	трубки высокого давления	277	78,5	0,28
3	Форсунки:			
3.1	пружина	181,1	87,1	0,48
3.2	игла	223,5	109	0,49
3.3	крепление форсунки	251,4	133	0,53
4.	прочее	268,7	109	0,4

Приложение 6

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ со встроенной системой диагностирования Рязань

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс.км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс.км	Коэффициент вариации, ν
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	262,25	79	0,38
1.2	пружина толкателя	203,58	65	0,37
1.3	пружина нагнетательного клапана	231,4	57	0,31
1.4	нагнетательный клапан	230,12	103	0,5
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	262,63	70	0,22
2.2	трубки высокого давления	321,31	59	0,23
3	Форсунки:			
3.1	пружина	222,63	91	0,52
3.2	игла	263,52	95	0,45
3.3	крепление форсунки	360,17	117	0,41
4.	прочее	300,1	95	0,4

Приложение 7

Величины простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль (t1a – для вероятностно-логической стратегии, t2a – для планово-предупредительной стратегии), на парк автомобилей (t1p – для вероятностно-логической стратегии, t2p – для планово-предупредительной стратегии), на один день (t1d – для вероятностно-логической стратегии, t2d – для планово-предупредительной стратегии)

№ п/п	t1a	t2a	t1p	t2p	t1d	t2d
1	2	3	4	5	6	7
1	0,21	0,24	13,27	16,99	0,12	0,24
2	0,39	0,47	22,41	28,68	0,22	0,37
3	0,75	0,96	39,09	50,04	0,41	0,43
4	1,26	1,71	60,72	77,72	0,69	0,76
5	1,33	1,81	63,59	81,39	0,72	0,89
6	1,44	1,98	67,92	86,94	0,78	1,31
7	1,45	1,99	68,4	87,55	0,79	1,38
8	1,52	2,10	71,12	91,04	0,82	1,38
9	1,69	2,36	77,98	99,81	0,92	1,50
10	1,71	2,39	78,59	100,6	0,92	1,56
11	1,83	2,57	83,14	106,4	0,99	1,62
12	1,86	2,61	84,26	107,8	1,00	1,63
13	1,86	2,62	84,36	96,37	1,00	1,67
14	1,89	2,67	85,72	109,7	1,02	1,71
15	1,99	2,83	89,46	114,5	1,07	1,71
16	2,03	2,89	91,07	116,6	1,10	1,72
17	2,12	3,03	94,4	120,8	1,14	1,74
18	2,37	3,43	103,8	132,9	1,27	1,77
19	2,41	3,49	105,2	134,6	1,29	1,78
20	2,42	3,50	105,6	135,1	1,30	1,78
21	2,46	3,57	107,1	137,1	1,32	1,79
22	2,47	3,59	107,5	137,7	1,33	1,82
23	2,52	3,67	109,3	139,9	1,35	1,84
24	2,64	3,87	113,9	145,8	1,42	1,87
25	2,67	3,92	115	147,2	1,43	1,93
26	2,72	3,99	116,7	149,3	1,46	1,95
27	2,73	4,00	117	149,8	1,46	1,97
28	2,83	4,16	120,6	154,4	1,51	1,97
29	2,85	4,21	121,6	155,6	1,53	2,08
30	2,94	4,35	124,8	159,8	1,57	2,11
31	2,96	4,38	125,4	160,5	1,58	2,19
32	2,99	4,43	126,4	161,8	1,60	2,22
33	3,09	4,60	130,2	166,6	1,65	2,23
34	3,30	4,94	137,5	176	1,76	2,27
35	3,41	5,12	141,5	181,1	1,82	2,28

Окончание прил. 7

1	2	3	4	5	6	7
36	3,62	5,48	149	190,7	1,93	2,51
37	3,76	5,71	153,9	196,9	2,00	2,54
38	3,81	5,80	155,6	199,2	2,03	2,64
39	4,23	6,50	170	217,6	2,24	2,79
40	4,35	6,72	174,3	223,1	2,31	2,81
41	4,39	6,78	175,5	224,7	2,33	2,83
42	4,41	6,81	176,2	225,5	2,34	3,09
43	4,51	7,00	179,9	230,2	2,39	3,17
44	4,55	7,05	180,9	231,6	2,41	3,19
45	4,55	7,05	181	231,6	2,41	3,25
46	4,78	7,46	188,9	241,8	2,53	3,53
47	5,06	7,94	198,2	253,7	2,68	3,88
48	5,52	8,73	213,3	273	2,91	4,26
49	7,01	11,38	261,6	334,9	3,68	4,36
50	7,02	11,39	261,9	335,2	3,68	5,53
Среднее (Mean)	2,93	4,40	122,5	156,56	1,56	2,15
Среднеквадратическое отклонение StdDv	1,48	2,45	53,5	68,7	0,77	1,01
Коэффициент вариации v	0, 51	0,55	0,43	0,44	0,49	0,47

Приложение 8

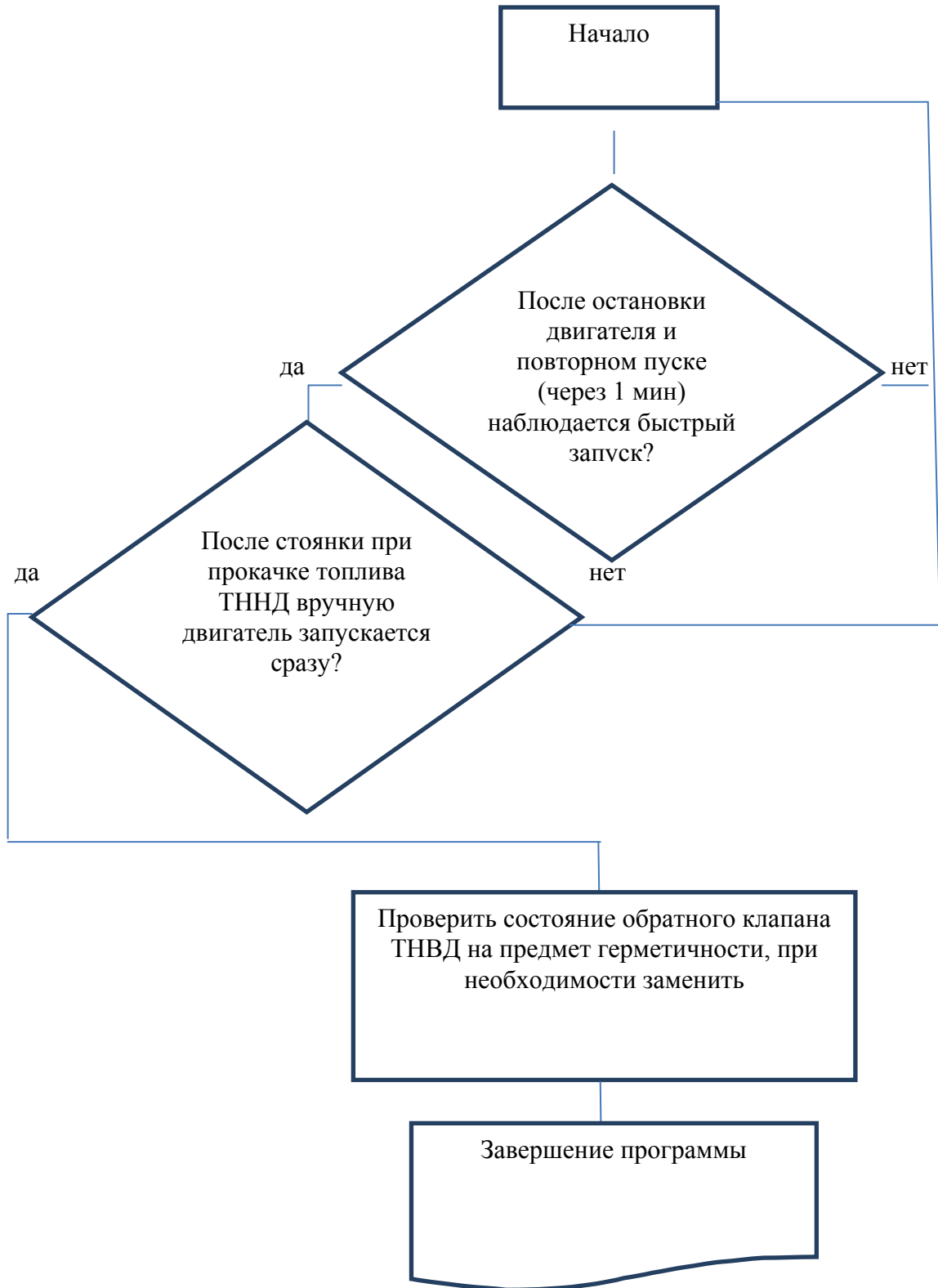
Величины простоя по форсунке от отказа элемента на один автомобиль (t1a_f – для вероятностно-логической стратегии, t2a_f – для планово-предупредительной стратегии), на парк автомобилей (t1p_f – для вероятностно-логической стратегии, t2p_f – для планово-предупредительной стратегии), на один день (t1d_f – для вероятностно-логической стратегии, t2d_f – для планово-предупредительной стратегии)

№ п/п	t1a_f	t2a_f	t1p_f	t2p_f	t1d_f	t2d_f
1	2	3	4	5	6	7
1	0,21	0,22	13,53	17,02	0,17	0,21
2	0,36	0,41	23,14	29,49	0,29	0,38
3	0,65	0,78	40,92	52,88	0,50	0,68
4	1,03	1,29	64,25	83,94	0,78	1,10
5	1,08	1,36	67,36	88,1	0,81	1,15
6	1,15	1,47	72,07	94,42	0,87	1,24
7	1,16	1,48	72,59	95,11	0,88	1,25
8	1,21	1,55	75,56	99,1	0,91	1,30
9	1,33	1,72	83,03	109,1	1,00	1,44
10	1,35	1,73	83,69	110	1,01	1,45
11	1,43	1,85	88,66	116,7	1,06	1,54
12	1,45	1,88	89,88	118,4	1,08	1,56
13	1,45	1,88	90	118,5	1,08	1,56
14	1,47	1,92	91,49	120,5	1,10	1,59
15	1,54	2,01	95,58	126,1	1,15	1,66
16	1,57	2,05	97,34	128,4	1,17	1,70
17	1,63	2,14	101	133,4	1,21	1,76
18	1,80	2,39	111,3	147,4	1,33	1,95
19	1,83	2,42	112,8	149,4	1,35	1,98
20	1,83	2,43	113,2	150	1,35	1,99
21	1,86	2,47	115	152,3	1,37	2,02
22	1,87	2,48	115,4	152,9	1,38	2,03
23	1,90	2,53	117,4	155,6	1,40	2,06
24	1,99	2,66	122,4	162,5	1,46	2,16
25	2,00	2,68	123,6	164,1	1,47	2,18
26	2,04	2,73	125,4	166,5	1,49	2,21
27	2,04	2,74	125,9	167,1	1,50	2,22
28	2,11	2,83	129,8	172,5	1,54	2,29
29	2,13	2,86	130,9	173,9	1,56	2,31
30	2,19	2,95	134,5	178,8	1,60	2,38
31	2,20	2,96	135,1	179,7	1,61	2,39
32	2,21	2,99	136,2	181,2	1,62	2,41
33	2,28	3,09	140,4	186,8	1,67	2,49
34	2,42	3,30	148,5	197,9	1,76	2,64
35	2,49	3,41	152,9	203,9	1,81	2,72

Окончание прил. 8

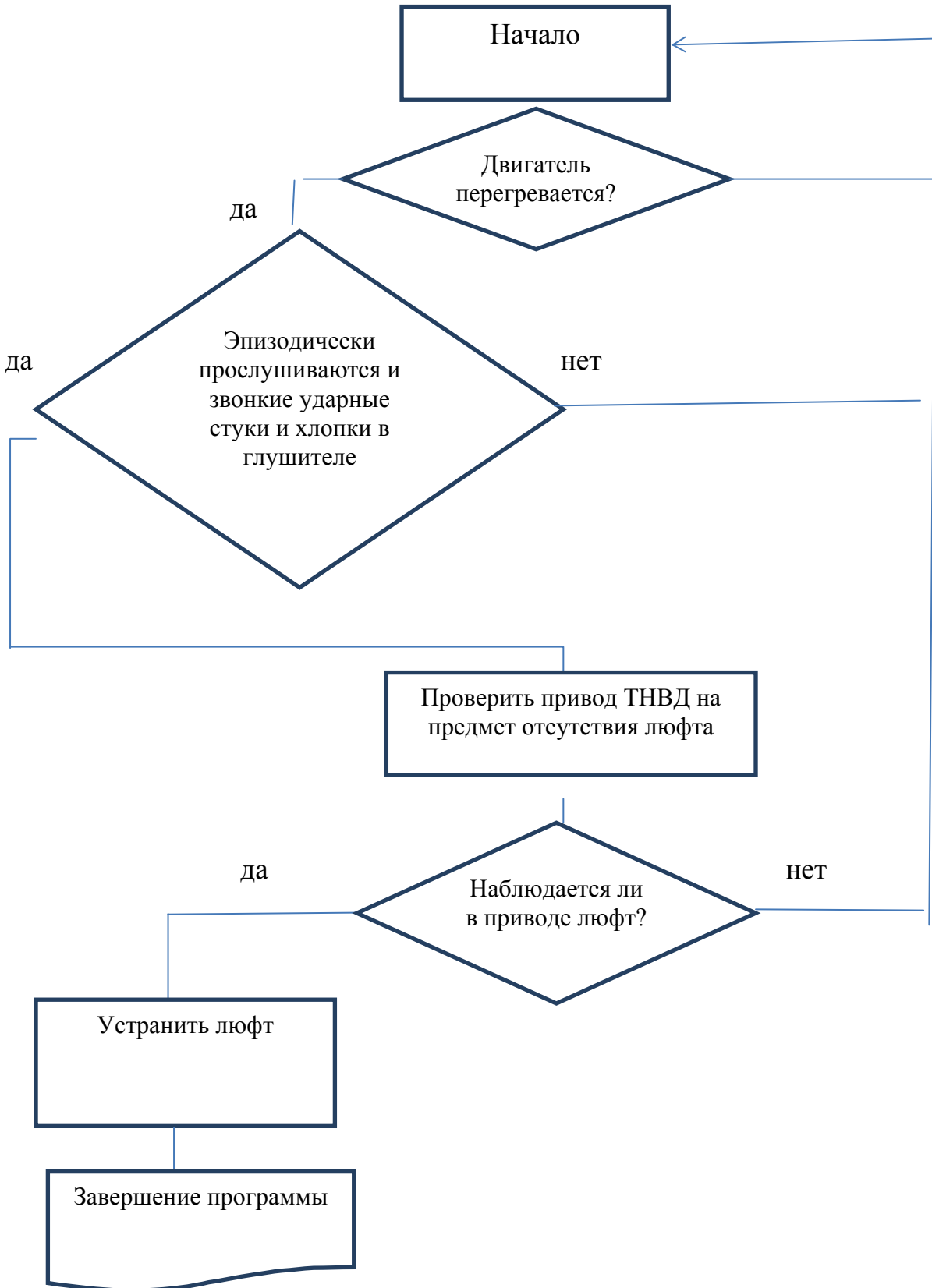
1	2	3	4	5	6	7
36	2,63	3,61	161,2	215,3	1,91	2,88
37	2,72	3,75	166,6	222,7	1,97	2,98
38	2,75	3,80	168,5	225,3	1,99	3,01
39	3,02	4,21	184,5	247,3	2,18	3,31
40	3,10	4,33	189,3	253,9	2,23	3,40
41	3,13	4,36	190,7	255,7	2,25	3,43
42	3,14	4,38	191,4	256,7	2,25	3,44
43	3,21	4,49	195,5	262,3	2,30	3,52
44	3,23	4,52	196,7	263,9	2,32	3,54
45	3,23	4,52	196,7	264	2,32	3,54
46	3,25	4,56	198,4	266,4	2,34	3,58
47	3,38	4,75	205,6	276,2	2,42	3,71
48	3,55	5,01	215,9	290,5	2,54	3,91
49	3,84	5,46	232,8	313,8	2,73	4,23
50	4,75	6,90	287	388,7	3,35	5,26
51	4,76	6,91	287,3	389,2	3,35	5,27
Среднее (Mean)	2,17	2,96	133,50	177,95	1,58	2,37
Средне-Оквadraticеское отклонение StdDv	0,98	1,45	59,22	80,67	0,68	1,09
Кoeffициент вариации v	0,451	0,49	0,44	0,453	0,43	0,46

Алгоритм проверки герметичности обратного клапана ТНВД
Качественный признак: трудный запуск двигателя после продолжительной остановки



Алгоритм проверки люфта привода ТНВД

Характеристика неисправности: двигатель не развивает мощность, работает неустойчиво. Наблюдается как чёрный, так и белый дым.



«УТВЕРЖДАЮ»

ректор ПГУАС

_____ Ю.П. Скачков

«16» сентября 2013

АКТ

реализации научных положений и выводов кандидатской диссертации ТАРАСОВА Александра Ивановича на тему: «Разработка методики определения технического состояния дизелей грузовых автомобилей» в учебном процессе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Комиссия в составе декана автомобильно-дорожного института ПГУАС д.т.н., профессора Ю.В. Родионова, заместителя декана автомобильно-дорожного института ПГУАС по учебной работе к.т.н., доцента Ильиной И.Е. и заведующего кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта» ПГУАС д.т.н., профессора Салмина В.В. констатирует, что методика определения технического состояния дизелей грузовых автомобилей, разработанная аспирантом Тарасовым А.И., руководитель к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ПГУАС Лянденбургский В.В., используется в учебном процессе при подготовке студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство», направлению подготовки бакалавров 190600.62 по дисциплинам «Техническая эксплуатация автомобилей», «Основы научных исследований», а также магистров по направлению 190600.68. по дисциплинам «Система технического обслуживания диагностирования и ремонта транспортно-технологических машин и оборудования», «Современные проблемы и направления развития технической эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования».

Декан

автомобильно-дорожного института

ПГУАС д.т.н., профессор

Ю.В. Родионов

Заместитель декана

автомобильно-дорожного

института ПГУАС,

к.т.н., доцент

И.Е. Ильина

Заведующий кафедрой

«Эксплуатация автомобильного транспорта»

ПГУАС, д.т.н., профессор

В.В. Салмин

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник ФГУП УДС№5 при
Спецстрое России
Крючков С.Н.

Акт внедрения
результатов научно-исследовательских,
опытно-конструкторских и технологических
работ

Комиссия в составе: начальника ОМАиЭ Гологовца Н.П., начальника участка Лейкина Д.С., старшего инженера ОМАиЭ Политикова Д.У.

настоящим актом подтверждает, что встроенная система диагностирования, разработанная на основе *вероятностно-логической модели поиска неисправностей автомобилей*, разработанная Тарасовым А.И., руководитель к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ПГУАС Лянденбургский В.В., внедрены в ФГУП УДС№5 при Спецстрое России г. Рязань ул. Новаторов 9А в производство в Управлении Дорожно-Строительных Работ № 983 с «__» _____ 20__ г.

Результаты работы использованы на предприятии. Применение вероятностно-логического метода поиска неисправностей посредством установки диагностического прибора на автомобили и применения его при диагностировании автомобилей в отрыве от производственной базы: наработка на отказ увеличилась на 16 %, при этом удельные суммарные затраты снизились на 23 % снижение издержек на диагностирование, в зависимости от простоя и затрат на ремонт. Расчетный экономический эффект от внедрения составляет 13719 руб. на один автомобиль в год.

_____ Начальник ОМАиЭ Гологовец Н.П.

_____ Начальника участка Лейкин Д.С.

_____ Старший инженер ОМАиЭ Политиков Д.У.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ООО «ПланетТрансСтрой»
Ольшанский В.И.

Акт внедрения

результатов научно-исследовательских,
опытно-конструкторских и технологических
работ

Комиссия в составе: главного инженера Кондратьева О.В., главного механика Казанцева В.В., коммерческого директора Сычева А.А.

настоящим актом подтверждает, что встроенная система диагностирования, разработанная на основе *вероятностно-логической модели поиска неисправностей автомобилей*, разработанная Тарасовым А.И., руководитель к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ПГУАС Лянденбургский В.В., внедрены в ООО Планета ТрансСтрой г. Пенза ул. Байдукова д.67 в линейное производство с «__» _____ 20__ г.

Результаты работы использованы на предприятии. Применение вероятностно-логической модели поиска неисправностей посредством установки диагностического прибора на автомобили и применения его при диагностировании автомобилей в отрыве от производственной базы: наработка на отказ увеличилась на 16,6 %, при этом удельные суммарные затраты снизились на 23,8 % снижение издержек на диагностирование, в зависимости от простоя и затрат на ремонт. Расчетный экономический эффект от внедрения составляет 12623 руб. на один автомобиль в год.

_____ главный инженер Кондратьев О.В.

_____ главный механик Казанцев В.В.

_____ коммерческий директор Сычев А.А.

**5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ
АВТОРЕФЕРАТА ДИССЕРТАЦИИ**

На правах рукописи

ТАРАСОВ Александр Иванович

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ
В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА
АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орёл – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» на кафедре «Эксплуатации автомобильного транспорта» (ФГБОУ ВПО ПГУАС)

Научный руководитель: **Лянденбургский Владимир Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатации автомобильного транспорта» ФГБОУ ВПО ПГУАС

Официальные оппоненты: **Болдин Адольф Петрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и сервиса» ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Агеев Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили, транспортные системы и процессы» ФГБОУ ВПО «Юго-западный государственный университет» (ЮЗГУ)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»

Защита состоится «27» декабря 2013 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.182.07 при ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» по адресу г. Орёл, ул. Московская, 77, Учебный корпус №7, ауд. ТС-426 (зал защит диссертаций).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» по адресу г. Орёл, ул. Наугорское шоссе, 29, учебный корпус №1. Автореферат размещен на сайтах ВАК РФ (<http://vak.ed.gov.ru>) и ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» (www.gu-unpk.ru).

Автореферат разослан « »ноября 2013 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью организации, просим направлять по адресу: 302030 г. Орёл, ул. Наугорское шоссе, 29.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.Л. Севостьянов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Среди основных факторов, определяющих эффективность эксплуатации автомобилей, ведущее место принадлежит системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), ее научной обоснованности и совершенству, в настоящее время определяемой как планово-предупредительная система (ППС) ТО и Р. Огромное значение в развитии системы ТО и Р имеет диагностирование автомобилей.

Особенно актуальным в настоящее время является совершенствование систем диагностирования дизелей. Широкое распространение получили системы диагностирования как в виде стационарных приборных комплексов, так и встроенных систем диагностирования. Однако применение встроенного диагностирования увеличивает среднюю стоимость автомобилей, использующих компьютерные системы контроля работы двигателя, на 2-5 процентов.

Существующие методы и построенные на их основе приборные комплексы отличаются большой трудоемкостью выполнения диагностирования, высокой ценой и сложностью, поэтому они недоступны автотранспортным предприятиям (АТП) небольшой мощности.

Сложность диагностирования дизельных двигателей и в особенности топливной аппаратуры определяет необходимость применения в практике эксплуатации автомобилей большого набора методов и средств диагностирования двигателей. Применение существующих средств встроенного диагностирования автомобильных дизелей экономически нецелесообразно в силу высокой стоимости диагностического оборудования. Для комплексного диагностирования автомобильных дизелей на малых и средних АТП, а также автоколонн, работающих в отрыве от производственных баз, целесообразна разработка эффективной методики поиска неисправностей дизелей, которая является весьма перспективной в отношении массовой реализации как в средствах внешнего, так и встроенного диагностирования.

В связи с вышеизложенным актуальными являются исследования, связанные с разработкой методики оценки технического состояния дизелей грузовых автомобилей и определения на ее основе оптимальной периодичности профилактики элементов дизеля.

Степень разработанности темы исследования.

Проведенный анализ влияния характерных неисправностей автомобилей на их эксплуатационные показатели, а также анализ в области диагностирования показал необходимость в разработке эффективного метода поиска неисправностей автомобильных дизелей, что подтверждает актуальность диссертации и потенциальную эффективность ее результатов.

Работы в этой области ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как НИИАТе, ГОСНИТИ, МАДИ, СГТУ, ЧГАУ и других организациях. Этим направлением занимались такие ученые, как А.А. Отставнов, Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.А. Корчагин, В.М. Михлин, В.А. Аллилуев, Ю.А. Васильев, А.И. Володин, Л.В. Грехов, В.Т. Данковцев, И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов, А.Г. Кириллов, Е.В. Дмитриевский, И.П. Добролюбов, Н.С. Ждановский, А.С. Денисов, А.С. Гребенников, Н.А. Иващенко, С.В. Камкин, В.Д. Карминский, М.И. Левин, Е.А. Никитин, А.В. Николаенко, А.А. Обозов, Ю.Е. Провиоров, О.Ф. Савченко, А.Н. Соболенко, Б.Н. Файнлейб, Я.А. Борщенко, В.А. Васильев и др. ученые.

В результате выполненных работ предложен ряд методов и средств, позволяющих оценить техническое состояние двигателей в процессе эксплуатации и ремонта автомобилей. Однако в трудах этих ученых недостаточно рассматриваются вопросы влияния комбинации методов на техническое состояние дизелей.

Цель исследования. Целью исследования является повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей на основе вероятностно-логической модели поиска неисправностей.

Задачи исследования:

- Поиск путей совершенствования существующих методов и средств диагностирования дизелей.
- Развитие теоретических положений определения параметров вероятностно-логической модели поиска неисправностей двигателей.
- Выбор элементов, оказывающих наибольшее влияние на техническое состояние дизелей.
- Экспериментальное подтверждение влияния встроенной системы диагностирования на показатели эффективности эксплуатации дизелей.
- Разработка алгоритма встроенной системы диагностирования дизелей с использованием вероятностно-логической модели поиска неисправностей.
- Оценка экономической эффективности внедрения разработанной системы диагностирования дизелей.

Научная новизна исследования состоит в развитии теоретико-методических положений, разработке научных и практических методов, математических моделей оценки технического состояния дизелей грузовых автомобилей.

На защиту выносятся:

1. Теоретико-методические подходы и методика определения технического состояния, встроенная система диагностирования дизелей на основе вероятностно-логической модели поиска неисправностей.

2. Математическая модель вероятностно-логической методики поиска неисправностей двигателей.

3. Результаты исследования эффективности встроенной системы диагностирования на основе предлагаемой методики поиска неисправностей.

4. Алгоритм встроенной системы диагностирования дизелей с использованием разработанной модели поиска неисправностей.

5. Методика, определяющая эффективное использование встроенной системы диагностирования.

Теоретическая значимость заключается в разработке математических моделей и на их основе имитационных моделей, алгоритмов и новых программ для ЭВМ, позволяющих комплексно использовать вероятностно-логическую модель поиска неисправностей, обеспечивающую повышение эффективности эксплуатации автомобилей.

Практическая значимость заключается в разработке вероятностно-логической методики контроля работоспособности, выявления неисправностей и встроенной системы диагностирования дизелей на ее основе, а также структура и алгоритм выявления неисправностей, внедрение которых в технологический процесс технического обслуживания и ремонта позволит повысить эффективность эксплуатации автомобилей.

Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов. В качестве инструментов исследования были использованы основные положения системного анализа, методы экспертной оценки, методы статистического анализа и логического выявления неисправностей. Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных наук, сходимостью полученных теоретических результатов с данными эксперимента и результатами эксплуатации созданного оборудования, а также с результатами исследований других авторов.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы внедрены в производственном объединении автомобильного транспорта ФГУП «УДС № 5 при Спецстрое России» (г. Рязань) и используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ПГУАС при подготовке инженеров автомобильных специальностей.

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены на международной научно-практической конференции "Перспективные направления развития автотранспортного комплекса" (г. Пенза, 2008, 2009, 2011, 2012 г.), международной научно-практической конференции "Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса" (г. Магадан, 2010 г.), Всероссийской научно-технической конференции "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств" (г. Пенза,

2010, 2012 г.), научных семинарах кафедры "Автомобили и автомобильное хозяйство", "Эксплуатации автомобильного транспорта" ПГУАС (2008–2013 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 20 работ, в том числе 7, рекомендованных ВАК для публикации материалов кандидатских диссертаций.

Объем и структура работы. Структура и последовательность изложения результатов диссертационной работы определены целью и задачами исследования. Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных результатов и выводов, содержит 180 стр. текста, 7 табл., 38 рис. Библиографический список включает 136 наименований.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и цель исследования, раскрываются научная новизна и практическая ценность работы, дается общая характеристика исследования, сведения о результатах ее апробации, внедрении и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса, определению цели и формулировке задач исследования.

Сравнительный анализ существующих методов поиска неисправностей дизелей показал, что они отличаются сложностью, большой трудоемкостью, требуют сложного и дорогостоящего оборудования и высокой квалификации оператора. В силу этого их применение целесообразно в сложных диагностических комплексах, предназначенных в автотранспортных предприятиях большой мощности. Поэтому для комплексного решения вопросов диагностирования дизелей на предприятиях малой и средней мощности, а также автоколоннах, работающих в отрыве от производственных баз, целесообразна разработка простой и эффективной модели поиска неисправностей, перспективной в отношении массовой реализации.

При работе автомобиля большинство неисправностей проявляется в виде внешних признаков. Часто внешние признаки проявления различных неисправностей носят одинаковый характер. Зная наиболее часто встречающиеся неисправности, а также их внешние проявления, обнаруживают возникшую неисправность, не проводя излишних проверок и разборок. Нередко прибегают к методам последовательного исключения, вероятностному, время-вероятность, минимакса и т.д. Нами предлагается «вероятностно-логический» метод поиска неисправностей (рис. 1).

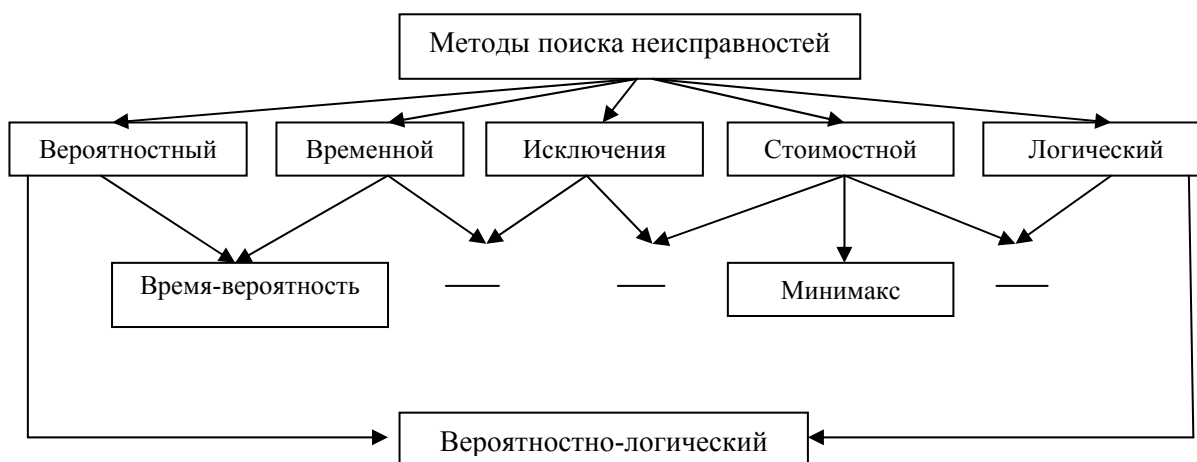


Рисунок 1 – Методы поиска неисправностей

Реализация предлагаемого метода и методики, разработанной на его основе, предполагает установку на автомобиль системы встроенного диагностирования для элементов, наиболее часто выходящих из строя. Для дизельного двигателя таким элементом является топливная система высокого давления. Если неисправность двигателя находится вне системы питания, то с помощью логического блока и несложных операций диагностирования возможно выявление любой неисправности.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям.

Одним из способов определения параметров, необходимых для выявления неисправностей, является введение в рассмотрение вероятностных характеристик. Наиболее адекватным описанием объекта диагностирования и, тем самым, инструментом для отслеживания неисправностей предлагается использование вероятностно-логического коэффициента:

$$K_{вл} = \frac{P_v}{P_{вл}} = \frac{P_v}{P_v + P_l} = \frac{1}{1 + \frac{P_l}{P_v}}, \quad (1)$$

где P_v – параметр вероятностного диагностирования (комплексный показатель); P_l – параметр логического диагностирования (комплексный показатель).

Процесс изучения параметров и показателей системы при помощи контрольно-измерительного оборудования, приборов и инструментов будем характеризовать комплексным показателем, таким, как параметр P_v , который учитывает условие своевременного прекращения эксплуатации автомобиля и проведения ремонта только в случае применения объективного инструментального диагностирования технического состояния. Определение диагностических параметров, поддающихся оценке с помощью органолептических методов или с применением отдельных средств, будем характеризовать логическим параметром P_l .

Для определения коэффициента $K_{ВЛ}$ на первом этапе теоретически обоснован вероятностный подход к выявлению неисправностей автомобилей:

$$P_B(x) = \prod_{j=1}^n \left. \begin{array}{l} P(x_1^{KP} - x_1^D = u_1 > 0) \\ P(x_2^{KP} - x_2^D = u_2 > 0) \\ \dots\dots\dots \\ P(x_N^{KP} - x_N^D = u_N > 0) \end{array} \right\} B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1 \dots z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где $B(x)$ – число проверок изделия за наработку l ; $\sum M_j$ – совокупность элементов, которая помогает находить значение параметра P ; $\sum n_j$ – сумма отказов одного элемента; B_j – минимально необходимое количество проверок на один отказ; z – число при котором использование проверок не рационально.

На втором этапе теоретически представлен логический подход к выявлению неисправностей автомобилей:

$$P_{II}(x) = P_{пл}(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ если } v(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot v(x), \text{ если } v(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, \text{ если } v(x) \leq (0,3 \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где $v(x)$ – коэффициент вариации.

Тогда вероятностно-логический коэффициент примет вид:

$$K_{ВЛ} = [B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1 \dots z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\}] / [B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1 \dots z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\}] +$$

$$+ \prod_{j=1}^n \left. \begin{array}{l} P(x_1^{KP} - x_1^D = u_1 > 0) \\ P(x_2^{KP} - x_2^D = u_2 > 0) \\ \dots\dots\dots \\ P(x_N^{KP} - x_N^D = u_N > 0) \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ если } v(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot v(x), \text{ если } v(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, \text{ если } v(x) \leq (0,3 \end{array} \right\}]. \quad (4)$$

Анализ составляющих данного коэффициента приводит к выводу, что при уменьшении количества датчиков и логическом поиске неисправностей для нахождения значений необходимых параметров системы, снижаются затраты на установку и обслуживание датчиков. Следовательно, чем ниже $K_{ВЛ}$, тем эффективнее работает вероятностно-логическая модель поиска неисправностей.

Не менее важной при определении наиболее эффективной модели поиска неисправностей является составляющая затрат на проведение диагностирования.

Целевая функция издержек на профилактические воздействия без диагностирования элемента с помощью внешних средств имеет вид:

$$I_{\text{БД}} = l^{-1} [C_I \cdot Q_{\text{ип}}(l) + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}}(l) + \Pi \cdot (t_n \cdot Q_{\text{ип}}(l) + t_p \cdot Q_{\text{ир}}(l))], \quad (5)$$

где $C_{\text{д}}$ – затраты на одно диагностирование; C_I и C_{II} – соответственно затраты на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента; Π – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем за 1 час эксплуатации; $Q_{\text{ип}}$ – автомобили, для которых не будет произведено профилактическое техническое обслуживание на пробеге l ; $Q_{\text{ир}}$ – автомобили, для которых будет произведен аварийный ремонт; $t_{\text{д}}$ – время на одно диагностирование; $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{р}}$ – соответственно, время, отведенное на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента.

Издержки на диагностирование с помощью встроенных систем диагностирования, основанных на вероятностно-логическом методе, определяют по формуле

$$I_{\text{В-ЛД}} = l^{-1} [(C_{\text{всд}} + C_{\text{првсд}}) + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}} + \Pi \cdot t_{\text{р}} \cdot Q_{\text{ир}}], \quad (6)$$

где $C_{\text{всд}}$ – стоимость встроенной системы диагностирования; $C_{\text{првсд}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание встроенной системы диагностирования за срок ее службы.

Для определения величины влияния стоимости коэффициент издержек вероятностно-логического метода в общем виде можно записать как

$$K_{\text{И-В-Л}} = \frac{I_{\text{В-ЛД}}}{I_{\text{БД}}}, \quad (7)$$

где $I_{\text{В-ЛД}}$ – издержки вероятностно-логического диагностирования; $I_{\text{БД}}$ – издержки без диагностирования.

Тогда коэффициент издержек определится по формуле

$$K_{\text{И-В-Л}} = \frac{(C_{\text{всд}} + C_{\text{првсд}}) + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}} + \Pi \cdot t_{\text{р}} \cdot Q_{\text{ир}}}{C_I \cdot Q_{\text{ип}} + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}} + \Pi \cdot (t_n \cdot Q_{\text{ип}} + t_p \cdot Q_{\text{ир}})}. \quad (8)$$

Выведенные коэффициенты описывают сложный процесс определения оптимальной модели диагностирования и создают методику принятия решений с использованием коэффициентов вероятностно-логической модели. Анализ составляющих коэффициентов позволяет выбрать исходные данные для эксперимента.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям.

В результате сбора статистической информации об отказах элементов дизельной топливной системы грузовых автомобилей КАМАЗ получены

данные о средней наработке на отказ каждого из элементов; проведено сравнение результатов, собранных в ФГУП «УДС № 5 при Спецстрое России» г. Рязани. В результате проведения анализа экспериментальных данных, полученных по автомобилям КАМАЗ, выявлено, что в исследуемый период более 50 % отказов в двигателе приходится на топливную систему: из них на плунжерную пару топливного насоса высокого давления (ТНВД) 6,7 %; иглу форсунки 11,9 % пружину форсунки 11,2 %, пружину нагнетательного клапана ТНВД 2,6 %.

Анализ наработки на отказ ТНВД указывает, что она может быть описана нормальным законом распределения (рис. 2). Анализ времени простоя автомобиля, в зависимости от способа диагностирования, в котором используется величина наработки и показатель времени, описывается законом распределения Вейбула – Гнеденко (рис. 3).

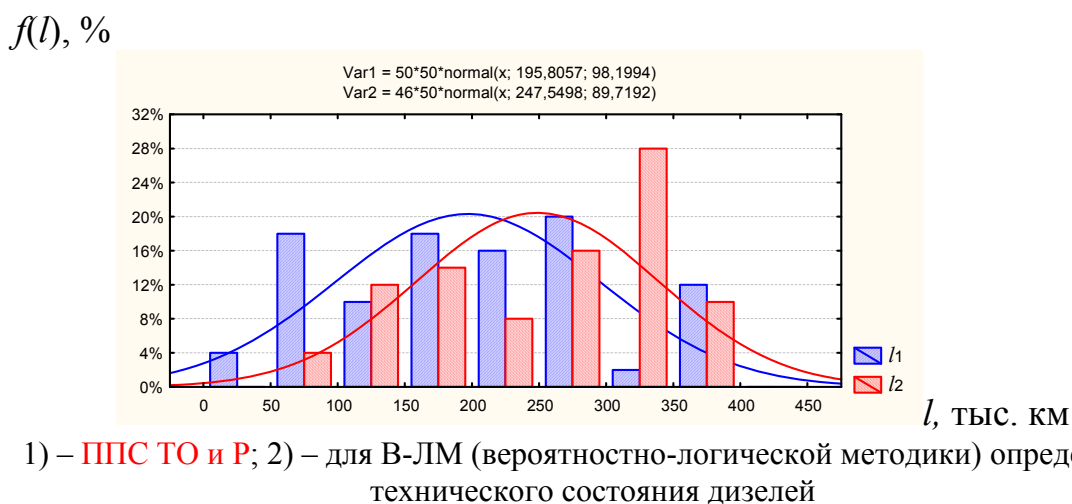


Рисунок 2 – Распределение величины наработки на отказ ТНВД в зависимости от выбора системы диагностирования

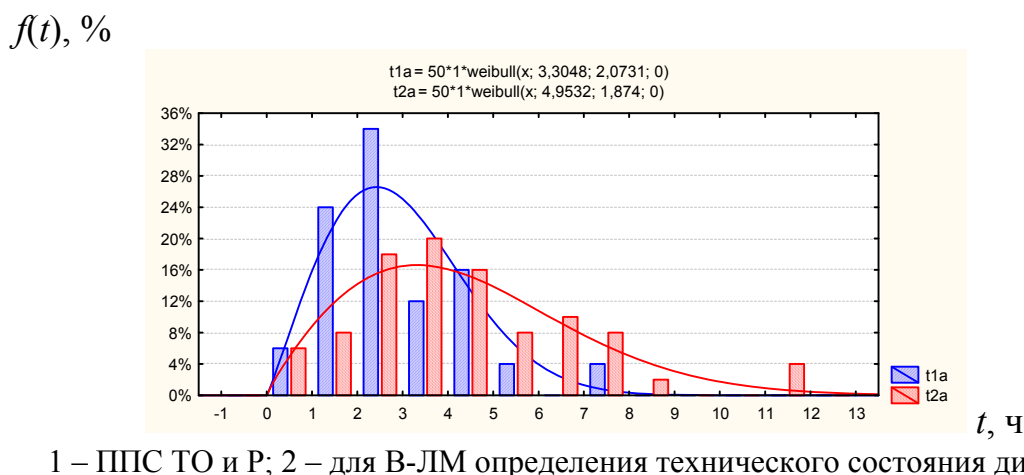


Рисунок 3 – Распределение времени простоя по отказам ТНВД на один автомобиль

Для определения эффективности использования встроенной системы диагностирования наиболее значимыми являются удельные затраты на ремонт C_p , руб./1000 км. Результаты анализа удельных затрат на ремонт в зависимости от способа диагностирования представлены на рис. 4. Полученные значения можно применять для планирования затрат на ремонт, при анализе деятельности малых АТП, с преимущественным преобладанием автомобилей КАМАЗ и МАЗ. Так, например, на один автомобиль КАМАЗ для проведения ремонта топливной аппаратуры в среднем затрачивается 859,80 руб., в 80 % случаев затраты на ремонт составят не более 906,64 руб.

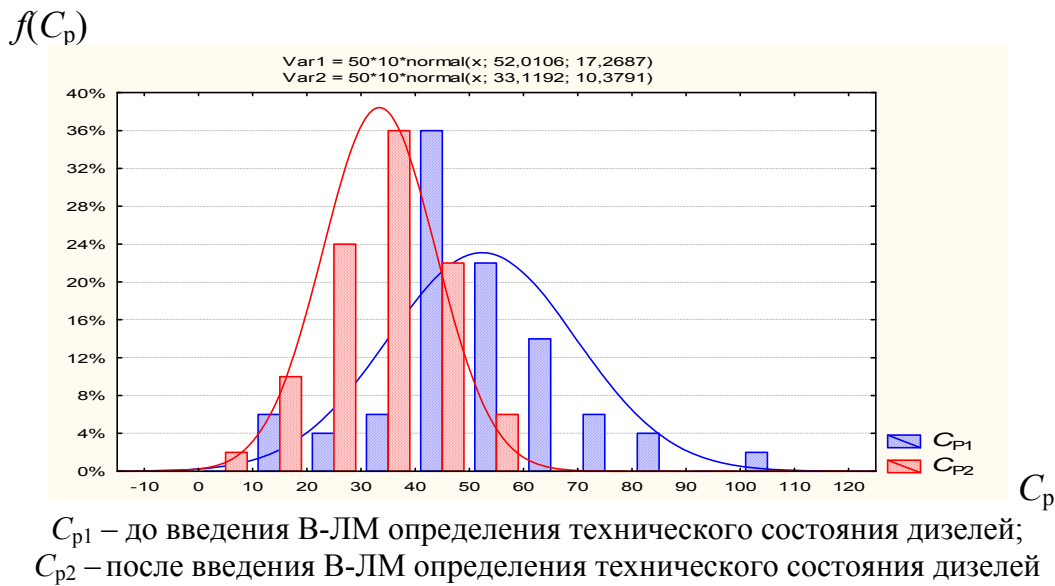


Рисунок 4 – Распределение удельных затрат C_p на ремонт автомобилей на предприятии

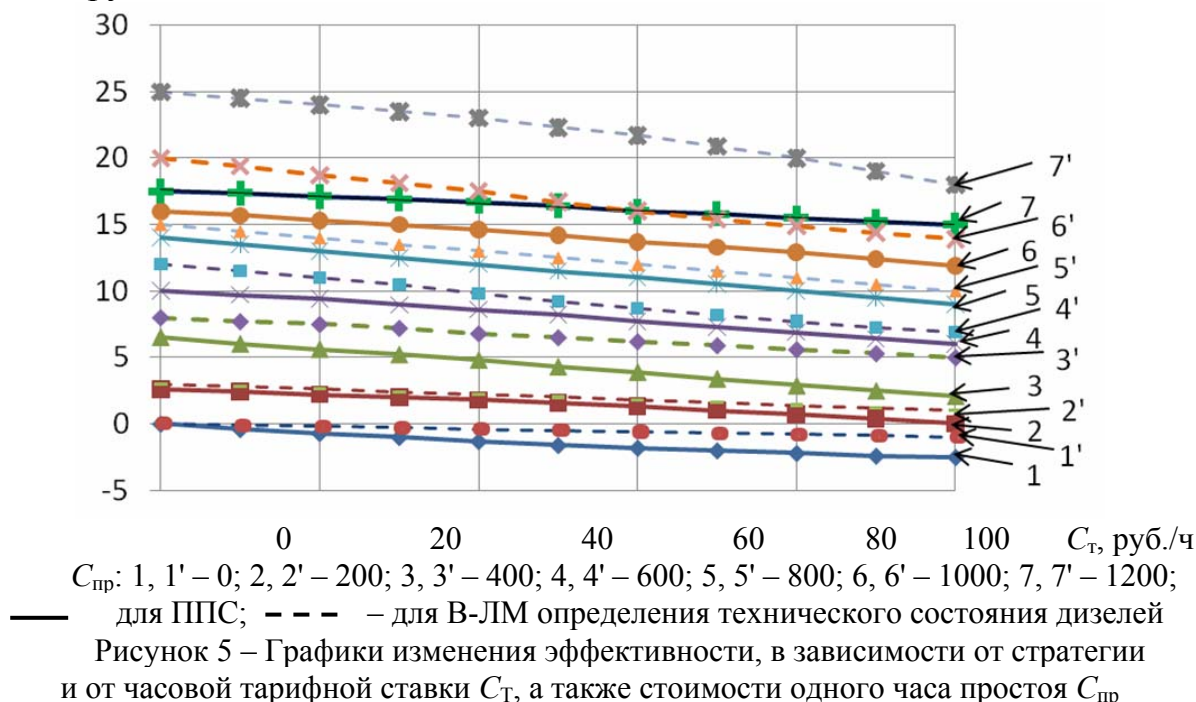
Для встроенного диагностирования на основе В-ЛМ поиска неисправностей по сравнению с ППС средняя наработка на отказ увеличилась на 18,9 %, при этом удельные суммарные затраты снизились на 26,8 %.

При помощи разработанной модели, из теории можно исследовать изменение показателей различных входных характеристик топливной системы. Для прогнозирования убытков автомобилей КАМАЗ были проведены экспериментальные исследования, результатом которых стали показатели по изменению удельных затрат, а также изменения эффективности, в зависимости от стратегии и от часовой тарифной ставки C_T , а также стоимости одного часа простоя $C_{пр}$ (рис.5).

Эффективность \mathcal{E} встроенного диагностирования возрастет с увеличением стоимости одного часа простоя и уменьшается с увеличением тарифной ставки специалиста по диагностированию автомобиля. Применение В-ЛМ нахождения неисправности приведет к уменьшению количества времени, независимо от стоимости нормо-часа. Отметим, что

диагностирование требует более квалифицированного, высокооплачиваемого персонала и, как следствие, приводит к уменьшению эффективности встроенного диагностирования.

Э, руб./1000 км



Полученные нами зависимости показывают, что удельные суммарные затраты, формирующиеся при эксплуатации автомобилей КАМАЗ по стратегии встроенного диагностирования с применением В-ЛМ, увеличиваются при увеличении стоимости одного часа простоя и часовой тарифной ставки.

Эффективность стратегии встроенного диагностирования с использованием В-ЛМ выше, чем при профилактической стратегии. Зависимость эффективности при одном значении стоимости одного часа простоя изменяется незначительно, но при увеличении часовой тарифной ставки, существенно возрастают убытки предприятия, которые находятся в пределах 20–25 руб./1000 км. Таким образом, эффективность профилактической стратегии при увеличении часовой тарифной ставки уменьшается, а эффективность применения встроенного диагностирования с использованием В-ЛМ увеличивается.

Четвертая глава посвящена разработке рекомендаций по реализации и внедрению системы диагностирования дизельных двигателей на основе разработанной модели, а также оценке экономического эффекта ее внедрения в условиях АТП.

Разработанное оборудование, программное обеспечение и алгоритм диагностирования дизельных двигателей являются составными частями системы технического диагностирования дизеля.

Алгоритм работы встроенной системы диагностирования, на основе В-ЛМ поиска неисправностей представлен на рисунке 6.

Разработанный макетный образец (рис. 7) системы технического диагностирования двигателя состоит из трех основных блоков: набора датчиков, интерфейса и программного обеспечения.

Техническая реализация системы технического диагностирования дизеля на основе В-ЛМ может быть различной, в зависимости от условий использования системы и возможностей производства. Однако принципиально возможны два варианта реализации системы диагностирования, отличающиеся типом ЭВМ.

Это может быть специализированная микроЭВМ, интегрированная с интерфейсом датчиков и выполненная в виде переносного прибора – мотор-тестера для дизелей.

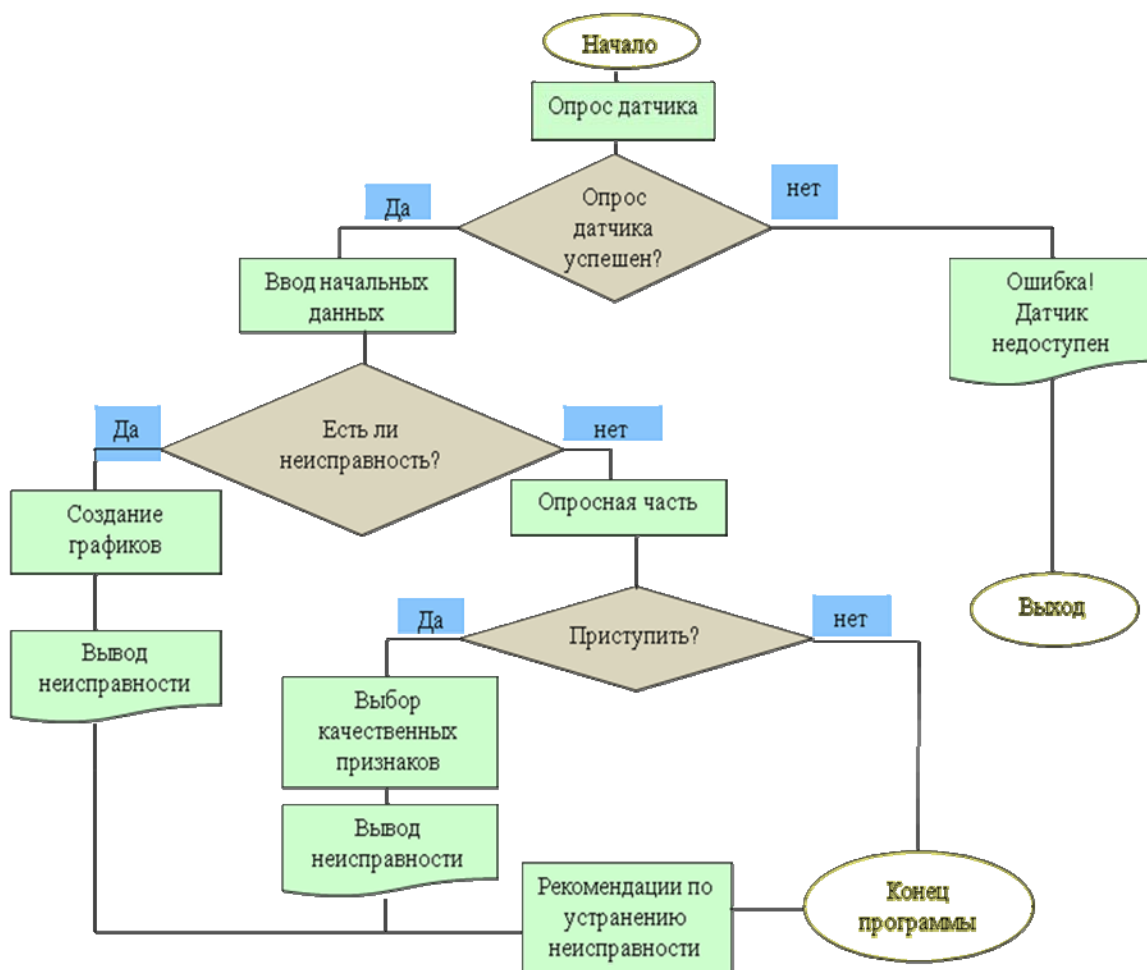


Рисунок 6 – Алгоритм работы встроенной системы диагностирования



Рисунок 7 – Встроенная система диагностирования

Второй вариант реализации системы технического диагностирования дизеля на основе В-ЛМ – использование персональных ЭВМ, как портативных, так и стационарных.

Внедрение системы диагностирования на основе разработанной В-ЛМ позволит снизить затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей, а также повысить показатели эксплуатационной надежности дизелей.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработанных теоретико-прикладных положений, подходов и математических моделей появилась возможность решать важную научно-практическую задачу повышения уровня эффективности эксплуатации автомобилей за счет создания новой модели оценки технического состояния двигателей.

Основные результаты и выводы

1. Для малых и средних АТП, а также автоколонн, работающих в отрыве от производственных баз, на основе анализа разработана методика контроля работоспособности и выявления неисправностей дизелей, перспективная в отношении массового внедрения, с реализацией как в средствах внешнего, так и встроенного диагностирования.

2. Разработана математическая модель обоснования коэффициентов вероятностно-логического $K_{ВЛ}$ и издержек $K_{И}$ для методики контроля работоспособности и выявления неисправностей дизелей, обеспечивающая выбор и использование наиболее приемлемой системы диагностирования.

3. В результате проведения анализа экспериментальных данных, полученных по автомобилям КАМАЗ, выявлено, что в исследуемый период более 50 % отказов в двигателе приходится на топливную систему; из них на плунжерную пару ТНВД 6,7 %; иглу форсунки 11,9 % пружину форсунки 11,2 %, пружину нагнетательного клапана ТНВД 2,6 %.

4. Разработана методика, использующая предложенную вероятностно-логическую модель поиска неисправностей, на основе которой построен алгоритм постановки диагноза технического состояния и предложен прибор для поиска неисправностей и контроля работоспособности дизелей.

5. Разработана методика определения влияния встроенной системы диагностирования на показатели эффективности объектов исследования. Для встроенного диагностирования, на основе В-ЛМ поиска неисправностей по сравнению с ППС, средняя наработка на отказ увеличилась на 18,9 %, при этом удельные суммарные затраты снизились на 26,8 %.

6. Разработан и внедрен в производственный процесс ТО и ремонта автомобилей ФГУП «УДС № 5 при Спецстрое России» г. Рязани макетный образец прибора для диагностирования дизелей. Положительной особенностью прибора является возможность выявления наиболее вероятных неисправностей, используя датчик давления и вероятностную составляющую В-ЛМ поиска неисправностей, а наименее вероятные неисправности выявляются с помощью вероятностной и логической составляющих.

7. Экономический эффект совершенствования методики поиска неисправностей дизелей обеспечивается в результате снижения среднего эксплуатационного расхода топлива за счет улучшения технического состояния двигателя в результате внедрения В-ЛМ поиска неисправностей, исключения трудовых затрат на демонтно-монтажные операции исправных узлов и агрегатов, имеющих место при ППС ТО и Р автомобильного транспорта, сокращения потерь транспортной работы, из-за раннего возврата с линии и опоздания с выездом на линию. Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий по совершенствованию методики диагностирования дизелей составляет 13719 руб. на один автомобиль в год.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Тарасов, А.И. Эффективность применения систем диагностирования и саморегулирования при эксплуатации автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 1. – С. 51-56.

2. Тарасов, А.И. Анализ неисправностей топливных систем дизельных автомобилей / С.А. Кривобок, В.В. Лянденбургский, А.А. Тарасов, А.В. Фе-

досков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 3. – С. 3-11.

3. Тарасов, А.И. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, С.А. Кривобок // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 4. – С. 3-9.

4. Тарасов, А.И. Программа поиска неисправностей дизельных двигателей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, С.А. Кривобок // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 8. – С. 28-33.

5. Тарасов, А.И. Совершенствование датчиков давления топлива дизельных двигателей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Д.А. Коломеец // Интернет-журнал. – М.: Науковедение, 2013. – № 1. – С. 28-39.

6. Тарасов, А.И. Вероятностный подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.И. Тарасов, И.Е. Долганов // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – № 1. – С. 26-33.

7. Тарасов, А.И. Логический подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Р.Р. Сейфетдинов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 5. – С. 194-198.

Прочие публикации

8. Тарасов, А.И. Комбинированная система технического обслуживания и ремонта автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов // Материалы I международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2008. – С. 83-85.

9. Тарасов, А.И. Модифицированный технико-экономический метод технического обслуживания автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, И.Е. Ильина // Материалы II международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2009. – С. 147-150.

10. Тарасов, А.И. Вероятностный подход к построению модели технического состояния автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 55-61.

11. Тарасов, А.И. Статистическая модель выбора оптимальных интервалов технического обслуживания автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса. – Магадан: СВГУ, 2010. – С. 193-196.

12. Тарасов, А.И. Экспериментальные исследования отказов автомобилей КАМАЗ. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, С.А. Кри-

вобок // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 135-137.

13. Тарасов, А.И. Анализ отказов топливных систем дизельных автомобилей, эксплуатируемых в условиях России. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, К.А. Абрамов // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 132-135.

14. Тарасов, А.И. Характеристика отказов топливных систем дизельных автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, А.Н. Потапов // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 137-140.

15. Тарасов, А.И. Методика экспериментальных исследований отказов дизельных автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С.191-193.

16. Тарасов, А.И. Анализ отказов топливных систем дизельных автомобилей. Проблемы развития строительной отрасли. Теория и практика / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, С.А. Кривобок, К.А. Абрамов // Материалы конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 261-263.

17. Тарасов, А.И. Роль диагностирования в повышении технической эксплуатации автомобилей. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Е.В. Кравченко, А.А. Бердников // Материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 56-60.

18. Тарасов, А.И. Неисправности и их влияние на состояние дизельного двигателя / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Е.В. Кравченко, А.А. Бердников // Материалы V международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2012. – С. 56-60.

19. Тарасов, А.И. Встроенная система диагностирования автомобиля / В.В. Лянденбургский, С.А. Кривобок, А.И. Тарасов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. – Пенза: ПГУАС, 2012. – С. 39-44.

20. Тарасов, А.И. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей: моногр. / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 217 с.

ТАРАСОВ Александр Иванович

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ
В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати

Формат 60x84 1/16

Заказ

Усл.п.л. 1,0

Тираж 100

Бумага тип. № 1

Уч.изд.л. 1,0

Издательство ПГУАС.
440028 г. Пенза, ул. Германа Титова 28.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Овладев навыками научного исследования и написания научных работ, выпускник учебного заведения с успехом может использовать приобретенный опыт для умножения своих знаний, повышения качества практической деятельности, а также для получения послевузовского образования в виде обучения в аспирантуре или в порядке соискательства.

Основными задачами экспериментальных исследований является правильный подход в процессе сбора информации при проведении отсеивающих экспериментов, сравнительный эксперимент и испытания. Анализ методов и средств проведения экспериментальных исследований позволяет сократить время на исследование при использовании компьютерного обеспечения.

Обработка результатов экспериментальных исследований может выполняться с использованием компьютерных программ таких, как **Mathcad**, **STATISTICA**, пакеты компьютерных программ для статистической обработки данных. Включает в себя модули: *Основные статистики и таблицы, Непараметрическая статистика, Дисперсионный анализ, Множественная регрессия, Нелинейное оценивание, Анализ временных рядов и прогнозирование, Кластерный анализ, Факторный анализ, Дискриминантный функциональный анализ, Анализ длительностей жизни, Каноническая корреляция, Моделирование структурных уравнений* и др.

Исходя из задач, наиболее часто стоящих перед исследователем, в пособии приведены несколько примеров их решения. Более подробно обработка аналогичных и иных задач дана в специальной литературе. К сожалению, в основном используются англоязычные версии пакета, что затрудняет анализ полученных данных. В связи с этим приведен перевод наиболее часто встречающихся показателей.

С учетом этого предполагается непрерывная корректировка содержания настоящего пособия посредством его переиздания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Болдин, А.П. Основы научных исследований и УНИРС. Часть II. Специальные методы и методологические подходы [Текст]: учеб. пособие / А.П. Болдин, В.А. Максимов. – М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2004. – 181 с.
2. Кулько, П.А. Основы научных исследований [Текст]: учеб. пособие / П.А. Кулько. – Волгоград: РПК «Политехник», 2005. – 128 с.
3. Малкин, В.С. Основы научных исследований [Текст]: учеб. пособие / В.С. Малкин. – Тольятти: Изд-во Тольяттинского ГУ, 2006. – 131 с.
4. Ключников, В.И. Основы научных исследований [Текст]: учеб. пособие / В.И. Ключников. – Воронеж: Изд-во Воронежской ГЛТА, 2002. – 88 с.
5. Сидняев, Н.И. Введение в теорию планирования эксперимента [Текст]: учебник / Н.И. Сидняев, Н.Т. Вилисова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 381 с.
6. Мальцев, Ю.А. Основы научных исследований [Текст]: учеб. пособие / Ю.А. Мальцев. – Балашиха: Изд-во ВТУ, 2003. – 277 с.
7. Резник, Л.Г. Введение в научное исследование. Обработка результатов экспериментов [Текст]: учеб. пособие / Л.Г. Резник, В.Н. Карнаухов, П.В. Евтин. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2009. – 92 с.
8. Иванов С.Е. Спецглавы надежности, планирование экспериментов и инженерных наблюдений [Текст]: учеб. пособие / С.Е. Иванов. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 142 с.
9. Болдин А.П. Основы научных исследований [Текст]: учебник / А.П. Болдин, В.А. Максимов. – М.: ИЦ «Академия», 2012. – 336 с.

Дополнительная литература

10. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер [и др.]. – М.: Наука, 1978. – 210 с.
11. Болдин, А.П. Основы научных исследований и УНИРС [Текст] / А.П. Болдин. – М.: МАДИ-ГТУ, 2002. – 276 с.
12. Боровиков, В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов [Текст] / В.П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
13. Боровиков, В.П. Популярное введение в программу STATISTICA [Текст] / В.П. Боровиков. – М.: Компьютер пресс, 1998. – 267 с.
14. Боровиков, В.П. STATISTICA: статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. – М.: ИИД Филинь, 1997 – 608 с.
15. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 159 с.
16. Виноградов, В.И. Основные принципы формирования научной работы, этапы ее организации и выполнения [Текст]: метод. рекомендации / В.И. Виноградов, В.В. Лазовский. – 2-е изд., доп. – Новосибирск, 1983. – 50 с.

17. Иванов, А.С. Методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Основы теории надежности и диагностика» [Текст] / А.С. Иванов. – Пенза: ПГСХА, 2000. – 32 с.
18. Капустин, В.П. Основы научных исследований и патентоведения [Текст] / В.П. Капустин. – Тамбов: ТГТУ, 1996. – 86 с.
19. Клейнен, Д. Статистические методы в имитационном моделировании [Текст] / Д. Клейнен. – М.: Статистика, 1978. – 336 с.
20. Mathcad 6.0 PLUS. Финансовые, инженерные и научные расчеты в среде Windows 95 [Текст] / Перевод с англ. – М.: ИИД Филинь, 1996. – 712 с.
21. Кирьянов, Д.В. Самоучитель Mathcad 2001 [Текст] / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2001. – 544 с.
22. Коптев, В.В. Основы научных исследований и патентоведения [Текст] / В.В. Коптев, В.А. Богомягих, М.Ф. Трифонова. – М.: Колос, 1983. – 144 с.
23. Очков, В.Ф. Mathcad PLUS 6.0 для студентов и инженеров [Текст] / В.Ф. Очков. – М.: Компьютерпресс, 1996. – 238 с.
24. Серый, И.С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения [Текст] / И.С. Серый. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
25. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
26. Трифонова, М.Ф. Основы научных исследований [Текст] / М.Ф. Трифонова, П.М. Заика, А.П. Устюжанин. – М.: Колос, 1993. – 240 с.
27. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1968. – 285 с.
28. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М., 1965. – 285 с.
29. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования [Текст] / В.А. Веников. – М.: Наука, 1976. – 305 с.
30. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 476 с.
31. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 1969. – 480 с.
32. Дмитриева, Л.С. Планирование эксперимента в вентиляции и кондиционировании воздуха [Текст] / Л.С. Дмитриева, Л.В. Кузьмина, Л.М. Мошкарнев. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1984. – 210 с.
33. Доспехов, В.А. Методика полевого опыта [Текст] / В.А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 80 с.
34. Карасев, А.И. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / А.И. Карасев. – М.: Наука, 1979. – 314 с.
35. Логика научного исследования [Текст] / Под ред. П.Э. Копнина и М.В. Поповича. – М.: Наука, 1965. – 32 с.
36. Румшинский, Л.В. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л.В. Румшинский. – М.: Наука, 1979. – 314 с.

37. Успенская, Л.Б. Математическая статистика в вентиляционной технике [Текст] / Л.Б. Успенская. – М.: Стройиздат, 1980. – 108 с.

38. Шепелев, И.Г. Математические методы и модели управления в строительстве [Текст] / И.Г. Шепелев. – М.: Высшая школа, 1980. – 216 с.

39. Баженов, А.В. Организация научных исследований [Текст]: учеб. пособие / А.В. Баженов, С.В. Чекайкин. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 78 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 Планы экспериментов второго порядка, близкие к D-оптимальным

План трехфакторного эксперимента

№ п/п	X1	X2	X3	№ п/п	X1	X2	X3
1	1	1	1	8	-1	-1	-1
2	1	1	-1	9	1	0	0
3	1	-1	1	10	-1	0	0
4	1	-1	-1	11	0	1	0
5	-1	1	1	12	0	-1	0
6	-1	1	-1	13	0	0	1
7	-1	-1	1	14	0	0	-1

План четырехфакторного эксперимента

№ п/п	X1	X2	X3	X4	№ п/п	X1	X2	X3	X4
1	1	1	1	1	13	-1	-1	1	1
2	1	1	1	-1	14	-1	-1	1	-1
3	1	1	-1	1	15	-1	-1	-1	1
4	1	1	-1	-1	16	-1	-1	-1	-1
5	1	-1	1	1	17	1	0	0	0
6	1	-1	1	-1	18	-1	0	0	0
7	1	-1	-1	1	19	0	1	0	0
8	1	-1	-1	-1	20	0	-1	0	0
9	-1	1	1	1	21	0	0	1	0
10	-1	1	1	-1	22	0	0	-1	0
11	-1	1	-1	1	23	0	0	0	1
12	-1	1	-1	-1	24	0	0	0	-1

План пятифакторного эксперимента

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5
1	1	1	1	1	1	15	1	1	-1	1	-1
2	-1	-1	1	1	1	16	-1	-1	-1	1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1	17	0	0	0	0	0
4	1	-1	-1	-1	-1	18	1	0	0	0	0
5	-1	1	-1	1	1	19	-1	0	0	0	0
6	1	-1	-1	1	1	20	0	1	0	0	0
7	1	1	1	-1	-1	21	0	-1	0	0	0
8	-1	-1	1	-1	-1	22	0	0	1	1	0
9	-1	1	1	-1	-1	23	0	0	-1	0	0
10	1	-1	1	1	-1	24	0	0	0	1	0
11	1	1	-1	-1	1	25	0	0	0	-1	0
12	-1	-1	-1	-1	1	26	0	0	0	0	1
13	-1	1	1	-1	1	27	0	0	0	0	-1
14	1	-1	1	-1	1						

Приложение 2
Матрицы оптимальных планов для описания поверхности
отклика полиномом второго порядка

План для четырех факторов (Бокса В₄)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	№ п/п	X1	X2	X3	X4
1	1	1	1	1	13	-1	-1	1	1
2	1	1	1	-1	14	-1	-1	1	-1
3	1	1	-1	1	15	1	-1	-1	1
4	1	1	-1	-1	16	-1	-1	-1	-1
5	1	-1	1	1	17	1	0	0	0
6	1	-1	1	-1	18	-1	0	0	0
7	1	-1	-1	1	19	0	1	0	0
8	1	-1	-1	-1	20	0	-1	0	0
9	-1	1	1	1	21	0	0	1	0
10	-1	1	1	-1	22	0	0	-1	0
11	-1	1	-1	1	23	0	0	0	1
12	-1	1	-1	-1	24	0	0	0	-1

План для четырех факторов (Хартли-Коно На-Ко₃₄)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	№ п/п	X1	X2	X3	X4
1	1	-1	-1	-1	10	0	1	-1	1
2	-1	1	-1	-1	11	-1	0	-1	-1
3	-1	-1	1	-1	12	1	0	1	1
4	1	1	1	-1	13	-1	1	-1	0
5	1	-1	-1	1	14	-1	0	1	1
6	-1	1	-1	1	15	0	1	1	-1
7	-1	-1	1	1	16	1	-1	1	0
8	1	1	1	1	17	1	-1	0	1
9	0	0	0	0	18	0	-1	1	-1

План для пяти факторов (Бокса В5)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	22	-1	1	-1	1	-1
2	1	1	1	1	-1	23	-1	1	-1	-1	1
3	1	1	1	-1	1	24	-1	1	-1	-1	-1
4	1	1	1	-1	-1	25	-1	-1	1	1	1
5	1	1	-1	1	1	26	-1	-1	1	1	-1
6	1	1	-1	1	-1	27	-1	-1	1	-1	1
7	1	1	-1	-1	1	28	-1	-1	1	-1	-1
8	1	1	-1	1	-1	29	-1	-1	-1	1	1
9	1	-1	1	1	1	30	1	-1	-1	1	-1
10	1	-1	1	1	-1	31	1	-1	-1	1	1
11	1	-1	1	1	1	32	-1	-1	1	-1	-1
12	1	-1	1	-1	-1	33	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	1	-1	-1	1	1	34	-1	0	0	0	0
14	1	-1	-1	1	1	35	0	1	0	0	0
15	1	-1	1	-1	1	36	0	-1	0	0	0
16	1	-1	-1	-1	-1	37	0	0	1	0	0
17	-1	1	1	1	1	38	0	0	-1	0	0
18	-1	1	1	1	-1	39	0	0	0	1	0
19	-1	1	1	-1	1	40	0	0	0	1	0
20	-1	1	1	-1	1	41	0	0	0	0	1
21	-1	1	-1	1	1	42	0	0	0	0	-1

План для пяти факторов (Хартли Ha₅)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5
1	1	1	1	1	1	15	1	1	-1	1	-1
2	-1	-1	1	1	1	16	-1	-1	-1	1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1	17	0	0	0	0	0
4	1	-1	-1	-1	-1	18	1	0	0	0	0
5	-1	1	-1	1	1	19	-1	0	0	0	0
6	1	-1	-1	1	1	20	0	1	0	0	0
7	1	1	1	-1	-1	21	0	-1	0	0	0
8	-1	-1	1	-1	-1	22	0	0	1	0	0
9	1	1	1	1	-1	23	0	0	-1	0	0
10	1	-1	1	1	-1	24	0	0	0	1	0
11	1	1	-1	-1	1	25	0	0	0	-1	0
12	-1	-1	-1	-1	1	26	0	0	0	0	1
13	-1	1	1	-1	1	27	0	0	0	0	-1
14	1	-1	1	-1	1						

План для пяти факторов (Кифера Ki₇₅)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	27	-1	-1	1	-1	1
2	1	1	1	1	-1	28	-1	-1	1	-1	-1
3	1	1	1	-1	1	29	-1	-1	-1	1	1
4	1	1	1	-1	-1	30	-1	-1	-1	1	-1
5	1	1	-1	1	1	31	-1	-1	-1	-1	1
6	1	1	-1	1	-1	32	-1	-1	-1	-1	-1
7	1	1	-1	-1	1	33	0	0	1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	34	1	0	0	1	1
9	1	-1	1		1	35	0	0	-1	-1	1
10	1	-1	1		-1	36	1	-1	1	0	0
11	1	-1	1	-	1	37	0	-1	0	1	1
12	1	-1	1	-	-1	38	-1	0	0	1	1
13	1	1	-1		1	39	-1	0	1	1	0
14	1	-1	1	1	1	40	1	1	0	1	0
15	1	-1	-1	1	1	41	1	0	0	-1	-1
16	1	-1	-1	-1	-1	42	1	0	-1	0	-1
17	-1	1	1	1	1	43	0	1	-1	1	0

Продолжение прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	-1	1	1	1	-1	44	0	1	0	-1	1
19	-1	1	1	-1	1	45	1	0	0	-1	1
20	-1	1	1	-1	-1	46	-1	0	1	0	-1
21	-1	1	-1	1	1	47	0	1	1	-1	0
22	1	1	-1	1	1	48	1	1	-1	0	0
23	-1	1	-1	-1	1	49	1	1	0	-1	0
24	-1	1	-1	-1	-1	50	0	-1	-1	0	1
25	-1	-1	1	1	1	51	-1	0	-1	0	-1
26	-1	-1	1	1	-1	52	-1	0	-1	-1	0

План для шести факторов (Коно Ко₅₆)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	45	1	1	-1	0	1	1
2	1	1	-1	-1	1	1	46	-1	1	-1	1	1	0
3	1	-1	1	1	1	-1	47	0	1	-1	1	-1	1
4	-1	1	1	1	-1	1	48	0	-1	1	1	-1	1
5	1	1	-1	-1	-1	-1	49	1	-1	0	1	-1	1
6	-1	-1	-1	-1	1	1	50	1	-1	-1	0	1	1
7	1	-1	1	1	-1	1	51	-1	1	1	-1	-1	0
8	-1	1	1	1	1	-1	52	1	-1	-1	0	-1	1
9	1	-1	1	-1	-1	-1	53	1	1	-1	1	1	0
10	-1	-1	-1	1	1	-1	54	1	-1	1	1	0	-1
11	1	1	-1	1	-1	1	55	1	1	-1	1	0	1
12	-1	1	1	-1	1	1	56	-1	-1	0	-1	1	1
13	-1	1	1	-1	-1	-1	57	1	-1	0	-1	-1	1
14	-1	-1	-1	1	-1	1	58	-1	0	1	1	-1	1
15	1	-1	1	-1	1	1	59	1	0	1	-1	-1	-1
16	1	1	-1	1	1	-1	60	1	-1	1	-1	-1	0
17	1	-1	-1	-1	1	-1	61	1	-1	1	0	1	-1
18	-1	1	-1	-1	-1	1	62	-1	-1	0	1	-1	1
19	-1	-1	1	1	-1	-1	63	1	1	-1	0	-1	-1
20	1	1	1	1	1	1	64	-1	0	1	-1	-1	-1
21	1	-1	-1	-1	-1	1	65	-1	1	1	1	-1	0
22	-1	1	-1	-1	1	-1	66	-1	1	0	1	1	-1
23	1	1	1	1	-1	-1	67	1	0	1	1	-1	1
24	-1	-1	1	1	1	1	68	-1	1	-1	-1	-1	0
25	1	1	-1	1	-1	-1	69	1	0	-1	1	1	-1
26	-1	-1	1	-1	1	-1	70	-1	1	-1	-1	1	0
27	1	1	1	-1	-1	1	71	-1	0	1	1	1	-1
28	-1	1	-1	1	1	1	72	1	-1	1	0	-1	1
29	-1	1	-1	1	-1	-1	73	-1	0	-1	1	-1	-1
30	-1	-1	1	-1	-1	1	74	-1	-1	-1	1	1	0
31	1	1	1	-1	1	-1	75	-1	1	1	0	-1	1
32	1	-1	-1	1	1	1	76	1	1	1	0	-1	-1
33	0	0	0	0	0	0	77	1	-1	-1	1	1	0
34	0	0	0	0	0	0	78	-1	-1	-1	0	-1	-1

Продолжение прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
35	-1	-1	0	1	1	-1	79	1	0	1	1	1	1
36	1	1	0	1	1	1	80	-1	1	1	0	1	-1
37	1	-1	0	-1	-1	-1	81	-1	0	-1	-1	-1	1
38	-1	-1	-1	-1	-1	-1	82	1	-1	1	0	1	1
39	0	1	-1	1	1	1	83	1	0	-1	-1	-1	1
40	0	1	-1	-1	1	-1	84	-1	-1	-1	-1	0	-1
41	0	1	-1	-1	1	-1	85	-1	1	1	1	1	0
42	0	1	1	-1	1	1	86	1	1	0	-1	1	-1
43	1	0	-1	1	-1	-1	87	0	1	1	1	1	-1
44	-1	-1	1	1	1	0	88	0	-1	1	-1	1	-1

План для пяти факторов (Вестлейна W₅)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5
1	1	1	1	1	-1	13	1	0	0	0	0
2	1	1	1	-1	-1	14	-1	0	0	0	0
3	-1	1	1	-1	1	15	0	1	0	0	0
4	-1	1	1	1	-1	16	0	-1	0	0	0
5	1	-1	1	1	1	17	0	0	1	0	0
6	1	-1	-1	-1	1	18	0	0	-1	0	0
7	-1	-1	1	-1	1	19	0	0	0	1	0
8	-1	-1	-1	1	1	20	0	0	0	-1	0
9	-1	1	-1	-1	1	21	0	0	0	0	1
10	1	1	1	1	1	22	0	0	0	0	-1
11	1	1	-1	1	1	23	0	0	0	0	0
12	1	1	1	-1	1						

План для шести факторов (Хартли-Коно На-Ко₆₆)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	-1	-1	-1	-1	1	1	23	-1	1	1	-1	0	1
2	-1	-1	-1	1	-1	1	24	1	-1	1	0	-1	1
3	-1	-1	1	-1	-1	1	25	-1	0	1	-1	-1	-1
4	-1	-1	1	1	1	1	26	-1	1	0	1	1	1
5	-1	1	-1	-1	1	-1	27	1	0	-1	-1	-1	-1
6	-1	1	-1	1	-1	-1	28	0	-1	1	-1	-1	1
7	-1	1	1	-1	-1	-1	29	-1	-1	-1	0	1	1
8	-1	1	1	1	1	-1	30	1	1	1	0	1	1
9	1	-1	-1	-1	1	-1	31	-1	0	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1	-1	-1	32	0	-1	1	-1	1	1
11	1	-1	1	-1	-1	-1	33	1	1	-1	-1	0	1
12	1	-1	1	1	1	-1	34	1	-1	-1	1	-1	0
13	1	1	-1	-1	1	1	35	1	1	-1	0	-1	-1
14	1	1	-1	1	1	1	36	1	0	1	-1	1	1
15	1	1	1	-1	-1	1	37	0	-1	-1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	38	-1	1	-1	1	1	0
17	0	0	0	0	0	0	39	1		1	1	0	-1
18	1	-1	0	1	1	1	40	-1	-1	0	-1	-1	1

Окончание прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19	0	1	1	1	-1	1	41	1	-1	-1	0	-1	1
20	-1	-1	-1	0	1	-1	42	0	1	-1	-1	1	-1
21	-1	-1	-1	1	0	1	43	-1	1	0	1	1	-1
22	0	-1	-1	1	1	-1	44	-1	0	-1	1	-1	1

План для шести факторов (Хартли На₆)

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	-1	-1	-1	-1	1	1	16	1	1	1	1	1	1
2	-1	-1	-1	1	-1	1	17	0	0	0	0	0	0
3	-1	-1	1	-1	-1	1	18	1	0	0	0	0	0
4	-1	-1	1	1	1	1	19	-1	0	0	0	0	0
5	-1	1	-1	-1	1	-1	20	0	1	0	0	0	0
6	-1	1	-1	1	-1	-1	21	0	-1	0	0	0	0
7	-1	1	1	-1	-1	-1	22	0	0	1	0	0	0
8	-1	1	1	1	1	-1	23	0	0	-1	0	0	0
9	1	-1	-1	-1	1	-1	24	0	0	0	1	0	0
10	1	-1	-1	1	-1	-1	25	0	0	0	-1	0	0
11	1	-1	1	-1	-1	-1	26	0	0	0	0	1	0
12	1	-1	1	1	1	-1	27	0	0	0	0	-1	0
13	1	1	-1	-1	1	1	28	0	0	0	0	0	1
14	1	1	-1	1	-1	1	29	0	0	0	0	0	-1
15	1	1	1	-1	-1	1							

План для трех факторов (Бокса В₃)

№ п/п	X1	X2	X3	№ п/п	X1	X2	X3
1	1	1	1	8	-1	-1	-1
2	-1	1	1	9	1	0	0
3	1	-1	1	10	-1	0	0
4	-1	-1	1	11	0	1	0
5	1	1	-1	12	0	-1	0
6	-1	1	-1	13	0	0	1
7	1	-1	-1	14	0	0	-1

План для двух факторов (Бокса В₂)

№ п/п	X1	X2	№ п/п	X1	X2	№ п/п	X1	X2
1	1	1	4	-1	-1	7	0	1
2	-1	1	5	1	0	8	0	-1
3	1	-1	6	-1	0			

Приложение 3
Матрица некомпозиционного плана второго порядка

Матрица некомпозиционного плана второго порядка для трех факторов
(выборка из плана эксперимента типа 3^3)

№ п/п	X0	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X12	X22	X32	У
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Матрица некомпозиционного плана второго порядка для четырех факторов
(выборка из плана эксперимента 3^4)

№ п/п	X0	X1	X2	X3	X4	№ п/п	X0	X1	X2	X3	X4
1	+	+	+	0	0	15	+	0	+		0
2	+	+	-	0	0	16	+	0	-	+	0
3	+	-	+	0	0	17	+	0	-		0
4	+	-	-	0	0	18	+	0	0	0	0
5	+	0	0	+	+	19	+	+	0	+	0
6	+	0	0	+	-	20	+	+	0	-	0
7	+	0	0	-	+	21	+	-	0	+	0
8	+	0	0	-	-	22	+	-	0	-	0
9	+	0	0	0	0	23	+	0	+	0	+
10	+	+	0	0	+	24	+	0	+	0	-
11	+	+	0	0	-	25	+	0	-	0	+
12	+	-	0	0	+	26	+	0	-	0	-
13	+	-	0	0	-	27	+	0	0	0	0
14	+	0	+	+	0						

Окончание прил. 3

Матрица некомпозиционного плана второго порядка для пяти факторов
(выборка из плана эксперимента 35⁵)

№ п/п	X0	X1	X2	X3	X4	X5	№ п/п	X0	X1	X2	X3	X4	X5
1	+	+	+	0	0	0	24	+	0	+	+	0	0
2	+	+	-	0	0	0	25	+	0	+	-	0	0
3	+	-	+	0	0	0	26	+	0	-	+	0	0
4	+	-	-	0	0	0	27	+	0	-	-	0	0
5	+	0	0	+	+	0	28	+	+	0	0	+	0
6	+	0	0	+	-	0	29	+	+	0	0	-	0
7	+	0	0	-	+	0	30	+	-	0	0	+	0
8	+	0	0	-	-	0	31	+	-	0	0	-	0
9	+	0	+	0	0	+	32	+	0	0	+	0	+
10	+	0	+	0	0	-	33	+	0	0	+	0	-
11	+	0	-	0	0	+	34	+	0	0	-	0	+
12	+	0	-	0	0	-	35	+	0	0	-	0	-
13	+	+	0	+	0	0	36	+	+	0	0	0	+
14	+	+	0	-	0	0	37	+	+	0	0	0	-
15	+	-	0	+	0	0	38	+	-	0	0	0	+
16	+	-	0	-	0	0	39	+	-	0	0	0	-
17	+	0	0	0	+	+	40	+	0	+	0	+	0
18	+	0	0	0	+	-	41	+	0	+	0	-	0
19	+	0	0	0	-	+	42	+	0	-	0	+	0
20	+	0	0	0	-	-	43	+	0	-	0	-	0
21	+	0	0	0	0	0	44	+	0	0	0	0	0
22	+	0	0	0	0	0	45	+	0	0	0	0	0
23	+	0	0	0	0	0	46	+	0	0	0	0	0

Максимальные незначимые численные значения выборочного
коэффициента корреляции

k=n-2	α		k=n-2	α		k=n-2	α	
	0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
1	0,997	0,9999	15	0,482	0,606	80	0,217	0,283
3	0,878	0,959	20	0,423	0,537	100	0,195	0,254
5	0,755	0,875	30	0,349	0,449	200	0,140	0,180
7	0,666	0,798	40	0,304	0,393	400	0,100	0,130
10	0,576	0,708	50	0,273	0,354	700	0,070	0,100
						1000	0,060	0,090

Значение критерия Ирвина λ

N	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,99$	N	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,99$	N	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,99$	N	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,99$
2	2,8	3,7	10	1,5	1,7	30	1,2	2,0	100	1,0	1,5
3	2,2	2,9	20	1,3	1,6	50	1,1	1,8	400	0,9	1,3

Приложение 4
Критические значения статистики Дарбина-Уотсона
(нижний-верхний уровень) для $\alpha=0,05$

Число наблюдений	Число предиктов (независимых переменных)				
	1	2	3	4	5
15	1,080-1,360	0,950-1,540	0,820-1,750	0,690-1,970	0,560-2,210
16	1,100-1,370	0,980-1,540	0,860-1,730	0,740-1,930	0,620-2,150
17	1,130-1,380	1,020-1,540	0,900-1,710	0,780-1,900	0,670-2,100
18	1,160-1,390	1,050-1,530	0,930-1,690	0,820-1,870	0,710-2,060
19	1,180-1,400	1,080-1,530	0,970-1,680	0,860-1,850	0,750-2,020
20	1,200-1,410	1,100-1,540	1,000-1,680	0,900-1,830	0,790-1,990
21	1,220-1,420	1,130-1,540	1,030-1,670	0,930-1,810	0,830-1,960
22	1,240-1,430	1,150-1,540	1,050-1,660	0,960-1,800	0,860-1,940
23	1,260-1,440	1,170-1,540	1,080-1,660	0,990-1,790	0,900-1,920
24	1,270-1,450	1,190-1,550	1,100-1,660	1,010-1,780	0,930-1,900
25	1,290-1,450	1,210-1,550	1,120-1,660	1,040-1,770	0,950-1,890
26	1,300-1,460	1,220-1,550	1,140-1,650	1,060-1,760	0,980-1,880
27	1,320-1,470	1,240-1,560	1,160-1,650	1,080-1,760	1,010-1,860
28	1,330-1,480	1,260-1,560	1,180-1,650	1,100-1,750	1,030-1,850
29	1,340-1,480	1,270-1,560	1,200-1,650	1,120-1,740	1,050-1,840
30	1,350-1,490	1,280-1,570	1,210-1,650	1,140-1,740	1,070-1,830
31	1,360-1,500	1,300-1,570	1,230-1,650	1,160-1,740	1,090-1,830
32	1,370-1,500	1,310-1,570	1,240-1,650	1,180-1,730	1,110-1,820
33	1,380-1,510	1,320-1,580	1,260-1,650	1,190-1,730	1,130-1,810
34	1,390-1,510	1,330-1,580	1,270-1,650	1,210-1,730	1,150-1,810
35	1,400-1,520	1,340-1,580	1,280-1,650	1,220-1,730	1,160-1,800
36	1,410-1,520	1,350-1,590	1,290-1,650	1,240-1,730	1,180-1,800
37	1,420-1,530	1,360-1,590	1,310-1,660	1,250-1,720	1,190-1,800
38	1,430-1,540	1,370-1,590	1,320-1,660	1,260-1,720	1,210-1,790
39	1,430-1,540	1,380-1,600	1,330-1,660	1,270-1,720	1,220-1,790
40	1,440-1,540	1,390-1,600	1,340-1,660	1,290-1,720	1,230-1,790
45	1,480-1,570	1,430-1,620	1,380-1,670	1,340-1,720	1,290-1,780
50	1,500-1,590	1,460-1,630	1,420-1,670	1,380-1,720	1,340-1,770
55	1,530-1,600	1,490-1,640	1,450-1,680	1,410-1,720	1,380-1,770
60	1,550-1,620	1,510-1,650	1,480-1,690	1,440-1,730	1,410-1,770
65	1,570-1,630	1,540-1,660	1,500-1,700	1,470-1,730	1,440-1,770
70	1,580-1,640	1,550-1,670	1,520-1,700	1,490-1,740	1,460-1,770
75	1,600-1,650	1,570-1,680	1,540-1,710	1,510-1,740	1,490-1,770
85	1,620-1,670	1,600-1,700	1,570-1,720	1,550-1,750	1,520-1,770
90	1,630-1,680	1,610-1,700	1,590-1,730	1,570-1,750	1,540-1,780
95	1,640-1,690	1,620-1,710	1,600-1,730	1,580-1,750	1,560-1,780
100	1,650-1,690	1,630-1,720	1,610-1,740	1,590-1,760	1,570-1,780

Приложение 5 Критерии для уровней значимости

Значения t-критерия Стьюдента для уровней значимости 0,05 и 0,1

Число степеней свободы			Число степеней свободы		
	0,05	0,1		0,05	0,1
1	12,706	6,514	18	2,101	1,754
2	4,505	2,92	19	2,095	1,729
5	5,182	2,555	20	2,086	1,725
4	2,776	2,152	21	2,080	1,721
5	2,571	2,015	22	2,074	1,717
6	2,447	1,945	25	2,069	1,714
7	2,565	1,895	24	2,064	1,711
8	2,506	1,86	25	2,06	1,706
9	2,262	1,855	26	2,056	1,706
10	2,228	1,812	27	2,052	1,705
II	2,201	1,796	28	2,048	1,701
12	2,179	1,782	29	2,045	1,699
15	2,160	1,771	50	2,042	1,697
14	2,145	1,761	40	2,020	1,68
15	2,151	1,755	60	2,000	1,67
16	2,12	1,746	120	1,98	1,66
17	2,11	1,740			

Значение F-критерия для уровней значимости 0,20; 0,05 и 0,01

Число f_2 знаменател я	Число f_1 числителя								
	Уровень значимости 0,20								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	9,5	12	13,1	13,7	14	14,3	14,9	15,2	15,6
2	5,6	4	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5
5	2,7	2,9	2,9	5,0	5,0	3	5	3,0	3
4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4
5	2,2	2,3	2,5	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1
6	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2	2
7	2	2	2,0	2,0	2,0	2	1,9	1,9	1,8
8	2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7
9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7
10	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6
II	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6
12	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5
15	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5
14	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5
16	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4
17	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4
18	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4
19	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4
20	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4
22	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4
24	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,5
26	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3
28	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,5
50	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5
40	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2
60	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,2
120	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,1
∞	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,2	1

Число f_2 знаменателя	Число f_1 числителя								
	Уровень значимости 0,05								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234	244,9	249	254,3
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5
5	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	6	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4	3,9	3,6	3,4	3,2
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,5	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	5	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3	2,7	2,5	2,3
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,6	2,4	2,2
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
15	4,6	3,7	3,3	3,1	3	2,9	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,2	2
17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8	2,7	2,4	2,2	2
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,9
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
22	4,3	3,4	3,1	2,8	2,7	2,6	2,2	2	1,8
24	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	4,2	5,4	3,0	2,7	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
28	4,2	3,3	3,0	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6
40	4,1	3,2	2,9	2,6	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5
60	4,0	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,3	1,7	1,4
120	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,3
∞	5,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1

Число f_2 знаменателя	Число f_1 числителя									
	Уровень значимости 0,01									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	4052	4999	5405	5625	5764	5859	5981	6106	6234	6366
2	98,5	99,0	99,2	99,3	99,3	99,5	99,3	99,4	99,5	99,5
3	34,1	50,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,5	27,1	26,6	26,1
4	21,2	18	16,7	16	15,5	15,2	14,8	14,4	15,9	13,9
5	16,5	15,3	12,1	11,4	11	10,7	10,3	9,9	9,5	9
6	13,7	10,9	9,8	9,2	8,8	8,5	8,1	7,7	7,5	6,9
7	12,5	9,6	8,5	7,9	7,5	7,2	6,8	6,5	6,1	5,7
8	11,5	8,7	7,6	7,0	6,6	6,4	6	5,7	5,5	4,9
9	10,6	8	7,0	6,4	6,1	5,8	5,5	5,1	4,7	4,3
10	10,0	7,6	6,6	6	5,6	5,4	5,1	4,7	4,5	3,9
11	9,7	7,2	6,2	5,7	5,5	5,1	4,7	4,4	4,0	3,6
12	9,3	6,9	6	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	5,8	5,4
13	9,1	6,7	5,7	5,2	4,9	4,6	4,3	4	5,6	5,2
14	8,9	6,5	5,6	5,0	4,7	4,5	4,1	5,8	5,4	5,0
15	8,7	6,4	5,4	4,9	4,6	4,5	4	3,7	5,3	2,9
16	8,5	6,2	5,5	4,8	4,4	4,2	3,9	5,6	3,2	2,8
17	8,4	6,1	5,2	4,7	4,3	4,1	5,8	5,5	3,1	2,7
18	8,5	6	5,1	4,6	4,3	4	5,7	5,4	5	2,6
19	8,2	5,9	5	4,5	4,2	5,9	5,6	5,3	2,9	2,5
20	8,1	5,9	4,9	4,4	4,1	3,9	3,6	3,2	2,9	2,4
22	7,9	5,7	4,8	4,5	4	3,8	5,5	5,1	2,8	2,5
24	7,8	5,6	4,7	4,2	5,9	3,7	3,3	3	2,7	2,2
26	7,7	5,5	4,6	4,1	5,8	3,6	5,5	5	2,6	2,1
28	7,6	5,5	4,6	4,1	5,8	3,5	5,2	2,9	2,5	2,1
50	7,6	5,4	4,5	4	5,7	3,5	5,2	2,8	2,5	2,0
40	7,5	5,2	4,5	5,8	5,5	5,5	5	2,7	2,5	1,8
60	7,1	5,0	4,1	5,7	5,5	5,1	2,8	2,5	2,1	1,6
120	6,9	4,8	4,0	3,5	5,2	5	2,7	2,5	2	1,4
∞	6,6	4,6	5,8	3,3	5,0	2,8	2,5	2,2	1,8	1

Значения χ^2 -критерия для уровней значимости 0,10; 0,05 и 0,01

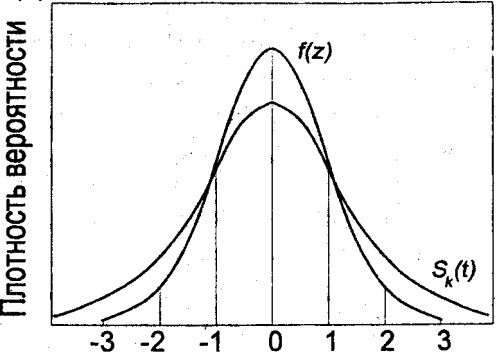
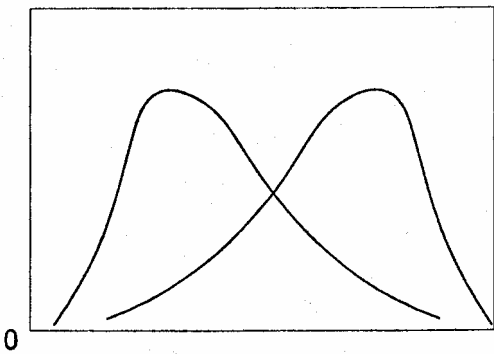
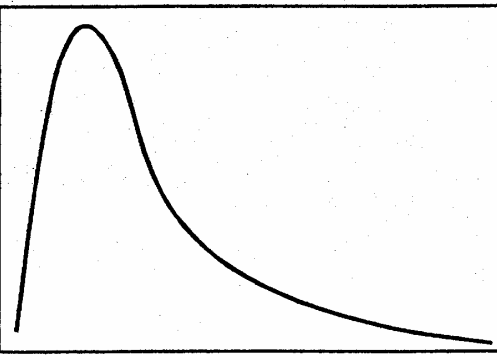
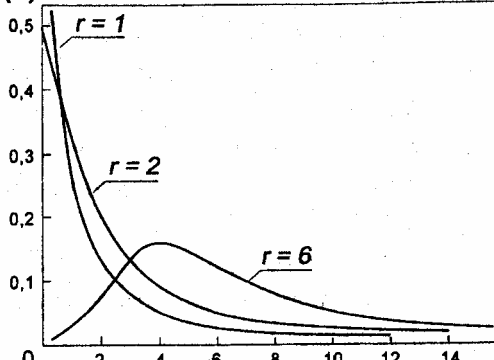
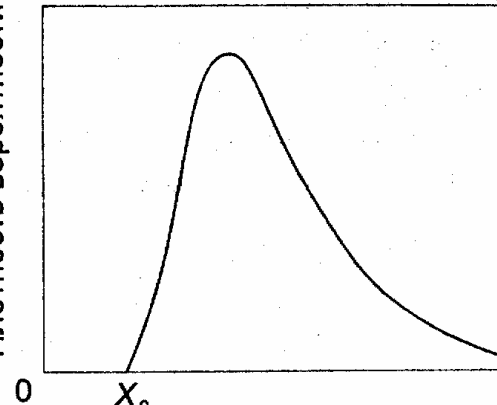
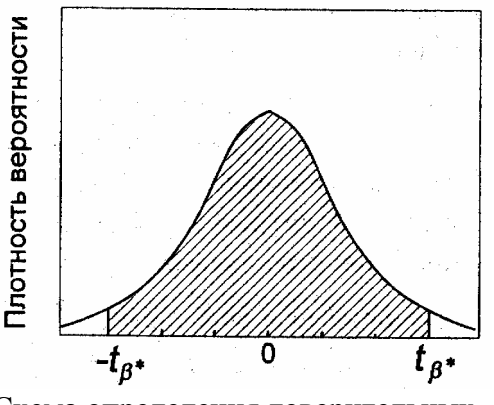
Уровень значимости	Число степеней свободы (f)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,10	2,706	4,605	6,251	7,779	9,236	10,645	12,017	13,362	14,684	15,987
0,05	3,841	5,991	7,815	9,488	11,070	12,592	14,067	15,507	16,919	18,307
0,01	6,635	9,210	11,341	13,277	15,086	16,812	18,475	10,090	21,666	23,209
Уровень значимости	Число степеней свободы (f)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,10	17,275	18,549	19,812	21,064	22,307	23,542	24,769	25,989	27,204	28,412
0,05	19,675	21,026	22,362	23,685	24,996	26,296	27,587	28,869	30,144	31,410
0,01	24,725	26,217	27,688	29,141	30,578	32,000	33,409	34,805	36,191	37,566
Уровень значимости	Число степеней свободы (f)									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0,10	29,615	30,813	32,007	33,196	34,382	35,563	36,741	37,916	39,087	40,256
0,05	52,671	33,924	35,172	36,415	37,652	38,885	40,113	41,337	42,557	43,773
0,01	58,932	40,289	41,638	42,980	44,314	45,642	46,963	48,278	49,588	50,892

Приложение 6 Математическое и графическое представление законов распределения

Законы распределения непрерывных случайных величин

Закон распределения	Дифференциальная функция	Интегральная функция	Математическое ожидание	Дисперсия	Параметры распределения
Нормальный	$\frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}} dt$	$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - t_{cp})^2}{N-1}}$	t_{cp} – среднее значение; σ – среднеквадратическое отклонение; $t_{см} = t_1 - (t_3 - t_1)/2$ – величина смещения
Вейбулла	$(b/a)(t/a)^{b-1} \times [-\exp(-t/a)^b]$	$1 - \exp(-t/a)^b$ где $a = \frac{x_{cp} - x_{см}}{Kb}$	$a\Gamma(1+1/b)$	$a\Gamma(1+2/b) - (a\Gamma(1+1/b))^2$	b – параметр формы; a – масштабный коэффициент; Kb – коэф.; $x_{cp}, x_{см}$ – среднее значение и вел-на смещения
Гамма-распределение	$\frac{\alpha \cdot (\alpha \cdot t)^{\beta-1} \cdot e^{-\alpha \cdot t}}{\Gamma(\beta)}$	$\frac{\alpha \cdot \int_0^t (\alpha \cdot t)^{\beta-1} \cdot e^{-\alpha \cdot t} dt}{\Gamma(\beta)}$	β/α	β/α^2	$\beta = t_{cp}^2/\sigma^2$ – параметр формы; $\alpha = t_{cp}/\sigma^2$ – масштабный параметр
Экспоненциальный (показательный)	$\lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$	$1 - e^{-\lambda \cdot t}$	$1/\lambda$	$1/\lambda^2$	$\lambda = 1/t_{cp}$ – параметр распределения
Эрланга	$\frac{\lambda \cdot (\lambda \cdot t)^{n-1} \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{(n-1)!}$	$1 - e^{-\lambda \cdot t} \cdot \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!}$	n/λ	n/λ^2	$\lambda \cdot n = t_{cp}/\sigma^2$ – параметр закона Эрланга; $n = t_{cp}^2/\sigma^2$ – порядок распределения Эрланга (целое число)

Графическое представление законов распределения случайных величин

 <p>Плотность вероятности</p> <p>Форма распределения Стьюдента и нормированного нормального закона</p>	 <p>Плотность вероятности</p> <p>Формы распределения закона Вейбулла</p>
 <p>Плотность вероятности</p> <p>Форма логарифмически нормального распределения</p>	 <p>Плотность вероятности</p> <p>Форма χ^2 - распределения при различных значениях степеней свободы</p>
 <p>Плотность вероятности</p> <p>Форма гамма-распределения с параметром смещения X_0</p>	 <p>Плотность вероятности</p> <p>Схема определения доверительных границ для средней величины при двухстороннем способе задания доверительной вероятности по распределению Стьюдента</p>

Приложение 7 Некоторые операторы и функции программы Mathcad

Операторы Mathcad

♦ для работы со скалярными величинами

Оператор	Набор	Экран	Оператор	Набор	Экран
Знак присваивания	= или (Shift+;)	:=	Знак равенства (когда у показателя ранее присвоено значение)	=	=
Знак тождества		=			
Круглые скобки	'X	(X)	Умножение	X*Y	$X \cdot Y$
Факториал	X!	X!	Интеграл	x&f(x)	$\int_{\epsilon}^{\%o} f(x)dx$
Комплексные значения	X''	\bar{X}	Производная	x?f(x)	$\frac{d}{dx} f(x)$
Возведение в степень	X^Y	X^y	Сложение	x+y	$x + y$
Отрицание	-X	-X	Вычитание	x-y	$x - y$
Квадратный корень	\X	\sqrt{x}	Сложение с переносом	x[Ctrl] [Enter]y	$x \dots + y$
Абсолютное значение	X	X	Больше или равно	x [Alt]) y	$x \geq y$
Деление	X/Y	$\frac{X}{Y}$	Меньше или равно	x [Alt] (y	$x \leq y$
Больше чем	x>y	x>y	Неравно	x [Alt] # y	$x \neq y$
Меньше чем	x<y	x<y	Приблиз. равно	x [Alt] = y	$x \leftarrow y$

♦ векторные и матричные операторы

Оператор	Набор	Экран	Оператор	Набор	Экран
Индекс	V[i	V_i	Определитель, модуль вектора	M	$ M $
Двойной индекс	M[(i,j)	M_{ij}	Точечное умножение, матричное умножение	v*w	$v \bullet w$
Верхний индекс, извлечение столбца из массива	M [Alt]^ i	$M^{i \leftarrow}$	Сложение по области	i\$X	$\sum_i (X_i)$
Вектор	v [Alt]-	\underline{v}	Умножение по области	i#x	$\prod_i (X_i)$
Транспонирование	M [Alt]!	M^T	Область	x,y;z	$x,y \dots z$
Целая степень матрицы	M^n	M^n	Суммарный вектор	[Alt]\$V	ϕV

Продолжение прил. 7

Некоторые часто используемые функции Mathcad

Обозначение функции	Функция
acos(z)	арккосинус
arg(z)	аргумент комплексного числа z (в радианах)
asin(z)	арксинус
atan(z)	арктангенс
atanh(z)	ареатангенс: обратная функция к гиперболическому тангенсу
ceil(x)	наименьшее целое, не превышающее x
cols(A)	число столбцов в матрице A
corr(vx, vy)	коэффициент корреляции двух векторов – vx и vy
cos(z)	косинус
exp(z)	экспонента
find(var1, var2,...)	значения $var1, var2, \dots$, составляющие решение системе уравнений. Число возвращаемых значений равно числу аргументов
floor(x)	наибольшее целое число, меньшее или равное x . x должно быть действительным
Given	ключевое слово, работающее в паре с функциями find и minerr
if(cond, x, y)	x , если условие верно, иначе y
Im(z)	мнимая часть комплексного числа z
intercept(vx, vy)	коэффициент a линейной регрессии $y=a+b \cdot x$ векторов vx и vy .
Last(v)	индекс последнего элемента вектора v
length(v)	число элементов в векторе v
ln(z)	натуральный логарифм
log(z)	десятичный логарифм
max(A)	наибольший элемент в матрице A
mean(v)	среднее значение вектора v
min(A)	наименьший элемент в матрице A
minerr(x1, x2, ...)	вектор значений для $x1, x2, \dots$, которые приводят к минимальной ошибке в системе уравнений
Re(z)	действительная часть комплексного числа
READ(file)	присваивание простой переменной значения из файла с именем <i>file.prn</i>
READPRN (file)	присваивание матрице значений из файла с именем <i>file.prn</i>
root(expr, var)	значение переменной var , при которой выражение $expr$ равно нулю с точностью TOL
rows(A)	число строк в матрице A
sin(z)	синус
slope(vx, vy)	коэффициент b линейной регрессии $y=a+b \cdot x$ векторов vx и vy
stdev(v)	стандартное отклонение элементов вектора v
tan(z)	тангенс
until(x,y)=y	прекращение вычислений при $x<0$
var(v)	вариация элементов вектора v
WRITE(file)	отдельное значение, записанное в файл данных под именем <i>file</i>
WRITEPRN (file)	вывод матрицы в файл <i>file</i>

Продолжение прил. 7
Встроенные функции программы Excel

Функция 1	Назначение функции 2	Выражение 3
ФРАСП ОБР	<p>Возвращает обратное значение для F-распределения вероятностей. Если $p = \text{ФРАСП}(x; \dots)$, то $\text{ФРАСПОБР}(p; \dots) = x$.</p> <p>F-распределение может быть использовано в F-тесте, который сравнивает степени разброса двух множеств данных на подобные степени плотности. ФРАСПОБР можно использовать, чтобы определить критические значения F-распределения. Например, результаты дисперсионного анализа обычно включают данные для F-статистики, F-вероятности и F-критическое значение с уровнем значимости 0,05. Чтобы определить критическое значение F, нужно использовать уровень значимости α как аргумент вероятности для ФРАСПОБР</p>	<p>ФРАСПОБР (вероятность; степени свободы 1-й выборки; степени свободы 2-й выборки)</p>
ФРАСП	<p>Возвращает F-распределение вероятности. Используют для сравнения, имеют ли два множества данных различные степени плотности. Если $p = \text{ФРАСП}(x, \dots)$, то $\text{ФРАСПОБР}(p, \dots) = x$.</p> <p>X – это значение, для которого вычисляется функция</p>	<p>ФРАСП (x; степени свободы 1; степени свободы 2)</p>
ZТЕСТ	<p>Возвращает двустороннее P-значение z-теста. Z-тест определяет стандартную оценку для x по отношению к массиву данных и возвращает двустороннюю вероятность для нормального распределения. Можно использовать эту функцию, чтобы оценить вероятность того, что конкретное наблюдение взято из конкретной генеральной совокупности.</p> <p>Массив – это массив или интервал данных, с которыми сравнивается x. X – это проверяемое значение. Сигма – это известное стандартное отклонение генеральной совокупности. Если этот параметр опущен, то используется стандартное отклонение выборки</p>	<p>ZТЕСТ (массив; x; сигма)</p>
БЕТАОБР	<p>Возвращает обратную функцию к интегральной функции плотности бета-вероятности, то есть если вероятность = БЕТАРАСП (x;...), то БЕТАОБР (вероятность;...) = x. Интегральное бета-распределение используется при планировании для определения вероятного времени завершения работы, если заданы ожидаемое время завершения и его вариативность.</p> <p>Вероятность – это вероятность, связанная с бета-распределением. Альфа – это параметр распределения. Бета – это параметр распределения. A – это обязательная нижняя граница интервала изменения x. B – это необязательная верхняя граница интервала изменения x</p>	<p>БЕТАОБР (вероятность; альфа; бета; A; B)</p>

Продолжение прил. 7

1	2	3
БЕТАРАСП	<p>Возвращает интегральную функцию плотности бета-вероятности. Интегральная функция плотности бета-вероятности обычно используется для изучения вариации в процентах какой-либо величины, например, доли дня, которую люди проводят у телевизора.</p> <p>X – это значение в интервале между A и B, для которого вычисляется функция. Альфа – это параметр распределения. Бета – это параметр распределения. A – это необязательная нижняя граница интервала изменения x. B – это необязательная верхняя граница интервала изменения x</p>	<p>БЕТАРАСП (x; альфа; бета; A; B)</p>
БИНОМРАСП	<p>Возвращает отдельное значение биномиального распределения. Функция БИНОМРАСП используется в задачах с фиксированным числом тестов или испытаний, когда результатом любого испытания может быть только успех или неудача, испытания независимы, и вероятность успеха постоянна на протяжении всего эксперимента.</p> <p>Число успехов – это количество успешных испытаний. Число испытаний – это число независимых испытаний. Вероятность успеха – это вероятность успеха каждого испытания. Интегральная – это логическое значение, определяющее форму функции. Если аргумент интегральная имеет значение ИСТИНА, то функция БИНОМРАСП возвращает интегральную функцию распределения, то есть вероятность того, что число успешных испытаний не менее значения аргумента <i>число успехов</i>; если этот аргумент имеет значение ЛОЖЬ, то возвращается функция распределения, то есть вероятность того, что число успешных испытаний в точности равно значению аргумента <i>число успехов</i>. Число_успехов и число_испытаний отсекаются до целых</p>	<p>БИНОМРАСП (число s; испытания; вероятность s; интегральный)</p>
ВЕЙБУЛЛ	<p>Возвращает распределение Вейбулла. Это распределение используется при анализе надежности, например, для вычисления среднего времени наработки на отказ какого-либо устройства.</p> <p>X – это значение, для которого вычисляется функция. Альфа – это параметр распределения. Бета – это параметр распределения. Интегральная – определяет форму функции.</p> <p>ВЕЙБУЛЛ(105;20;100;ИСТИНА) равняется 0,929581 ВЕЙБУЛЛ(105;20;100;ЛОЖЬ) равняется 0,035589</p>	<p>ВЕЙБУЛЛ (x; альфа; бета; интегральный)</p>
Вероятность	<p>Возвращает вероятность того, что значение из интервала находится внутри заданных пределов. Если верхний_предел не задан, то возвращается вероятность того, что значения в аргументе x_интервал равняются значению аргумента нижний_предел.</p>	<p>Вероятность (x диапазон; диапазон вероятн.; нижний предел; верхний предел)</p>

1	2	3
	<p>X_интервал – это интервал числовых значений x, с которыми связаны вероятности. Интервал_вероятностей – это множество вероятностей, соответствующих значениям в аргументе x_интервал. Нижний_предел – это нижняя граница значения, для которого вычисляется вероятность.</p> <p>Верхний_предел – это необязательная верхняя граница значения, для которого требуется вычислить вероятность.</p> <p>ВЕРОЯТНОСТЬ({0;1;2;3};{0,2;0,3;0,1;0,4};2) равно 0,1</p> <p>ВЕРОЯТНОСТЬ({0;1;2;3};{0,2;0,3;0,1;0,4};1;3) равно 0,8</p>	
ГАММАНЛОГ	<p>Возвращает натуральный логарифм гамма функции, G(x).</p> <p>X – это значение, для которого вычисляется ГАММАНЛОГ.</p> <p>ГАММАНЛОГ(4) равняется 1,791759</p> <p>EXP(ГАММАНЛОГ(4)) равняется 6 или (4 – 1)!</p>	ГАММАНЛОГ (x)
ГАММАОБР	<p>Возвращает обратное гамма-распределение. Если $p = \text{ГАММАРАСП}(x; \dots)$, то $\text{ГАММАОБР}(p; \dots) = x$.</p> <p>Эта функция используется для изучения переменных, которые, возможно, имеют асимметричное распределение.</p> <p>Вероятность – это вероятность, связанная с гамма-распределением. Альфа – это параметр распределения. Бета – это параметр распределения. Если бета = 1, то функция ГАММАОБР возвращает стандартное гамма-распределение</p>	ГАММАОБР (вероятность; альфа; бета)
ГАММАРАСП	<p>Возвращает гамма-распределение. Эту функцию можно использовать для изучения переменных, которые имеют асимметричное распределение. Гамма-распределение обычно используется в теории очередей.</p> <p>X – это значение, для которого требуется вычислить распределение. Альфа – это параметр распределения. Бета – это параметр распределения. Если бета = 1, то функция ГАММАРАСП возвращает стандартное гамма-распределение. Интегральная – это логическое значение, определяющее форму функции. Если интегральная имеет значение ИСТИНА, то функция ГАММАРАСП возвращает интегральную функцию распределения; если этот аргумент имеет значение ЛОЖЬ, то возвращается функция плотности распределения.</p>	ГАММАРАСП (x; альфа; бета; интегральный)

Продолжение прил. 7

1	2	3
ГИПЕРГЕО- МЕТ	Возвращает гипергеометрическое распределение. ГИПЕРГЕОМЕТ возвращает вероятность заданного количества успехов в выборке, если заданы размер выборки, количество успехов в генеральной совокупности и размер генеральной совокупности. Функция ГИПЕРГЕОМЕТ используется для задач с конечной генеральной совокупностью, где каждое наблюдение – это успех или неудача, а каждое подмножество заданного размера выбирается с равной вероятностью. Число_успехов_в_выборке – это количество успешных испытаний в выборке. Размер_выборки – это размер выборки. Число_успехов_в_совокупности – это количество успешных испытаний в генеральной совокупности. Размер_совокупности – это размер генеральной совокупности	ГИПЕРГЕОМЕТ (пример s; размер выборки; ген совокупность s;...)
ДИСП	Оценивает дисперсию по выборке (логические значения и текст игнорируются). Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 числовых аргументов, соответствующих выборке из генеральной совокупности	ДИСП (число 1; число 2;...)
ДИСПА	Оценивает дисперсию по выборке. В расчете помимо численных значений учитываются также текстовые и логические значения, такие как ИСТИНА или ЛОЖЬ. Значение 1, значение 2,... – это от 1 до 30 числовых аргументов, соответствующих выборке из генеральной совокупности	ДИСПА (значение 1; значение 2...)
ДИСПР	Вычисляет дисперсию для генеральной совокупности. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 числовых аргументов, соответствующих генеральной совокупности	ДИСПР (число 1; число 2...)
ДИСПРА	Вычисляет дисперсию для генеральной совокупности. В расчете помимо численных значений учитываются также текстовые и логические значения, такие как ИСТИНА или ЛОЖЬ. Значение 1, значение 2, ... – это от 1 до 30 числовых аргументов, соответствующих генеральной совокупности.	ДИСПРА (значение 1; значение 2...)
ДОВЕРИТ	Возвращает доверительный интервал для среднего генеральной совокупности. Альфа – это уровень значимости, используемый для вычисления уровня надежности. Уровень надежности равняется 100*(1 – альфа) процентам, или, другими словами, альфа, равное 0,05, означает 95 %-й уровень надежности. Станд_откл – это стандартное отклонение генеральной совокупности для интервала данных, предполагается известным. Размер – это размер выборки	ДОВЕРИТ (альфа; стандартное откл.; размер).

Продолжение прил. 7

1	2	3
КВАДР ОТКЛ	Возвращает сумму квадратов отклонений точек данных от их среднего. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых вычисляется сумма квадратов отклонений. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой.	КВАДР ОТКЛ (число 1; число 2...)
КВАРТИЛЬ	Возвращает квартиль множества данных. Квартиль часто используются при анализе продаж, чтобы разбить генеральную совокупность на группы. Например, можно использовать функцию КВАРТИЛЬ, чтобы найти 25 % наиболее доходных предприятий среди всех. Массив – это массив или интервал ячеек с числовыми значениями, для которых определяются значения квартилей. Часть – это значение, которое нужно вернуть.	КВАРТИЛЬ (массив; значение).
КВПИРСОН	Возвращает квадрат коэффициента корреляции Пирсона для точек данных в аргументах известные_значения_u и известные_значения_x. Для получения более подробной информации см. ПИРСОН. Значение г-квадрат можно интерпретировать как отношение дисперсии для u к дисперсии для x. Известные_значения_u – это массив или интервал точек данных. Известные_значения_x – это массив или интервал точек данных	КВПИРСОН (известные u; известные x)
КОВАР	Возвращает ковариацию, то есть среднее произведений отклонений для каждой пары точек данных. Ковариация используется для определения связи между двумя множествами данных. Массив1 – это первый массив или интервал данных. Массив2 – это второй массив или интервал данных.	КОВАР (массив1; массив2).
КОРРЕЛ	Возвращает коэффициент корреляции между интервалами ячеек массив 1 и массив 2. Коэффициент корреляции используется для определения наличия взаимосвязи между двумя свойствами. Массив 1 – это ячейка интервала значений. Массив 2 – это второй интервал ячеек со значениями.	КОРРЕЛ (массив 1; массив 2)
КРИТБИНОМ	Возвращает наименьшее значение, для которого интегральное биномиальное распределение больше или равно заданному критерию. Эта функция используется в приложениях, связанных с контролем качества. Например, функция КРИТБИНОМ используется для определения наибольшего допустимого числа дефектных комплектующих, которые можно удалять со сборочной линии без отбраковки всего изделия. Число_испытаний – это число испытаний Бернулли. Вероятность_успеха – это вероятность успеха в каждом испытании. Альфа – это значение критерия	КРИТБИНОМ (испытания; вероятность s; альфа)

Продолжение прил. 7

1	2	3
ЛГРФПРИБЛ	<p>Возвращает параметры экспоненциального приближения по методу наименьших квадратов. В регрессионном анализе вычисляется экспоненциальная кривая, аппроксимирующая данные, и возвращается массив значений, описывающий эту кривую. Поскольку данная функция возвращает массив значений, она должна вводиться как формула массива.</p> <p>Уравнение кривой: $y = b * m^x$ или $y = (b * (m1^{x1}) * (m2^{x2}) * \dots)$ (при наличии нескольких значений x), где зависимые значения y являются функцией независимых значений x. Значения m являются основанием, возводимым в степень x, а значения b постоянны. Заметим, что y, x и m могут быть векторами. Функция ЛГРФПРИБЛ возвращает массив $\{m; m_1; \dots; m_1; b\}$.</p> <p>Известные_значения_y – это множество значений y, которые уже известны в соотношении $y = b * m^x$. Если массив <i>известные_значения_y</i> имеет один столбец, то каждый столбец массива <i>известные_значения_x</i> интерпретируется как отдельная переменная. Если массив <i>известные_значения_y</i> имеет одну строку, то каждая строка массива <i>известные_значения_x</i> интерпретируется как отдельная переменная. <i>Известные_значения_x</i> – это необязательное множество значений x, которые уже известны для соотношения $y = b * m^x$. Массив <i>известные_значения_x</i> может включать одно или более множеств переменных. Если используется только одна переменная, то <i>известные_значения_y</i> и <i>известные_значения_x</i> могут быть диапазонами любой формы, если только они имеют одинаковые размерности. Если используется более одной переменной, то аргумент <i>известные_значения_y</i> должен быть диапазоном ячеек высотой в одну строку или шириной в один столбец (так называемым вектором). Статистика – это логическое значение, которое указывает, требуется ли вернуть дополнительную статистику по регрессии</p>	ЛГРФПРИБЛ (изв. знач. y ; изв. знач. x ; константа; стат.).
ЛИНЕЙН	<p>Рассчитывает статистику для ряда с применением метода наименьших квадратов, чтобы вычислить прямую линию, которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные. Функция возвращает массив, который описывает полученную прямую. Поскольку возвращается массив значений, функция должна задаваться в виде формулы массива. Уравнение для прямой линии имеет следующий вид: $y = mx + b$ или $y = m1x1 + m2x2 + \dots + b$ (в случае нескольких диапазонов значений x)</p>	ЛИНЕЙН (изв. знач. y ; изв. знач. x ; константа; стат.)

1	2	3
	<p>где зависимое значение y является функцией независимого значения x. Значения m – это коэффициенты, соответствующие каждой независимой переменной x, а b – это постоянная. Заметим, что y, x и m могут быть векторами. Функция ЛИНЕЙН возвращает массив $\{m_n; m_{n-1}; \dots; m_1; b\}$. ЛИНЕЙН может также возвращать дополнительную регрессионную статистику.</p> <p><i>Известные значения y</i> – это множество значений y, которые уже известны в соотношении $y = mx + b$.</p> <p>Функции аппроксимации ЛИНЕЙН и ЛГРФПРИБЛ могут вычислить прямую или экспоненциальную кривую, наилучшим образом описывающую данные. Однако они не дают ответа на вопрос, какой из двух результатов в наибольшей степени подходит для решения поставленной задачи. Можно также вычислить функцию ТЕНДЕНЦИЯ (<i>известные значения y; известные значения x</i>) для прямой или функцию РОСТ (<i>известные значения y; известные значения x</i>) для экспоненциальной кривой. Эти функции, если не задавать аргумент <i>новые значения x</i>, возвращают массив вычисленных значений y для фактических значений x в соответствии с прямой или кривой</p>	
ЛОГНОР-МОБР	<p>Возвращает обратную функцию логарифмического нормального распределения x, где $\ln(x)$ имеет нормальное распределение с параметрами <i>среднее</i> и <i>стандартное отклонение</i>. Если $p = \text{ЛОГНОРМРАСП}(x; \dots)$, то $\text{ЛОГНОРМОБР}(p; \dots) = x$. Логарифмическое нормальное распределение используется для анализа логарифмически преобразованных данных.</p> <p>Вероятность – это вероятность, связанная с нормальным логарифмическим распределением. Среднее – это среднее $\ln(x)$. Стандартное отклонение – это стандартное отклонение $\ln(x)$</p>	ЛОГНОРМОБР (вероятность; среднее; стандартное отклонение)
ЛОГНОР-МРАСП	<p>Возвращает интегральное логарифмическое нормальное распределение для x, где $\ln(x)$ является нормально распределенным с параметрами <i>среднее</i> и <i>стандартное откл.</i> Эта функция используется для анализа данных, которые были логарифмически преобразованы.</p> <p>X – это значение, для которого вычисляется функция. Среднее – это среднее $\ln(x)$. Стандартное отклонение – это стандартное отклонение $\ln(x)$</p>	ЛОГНОРМРАСП (x ; среднее; стандартное откл)
МИНА	<p>Возвращает наименьшее значение в списке аргументов. Наряду с числовыми значениями выполняется также сравнение текстовых и логических, таких как ИСТИНА и ЛОЖЬ, значений.</p> <p>Значение 1, значение 2, ... – это от 1 до 30 значений, среди которых ищется наименьшее</p>	МИНА (значение1; значение2; ...).

Продолжение прил. 7

1	2	3
МАКС	<p>Возвращает максимальное значение из набора значений (списка аргументов). Логическое значение или текст игнорируются.</p> <p>Число 1, число 2, – это от 1 до 30 чисел, среди которых ищется максимальное значение.</p> <p>Если ячейки A1:A5 содержат числа 10, 7, 9, 27 и 2, то: МАКС(A1:A5) равняется 27. МАКС(A1:A5;30) равняется 30</p>	<p>МАКС (число 1; число 2...)</p>
МАКСА	<p>Возвращает наибольшее значение в списке аргументов. Наряду с числовыми значениями выполняется также сравнение текстовых и логических, таких как ИСТИНА и ЛОЖЬ, значений.</p> <p>Значение 1, значение 2,... – это от 1 до 30 значений, среди которых ищется наибольшее</p>	<p>МАКСА (значение 1; значение 2...)</p>
МЕДИАНА	<p>Возвращает медиану заданных чисел. Медиана – это число, которое является серединой множества чисел, то есть половина чисел имеют значения большие, чем медиана, а половина чисел имеют значения меньшие, чем медиана.</p> <p>Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 чисел, для которых определяется медиана</p>	<p>МЕДИАНА (число 1; число 2...)</p>
МИН	<p>Возвращает наименьшее значение в списке аргументов. Логические значения и текст игнорируются.</p> <p>Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 чисел, среди которых ищется минимальное значение</p>	<p>МИН (число 1; число 2)</p>
МОДА	<p>Возвращает наиболее часто встречающееся или повторяющееся значение в массиве или интервале данных. Так же как и функция МЕДИАНА, функция МОДА является мерой взаимного расположения значений</p> <p>Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых вычисляется мода. Можно использовать один массив или одну ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой</p>	<p>МОДА (число 1; число 2...)</p>
НАИБОЛЬШИЙ	<p>Возвращает k-е наибольшее значение из множества данных. Эта функция используется, чтобы выбрать значение по его относительному местоположению. Например, функцию НАИБОЛЬШИЙ можно использовать, чтобы определить наилучший, второй или третий результат в баллах, показанный при тестировании.</p> <p>Массив – это массив или интервал данных, для которых определяется k-е наибольшее значение. k – это позиция (начиная с наибольшей) в массиве или интервале ячеек данных</p>	<p>НАИБОЛЬШИЙ (массив; k)</p>

Продолжение прил. 7

1	2	3
<p>НАИМЕНЬШИЙ</p>	<p>Возвращает k-е наименьшее значение в множестве данных. Эта функция используется для определения значения, занимающего определенное относительное положение в множестве данных.</p> <p>Массив – это массив или диапазон числовых данных, для которого определяется k-е наименьшее значение. k – это позиция (начиная с наименьшей) в массиве или интервале ячеек данных</p>	<p>НАИМЕНЬШИЙ (массив; k)</p>
<p>НАК ЛОН</p>	<p>Возвращает наклон линии линейной регрессии для точек данных в аргументах <i>известные_значения_u</i> и <i>известные_значения_x</i>. Наклон определяется как частное от деления расстояния по вертикали на расстояние по горизонтали между двумя любыми точками прямой, то есть наклон – это скорость изменения значений вдоль прямой.</p> <p><i>Известные_значения_u</i> – это массив или интервал ячеек, содержащих числовые зависимые точки данных. <i>Известные_значения_x</i> – это множество независимых точек данных</p>	<p>НАКЛОН (изв. знач. u; изв. знач. x)</p>
<p>НОРМАЛИЗАЦИЯ</p>	<p>Возвращает нормализованное значение для распределения, характеризуемого средним и стандартным отклонением.</p> <p>X – это нормализуемое значение. Среднее – это среднее арифметическое распределения. Стандартное_откл – это стандартное отклонение распределения</p>	<p>НОРМАЛИЗАЦИЯ (x; среднее; стандартное откл)</p>
<p>НОРМ ОБР</p>	<p>Возвращает обратное нормальное распределение для указанного среднего и стандартного отклонения.</p> <p>Вероятность – это вероятность, соответствующая нормальному распределению. Среднее – это среднее арифметическое распределения.</p> <p>Стандартное_откл – это стандартное отклонение распределения</p>	<p>НОРМОБР (вероятность; среднее; стандартное откл.)</p>
<p>НОРМРАСП</p>	<p>Возвращает нормальную функцию распределения для указанного среднего и стандартного отклонения. Эта функция имеет очень широкий круг приложений в статистике, включая проверку гипотез.</p> <p>X – это значение, для которого строится распределение. Среднее – это среднее арифметическое распределения. Стандартное_откл – это стандартное отклонение распределения. Интегральная – это логическое значение, определяющее форму функции. Если интегральная имеет значение ИСТИНА, то функция НОРМРАСП возвращает интегральную функцию распределения; если это аргумент имеет значение ЛОЖЬ, то возвращается функция плотности распределения</p>	<p>НОРМРАСП (x; среднее; стандартное откл.; интегральная)</p>

Продолжение прил. 7

1	2	3
НОРМСТОБР	<p>Возвращает обратное значение стандартного нормального распределения. Это распределение имеет среднее, равное нулю, и стандартное отклонение, равное единице.</p> <p>Вероятность – это вероятность, соответствующая нормальному распределению</p>	НОРМСТОБР (вероятность)
НОРМ-СТРАСП	<p>Возвращает стандартное нормальное интегральное распределение. Это распределение имеет среднее, равное нулю, и стандартное отклонение, равное единице. Эта функция используется вместо таблицы для стандартной нормальной кривой.</p> <p>Z – это значение, для которого строится распределение</p>	НОРМСТРАСП (z)
ОТРБИ-НОМРАСП	<p>Возвращает отрицательное биномиальное распределение. ОТРБИНОМРАСП возвращает вероятность того, что случится число_неудач неудачных испытаний, прежде чем будет достигнуто число_успехов успешных испытаний, при том условии, что вероятность успешного испытания постоянна и равна значению аргумента <i>вероятность_успеха</i>. Эта функция подобна биномиальному распределению, за тем исключением, что количество успехов фиксированное, а количество испытаний – переменное. Как и в случае биномиального распределения, испытания считаются независимыми.</p> <p>Число_неудач – это количество неудачных испытаний. Число_успехов – это пороговое значение числа успешных испытаний. <i>Вероятность_успеха</i> – это вероятность появления успешных испытаний</p>	ОТРБИНОМРАСП (число f; число s; вероятность s).
ОТРЕЗОК	<p>Вычисляет точку пересечения линии с осью y, используя известные_значения_x и известные_значения_y. Точка пересечения находится на оптимальной линии регрессии, проведенной через известные_значения_x и известные_значения_y. Функция используется, когда нужно определить значение зависимой переменной при значении независимой переменной равном 0 (нулю). Например, функцию ОТРЕЗОК можно использовать, чтобы предсказать электрическое сопротивление металла при температуре 0°C, если имеются данные измерений при комнатной температуре и выше.</p> <p>Известные_значения_y – это зависимое множество наблюдений или данных. Известные_значения_x – это независимое множество наблюдений или данных</p>	ОТРЕЗОК (изв. знач. y; изв. знач. x)

Продолжение прил. 7

1	2	3
ПЕРЕСТ	Возвращает количество перестановок для заданного числа объектов, которые выбираются из общего числа объектов. Перестановка – это любое множество или подмножество объектов или событий, в котором существует внутренний порядок. Этим перестановки отличаются от сочетаний, для которых внутренний порядок не существует. Эта функция используется, например, для вычисления вероятностей в лотереях.	ПЕРЕСТ (число; выбранное число)
ПЕРСЕНТИЛЬ	Возвращает k-ю перцентиль для значений из интервала. Эта функция используется для определения порога приемлемости. Например, можно принять решение экзаменовать только тех кандидатов, которые набрали баллов более, чем 90-я перцентиль. Массив – это массив или интервал данных с численными значениями, который определяет относительное положение. K – это значение перцентили в интервале от 0 до 1 включительно	ПЕРСЕНТИЛЬ (массив; k)
ПИРСОН	Возвращает коэффициент корреляции Пирсона r, безразмерный индекс в интервале от -1,0 до 1,0 включительно, который отражает степень линейной зависимости между двумя множествами данных. Массив 1 – это множество независимых значений. Массив 2 – это множество зависимых значений	ПИРСОН (массив 1; массив 2)
ПРЕДСКАЗ	Вычисляет или предсказывает будущее значение по существующим значениям. Предсказываемое значение – это y-значение, соответствующее заданному x-значению. Известные значения – это x- и y-значения, а новое значение предсказывается с использованием линейной регрессии. Эту функцию можно использовать для предсказания будущих продаж, потребностей в оборудовании или тенденций потребления. X – это точка данных, для которой предсказывается значение. Известные значения y – это зависимый массив или интервал данных. Известные значения x – это независимый массив или интервал данных	ПРЕДСКАЗ (x; изв. знач y; изв. знач x)
ПРОЦЕНТРАНГ	Возвращает категорию значения в наборе данных как процентное содержание в наборе данных. Эта функция используется для оценки относительного положения точки данных в множестве данных. Например, можно использовать функцию ПРОЦЕНТРАНГ, чтобы оценить положение подходящего результата тестирования среди всех результатов тестирования. Массив – это массив или интервал данных с численными значениями, который определяет относительное положение. X – это значение, для которого определяется процентное содержание. Разрядность – это необязательное значение, которое определяет количество значащих цифр в возвращаемой величине процентного содержания значения. Если этот аргумент опущен, то функция ПРОЦЕНТРАНГ использует три цифры (0,xxx %)	ПРОЦЕНТРАНГ (массив; x; разрядность)

Продолжение прил. 7

1	2	3
ПУАССОН	<p>Возвращает распределение Пуассона. Обычное применение распределения Пуассона состоит в предсказании количества событий, происходящих за определенное время, например, количество машин, появляющихся на площади за 1 минуту.</p> <p>X – это количество событий. Среднее – это ожидаемое численное значение. Интегральная – это логическое значение, определяющее форму возвращаемого распределения вероятностей. Если аргумент интегральная имеет значение ИСТИНА, то функция ПУАССОН возвращает интегральное распределение Пуассона, то есть вероятность того, что число случайных событий будет от 0 до x включительно; если этот аргумент имеет значение ЛОЖЬ, то возвращается функция плотности распределения Пуассона, то есть вероятность того, что событий будет в точности x.</p> <p>ПУАССОН(2;5;ЛОЖЬ) равняется 0,084224 ПУАССОН(2;5;ИСТИНА) равняется 0,124652</p>	ПУАССОН (x; среднее; интегральная)
РАНГ	<p>Возвращает ранг числа в списке чисел. Ранг числа – это его величина относительно других значений в списке. (Если список отсортировать, то ранг числа будет его позицией).</p> <p>Число – это число, для которого определяется ранг. Ссылка – это массив или ссылка на список чисел. Нечисловые значения в ссылке игнорируются. Порядок – это число, определяющее способ упорядочения</p>	РАНГ (число; ссылка; порядок)
РОСТ	<p>Рассчитывает прогнозируемый экспоненциальный рост на основании имеющихся данных. Функция РОСТ возвращает значения y для последовательности новых значений x, задаваемых с помощью существующих x- и y-значений. Функция рабочего листа РОСТ может применяться также для аппроксимации существующих x- и y-значений экспоненциальной кривой.</p> <p>Известные_значения_y – это множество значений y, которые уже известны для соотношения $y = b \cdot m^x$.</p> <p>Известные_значения_x – это необязательное множество значений x, которые уже известны для соотношения $y = b \cdot m^x$</p>	РОСТ (известные значения y; изв. знач. x; нов. знач. x; константа)
СКОС	<p>Возвращает асимметрию распределения. Асимметрия характеризует степень несимметричности распределения относительно его среднего. Положительная асимметрия указывает на отклонение распределения в сторону положительных значений. Отрицательная асимметрия указывает на отклонение распределения в сторону отрицательных значений</p>	СКОС (число 1; число 2...)

Продолжение прил. 7

1	2	3
	Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых вычисляется асимметричность. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	
СРГАРМ	Возвращает среднее гармоническое множества данных. Среднее гармоническое – это величина, обратная среднему арифметическому обратных величин. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых вычисляется среднее геометрическое. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	СРГАРМ (число 1; число 2 ...)
СРГЕОМ	Возвращает среднее геометрическое значений массива или интервала положительных чисел. Например, функцию СРГЕОМ можно использовать для вычисления средних темпов роста, если задан составной доход с переменными ставками. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых вычисляется среднее геометрическое. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	СРГЕОМ (число 1; число 2...)
СРЗНАЧ	Возвращает среднее (арифметическое) своих аргументов. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых вычисляется среднее.	СРЗНАЧ (число 1; число 2...)
СРЗНАЧА	Вычисляет среднее арифметическое значений, заданных в списке аргументов. Помимо чисел в расчете могут участвовать текст и логические значения, такие как ИСТИНА и ЛОЖЬ. Значение 1, значение 2,... – это от 1 до 30 ячеек, интервалов ячеек или значений, для которых вычисляется среднее	СРЗНАЧА (значение 1; значение 2 ...)
СРОТКЛ	Возвращает среднее абсолютных значений отклонений точек данных от среднего. СРОТКЛ является мерой разброса множества данных. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых определяется среднее абсолютных отклонений. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	СРОТКЛ (число1; число 2...)
СТАНД-ОТКЛОН	Оценивает стандартное отклонение по выборке. Стандартное отклонение – это мера того, насколько широко разбросаны точки данных относительно их среднего. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 числовых аргументов, соответствующих выборке из генеральной совокупности. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	СТАНДОТКЛОН (число 1; число 2...)

Продолжение прил. 7

1	2	3
СТАНД-ОТКЛОНА	Оценивает стандартное отклонение по выборке. Стандартное отклонение – это мера того, насколько широко разбросаны точки данных относительно их среднего. В расчете также учитываются текстовые и логические значения, такие как ИСТИНА или ЛОЖЬ. Значение 1, значение 2,... – это от 1 до 30 значений, соответствующих выборке из генеральной совокупности. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	СТАНД-ОТКЛОНА (значение 1; значение 2 ..)
СТАНД-ОТКЛОНП	Вычисляет стандартное отклонение по генеральной совокупности. Стандартное отклонение – это мера того, насколько широко разбросаны точки данных относительно их среднего. Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 числовых аргументов, соответствующих генеральной совокупности. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	СТАНД-ОТКЛОНП (число 1; число 2...).
СТАНД-ОТКЛОНПА	Вычисляет стандартное отклонение по генеральной совокупности, заданной аргументами, которые могут включать текст и логические значения. Стандартное отклонение – это мера того, насколько широко разбросаны точки данных относительно их среднего. Значение 1, значение 2,... – это от 1 до 30 значений, соответствующих генеральной совокупности. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой	СТАНД-ОТКЛОНПА (значение 1; значение 2...)
СТОШУХ	Возвращает стандартную ошибку предсказанных значений y для каждого значения x в регрессии. Стандартная ошибка – это мера ошибки предсказанного значения y для отдельного значения x . Известные_значения_у – это массив или интервал зависимых точек данных. Известные_значения_x – это массив или интервал независимых точек данных	СТОШУХ (изв. знач. y ; изв. знач. x)
СТЬЮДРАСП	Возвращает процентные точки (вероятность) для t -распределения Стьюдента, где численное значение (x) – это вычисленное значение, для которого должны быть вычислены вероятности. T -распределение используется для проверки гипотез при малом объеме выборки. Данную функцию можно использовать вместо таблицы критических значений t -распределения X – это численное значение, для которого требуется вычислить распределение. Степени_свободы – это целое, указывающее число степеней свободы. Хвосты – это число возвращаемых хвостов распределения. Если хвосты = 1, то функция СТЬЮДРАСП возвращает одностороннее распределение. Если хвосты = 2, то функция СТЬЮДРАСП возвращает двустороннее распределение	СТЬЮДРАСП (x ; степени свободы; хвосты)

Продолжение прил. 7

СТЮД-РАСПОБР	Возвращает t-значение распределения Стьюдента как функцию вероятности и числа степеней свободы. Вероятность – это вероятность, соответствующая двустороннему распределению Стьюдента. Степени_свободы – это число степеней свободы, характеризующее распределение	СТЮД-РАСПОБР (вероятность; степени свободы)
СЧЁТ	Подсчитывает количество чисел в списке аргументов. Функция СЧЁТ используется для получения количества числовых ячеек в интервалах или массивах ячеек. Значение1, значение2, ... – это от 1 до 30 аргументов, которые могут содержать или ссылаться на данные различных типов, но в подсчете участвуют только числа	СЧЁТ (значение 1; значение 2 ...)
СЧЁТЕСЛИ	Подсчитывает количество ячеек внутри диапазона, удовлетворяющих заданному критерию. Диапазон – это диапазон, в котором нужно подсчитать ячейки. Критерий – это критерий в форме числа, выражения или текста, который определяет, какие ячейки надо подсчитывать. Например, критерий может быть выражен следующим образом: 32, «32», «>32», «яблоки».	СЧЁТЕСЛИ (диапазон; условие)
СЧЁТЗ	Подсчитывает количество непустых значений в списке аргументов. Функция СЧЁТЗ используется для подсчета количества ячеек с данными в интервале или массиве. Значение 1, значение 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, количество которых требуется сосчитать. В данном случае значением считается значение любого типа, включая пустую строку («»), но не включая пустые ячейки. Если аргументом является массив или ссылка, то пустые ячейки в массиве или ссылке игнорируются	СЧЁТЗ (значение 1; значение 2 ...)
СЧИТАТЬ ПУСТОТЫ	Подсчитывает количество пустых ячеек в заданном интервале. Интервал – это интервал, в котором требуется подсчитать количество пустых ячеек	СЧИТАТЬПУСТОТЫ (диапазон)
ТЕНДЕНЦИЯ	Возвращает значения в соответствии с линейным трендом. Аппроксимирует прямой линией (по методу наименьших квадратов) массивы <i>известные_значения_y</i> и <i>известные_значения_x</i> . Возвращает значения <i>y</i> , в соответствии с этой прямой для заданного массива <i>новые_значения_x</i> . <i>Известные_значения_y</i> – это множество значений <i>y</i> , которые уже известны для соотношения $y = mx + b$	ТЕНДЕНЦИЯ (изв. знач. <i>y</i> ; изв. знач. <i>x</i> ; нов. знач. <i>x</i> ; константа)
ТТЕСТ	Возвращает вероятность, соответствующую критерию Стьюдента. Функция ТТЕСТ используется, чтобы определить, насколько вероятно, что две выборки взяты из генеральных совокупностей, которые имеют одно и то же среднее.	ТТЕСТ (массив 1; массив 2; хвосты; тип)

Продолжение прил. 7

1	2	3
	<p>Массив 1 – это первое множество данных. Массив 2 – это второе множество данных. Хвосты – это число хвостов распределения. Если хвосты = 1, то функция ТТЕСТ использует одностороннее распределение. Если хвосты = 2, то функция ТТЕСТ использует двустороннее распределение. Тип – это вид исполняемого t-теста</p>	
<p>УРЕЗСРЕД- НЕЕ</p>	<p>Возвращает среднее внутри множества данных. УРЕЗСРЕДНЕЕ вычисляет среднее, отбрасывая заданный процент данных с экстремальными значениями. Можно использовать эту функцию, чтобы исключить из анализа выбросы. Массив – это массив или интервал усредняемых значений. Доля – это доля точек данных, исключаемых из вычислений. Например, если доля = 0,2, то 4 точки исключаются из множества данных, содержащих 20 точек (20 x 0,2), 2 точки с наибольшими значениями и 2 точки с наименьшими значениями в множестве данных</p>	<p>УРЕЗРЕДНЕЕ (массив; процент)</p>
<p>ФИШЕР</p>	<p>Возвращает преобразование Фишера для аргумента x. Это преобразование строит функцию, которая имеет приблизительно нормальное, а не асимметрическое распределение. Эта функция используется для тестирования гипотез с помощью коэффициента корреляции. X – это числовое значение, которое желательно преобразовать</p>	<p>ФИШЕР (x)</p>
<p>ФИШЕРОБР</p>	<p>Возвращает обратное преобразование Фишера. Это преобразование используется при анализе корреляции между массивами или интервалами данных. Если $y = \text{ФИШЕР}(x)$, то $\text{ФИШЕРОБР}(y) = x$. Y – это значение, для которого производится обратное преобразование</p>	<p>ФИШЕРОБР (y)</p>
<p>ФТЕСТ</p>	<p>Возвращает результат F-теста. F-тест возвращает одностороннюю вероятность того, что дисперсии аргументов массив 1 и массив 2 различаются несущественно. Эта функция используется для того, чтобы определить, имеют ли две выборки различные дисперсии. Например, если даны результаты тестирования для частных и общественных школ, то можно определить, имеют ли эти школы различные уровни разнородности учащихся. Массив 1 – это первый массив или интервал данных. Массив 2 – это второй массив или интервал данных.</p>	<p>ФТЕСТ (массив 1; массив 2)</p>

1	2	3
ХИ2ОБР	<p>Возвращает значение обратное к односторонней вероятности распределения χ^2 (хи-квадрат). Если вероятность = ХИ2РАСП(х;...), то ХИ2ОБР(вероятность;...) = х. Функция используется для сравнения наблюдаемых результатов с ожидаемыми, для того чтобы решить, была ли исходная гипотеза обоснованной.</p> <p>Вероятность – это вероятность, связанная с распределением χ^2 (хи-квадрат). Степени_свободы – это число степеней свободы</p>	<p>ХИ2ОБР (вероятность; степени свободы)</p>
ХИ2РАСП	<p>Возвращает одностороннюю вероятность распределения хи-квадрат. Распределение χ^2 связано с критерием χ^2. Критерий χ^2 используется для сравнения предполагаемых и наблюдаемых значений. Например, в генетическом эксперименте выдвигается гипотеза, что следующее поколение растений будет обладать определенной окраской. Сравнивая наблюдаемые результаты с предполагаемыми, можно определить, была ли исходная гипотеза обоснованной.</p> <p>Х – это значение, для которого требуется вычислить распределение. Степени_свободы – это число степеней свободы</p>	<p>ХИ2РСП (х; степени свободы)</p>
ХИ2ТЕСТ	<p>Возвращает тест на независимость. ХИ2ТЕСТ возвращает значение для распределения хи-квадрат (χ^2). Критерий χ^2 используется для определения того, подтверждается ли гипотеза экспериментом.</p> <p>Фактический_интервал – это интервал данных, которые содержат наблюдения, подлежащие сравнению с ожидаемыми значениями. Ожидаемый_интервал – это интервал данных, который содержит отношение произведений итогов по строкам и столбцам к общему итогу</p>	<p>ХИ2ТЕСТ (фактический интервал; ожидаемый интервал)</p>
ЧАСТОТА	<p>Вычисляет частоту появления значений в интервале значений и возвращает массив цифр. Функция ЧАСТОТА может быть использована, например, для подсчета количества результатов тестирования, попадающих в интервалы результатов. Поскольку данная функция возвращает массив, она должна задаваться в качестве формулы массива.</p> <p>Массив_данных – это массив или ссылка на множество данных, для которых вычисляются частоты. Если массив_данных не содержит значений, то функция ЧАСТОТА возвращает массив нулей. Массив_карманов – это массив или ссылка на множество интервалов, в которые группируются значения аргумента массив_данных. Если массив_карманов не содержит значений, то функция ЧАСТОТА возвращает количество элементов в аргументе массив_данных</p>	<p>ЧАСТОТА (массив данных; двоичный массив)</p>

Окончание прил. 7

1	2	3
ЭКСПРАСП	<p>Возвращает экспоненциальное распределение. Функция ЭКСПРАСП используется для моделирования временных задержек между событиями, например, сколько времени займет денежный перевод в автоматизированном банке. Например, можно использовать функцию ЭКСПРАСП, чтобы определить вероятность того, что этот процесс займет не более 1 минуты.</p> <p>X – это значение функции. λ – это значение параметра. Интегральная функция – это логическое значение, которое указывает, какую форму экспоненциальной функции использовать. Если интегральная имеет значение ИСТИНА, то функция ЭКСПРАСП возвращает интегральную функцию распределения; если этот параметр имеет значение ЛОЖЬ, то возвращается функция плотности распределения</p>	ЭКСПРАСП (x ; лямбда; интегральный)
ЭКСЦЕСС	<p>Возвращает эксцесс множества данных. Эксцесс характеризует относительную остроконечность или сглаженность распределения по сравнению с нормальным распределением. Положительный эксцесс обозначает относительно остроконечное распределение. Отрицательный эксцесс обозначает относительно сглаженное распределение.</p> <p>Число 1, число 2, ... – это от 1 до 30 аргументов, для которых вычисляется эксцесс. Можно использовать массив или ссылку на массив вместо аргументов, разделяемых точкой с запятой</p>	ЭКСЦЕСС (число 1; число 2 ...)

Приложение 8

ИТОГОВОЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 150200 (190601) «Основы научных исследований»

Методология научных исследований

Вопрос	Фразы	Ответ
1	2	3
1. Что такое научное направление?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Крупная задача, связанная с открытием или решением комплекса научных задач. 2. Научная задача, охватывающая определенную область научного исследования; 3. Это предмет исследования, в процессе которого решаются крупные задачи в определенной отрасли науки 	3
2. Что такое тема?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Крупная задача, связанная с открытием или решением комплекса научных задач. 2. Научная задача, охватывающая определенную область научного исследования; 3. Это предмет исследования, в процессе которого решаются крупные задачи в определенной отрасли науки 	2
3. Что такое проблема?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Крупная задача, связанная с открытием или решением комплекса научных задач. 2. Научная задача, охватывающая определенную область научного исследования; 3. Это предмет исследования, в процессе которого решаются крупные задачи в определенной отрасли науки 	1
4. Цель исследований.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение практического результата 2. Выявление наиболее существенных факторов и отыскание связей между ними 3. Изучение технологических процессов и явлений 4. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	1

Продолжение прил. 8

1	2	3
5. Задачи исследований.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение практического результата 2. Выявление наиболее существенных факторов и отыскание связей между ними 3. Изучение технологических процессов и явлений 4. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	2
6. Объект исследований	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение практического результата 2. Выявление наиболее существенных факторов и отыскание связей между ними 3. Изучение технологических процессов и явлений 4. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	3
7. Предмет исследований	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение практического результата 2. Выявление наиболее существенных факторов и отыскание связей между ними 3. Изучение технологических процессов и явлений 4. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	4
8. Что такое научная новизна исследований?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Способ или метод выполнения процесса, математические модели, аналитические зависимости; 2. Изучение технологических процессов и явлений 3. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	1
9. Что такое практическая ценность исследований?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технический эффект от использования полученных результатов исследований 2. Изучение технологических процессов и явлений 3. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	1
10. Что такое методика исследований?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях 2. Изучение технологических процессов и явлений 3. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	1

Продолжение прил. 8

1	2	3
11. Что такое метод исследований?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях 2. Изучение технологических процессов и явлений 3. совокупность приемов или операций практического и теоретического познания и освоения действительности 	3
12. Что такое закон исследований?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях 2. Связь существенная, устойчивая, необходимая и повторяющаяся 3. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	2
13. Что такое теоретические исследования?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях 2. Исследования, основанные на аксиомах, постулатах и теоремах 3. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	2
14. Что такое гипотеза?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях 2. Научное предположение о том, что происходит за пределами опыта 3. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	2
15. Что такое анализ?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях 2. Разделение объекта на более мелкие для их детального изучения 3. Изучение закономерностей, условий и режимов изучаемых процессов и явлений 	2

Продолжение прил. 8

1	2	3
16. Что такое синтез?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность способов и приемов решения задач, поставленных в исследованиях 2. Разделение объекта на более мелкие, для их детального изучения 3. Рассмотрение объекта как единого целого и присущих ему свойств 	3
17. Что такое индуктивный метод?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление общих выводов по результатам единичных наблюдений 2. Разделение объекта на более мелкие, для их детального изучения 3. Рассмотрение объекта как единого целого и присущих ему свойств 	1
18. Что такое дедуктивный метод?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление общих выводов по результатам единичных наблюдений 2. Разделение объекта на более мелкие, для их детального изучения 3. Вывод частных положения из общи правил 	1
19. Что называется абстрагированием?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление наиболее существенных свойств и отвлечение от несущественных 2. Разделение объекта на более мелкие, для их детального изучения 3. Мысленное создание абстрактных объектов, обладающих предельными свойствами реального 	1
20. Что называется идеализацией?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление наиболее существенных свойств и отвлечение от несущественных 2. Разделение объекта на более мелкие, для их детального изучения 3. Мысленное создание абстрактных объектов, обладающих предельными свойствами реального 	3
21. Что такое аналогия?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление наиболее существенных свойств и отвлечение от несущественных 2. Сходство по какому-то признаку различных объектов 3. Мысленное создание абстрактных объектов, обладающих предельными свойствами реального 	2
22. Что такое экстраполяция?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление наиболее существенных свойств и отвлечение от несущественных 2. Сходство по какому-то признаку различных объектов 3. Распространение полученного теоретического положения на аналогичные процессы 	3
23. Что такое моделирование?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление наиболее существенных свойств и отвлечение от несущественных 2. Сходство по какому-то признаку различных объектов 3. Изучение свойств объекта на его модели 	3

Продолжение прил. 8

1	2	3
24. Что такое математический анализ?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление наиболее существенных свойств и отвлечение от несущественных 2. Метод изучения сложных систем, процессов и явлений 3. Изучение свойств объекта на его модели 	2
25. Что такое системный подход?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление наиболее существенных свойств и отвлечение от несущественных 2. Метод изучения сложных систем, процессов и явлений 3. Совокупность методов и приемов исследований объектов 	3
26. Скорость оборота (коэффициент оборачиваемости) рассчитывается отношением суммы доходов к ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основным фондам. 2. Прибыли. 3. Оборотным фондам. 4. Амортизационным отчислениям. 	3
27. Понятия о науке.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наука это целостная социальная система, объединяющая в себе постоянно развивающийся набор научных знаний об объективных законах природы, научную деятельность людей, направленную на создание и развитие этой системы, и учреждения, обеспечивающие научную деятельность. 2. Наука это целостная социальная система, объединяющая в себе научную деятельность людей, направленную на создание и развитие этой системы, и учреждения, обеспечивающие научную деятельность. 3. Наука это целостная социальная система, объединяющая в себе постоянно развивающийся набор научных знаний об объективных законах природы. 	1
28. Классификация системы научных знаний.	<ol style="list-style-type: none"> 1. По отраслям знаний. 2. По отраслям знаний, по научным дисциплинам. 3. По результатам научной деятельности. 4. По отраслям знаний, по научным дисциплинам, по результатам научной деятельности. 	4
29. Отрасли знаний.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Естественные, общественные и технические науки. 2. Общественные. 3. Технические науки. 4. Общественные и технические науки. 	1

Продолжение прил. 8

1	2	3
30. Научные дисциплины.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Математика, физика, химия, техническая эксплуатация автомобильных дорог и т.д.. 2. Математика, физика, химия. 3. Математика, физика, химия. 4. Техническая эксплуатация автомобильных дорог. 	1
31. Результаты научной деятельности.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Публикации. 2. Патенты. 3. Публикации, патенты, конструкторские разработки и т.д.. 4. Конструкторские разработки. 	3
32. Классификация научной деятельности.	<ol style="list-style-type: none"> 1. По целевому назначению, по видам научных работ, по диапазону исследовательских работ, по методу исследования. 2. По целевому назначению. 3. По диапазону исследовательских работ, по методу исследования. 4. По целевому назначению, по видам научных работ, по диапазону исследовательских работ. 	1
33. Целевое назначение научной деятельности.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Развитие теории. 2. Развитие теории, разработка новой техники, совершенствование технологии. 3. Разработка новой техники. 4. Совершенствование технологии. 	2
34. Виды научных работ.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Фундаментальные. 2. Прикладные. 3. Фундаментальные, прикладные. 	3
35. Диапазоны исследовательских работ.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Направление в науке. 2. Научная проблема. 3. Направление в науке, научная проблема, научная тема, научный вопрос. 4. Научный вопрос. 	3
36. Методы исследования.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теоретические. 2. Теоретические, экспериментальные и смешанные. 3. Экспериментальные. 4. Смешанные. 	2

Продолжение прил. 8

1	2	3
37. Классификация научных учреждений.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Непроизводственной и производственной сфер. 2. Непроизводственной сферы. 3. Производственной сферы. 	1
38. Научные учреждения непроизводственной сферы.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Академические институты. 2. Академические институты, нии гуманитарного и общенаучного профилей. 3. Вузы непроизводственного профиля. 4. Академические институты, нии гуманитарного и общенаучного профилей, вузы непроизводственного профиля – медицинские, юридические и т.д. 	4
39. Научные учреждения производственной сферы.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Научно-исследовательские институты (НИИ). 2. Конструкторские бюро (КБ). 3. Отраслевые институты – НИИ, КБ, НПО – технические вузы. 4. Научно – производственные объединения (НПО). 	3
40. Характерные черты современной науки.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Связь с производством, массовость, дробление, специализация. 2. Резкое ускорение темпов научно – технического прогресса (нТП). 3. Системный подход в изучении объектов исследования. 4. Связь с производством, массовость, дробление, специализация, взаимодействие и взаимопроникновение наук, системный подход в изучении объектов исследования, резкое ускорение темпов научно – технического прогресса (нТП), перевод научной деятельности на хозрасчет и самоокупаемость, наличие различных источников финансирования. 	4
41. Научные исследования включают в себя:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Научный труд. 2. Научную деятельность человека. 3. Предмет научного труда, средство научного труда. 4. Научный труд или научную деятельность человека, предмет научного труда, средство научного труда. 	4
42. Методы научного исследования, применяемые при проектировании автомобильных дорог.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналогия, моделирование. 2. Научное абстрагирование, формализация, аналогия. 3. Анализ, синтез, индуктивный и дедуктивный методы, научное абстрагирование, формализация, аналогия, моделирование. 4. Аналогия, моделирование. 	3

Продолжение прил. 8

1	2	3
<p>43. Экономические методы определения перспективности исследований.</p>	<p>1. $K_3 = \frac{\Delta_o}{\Delta_n}(1 - P_p)$, где K_3 – показатель перспективности, - ожидаемый экономический эффект в усл. ед., Δ_n – общие затраты на научные исследования в усл. ед., P_p – вероятность риска.</p> <p>2. $K_3 = \frac{\Delta_n}{\Delta_o}(1 - P_p)$.</p> <p>3. $K_3 = \frac{\Delta_o}{\Delta_n}(1 + P_p)$.</p> <p>4. $K_3 = \frac{\Delta_n}{\Delta_o}$.</p>	<p>1</p>
<p>44. Этапы научного исследования.</p>	<p>1. Теоретические и экспериментальные исследования.</p> <p>2. Изучение состояние вопроса, теоретические и экспериментальные исследования, анализ и обобщение теоретических и экспериментальных исследований, расчет экономической эффективности и опытная апробация предлагаемых разработок.</p> <p>3. Расчет экономической эффективности и опытная апробация предлагаемых разработок.</p> <p>4. Расчет экономической эффективности и опытная апробация предлагаемых разработок.</p>	<p>2</p>
<p>45. Цели научного исследования</p>	<p>1. Поиск логических моделей.</p> <p>2. Поиск математических моделей.</p> <p>3. Определение оптимальных режимов функционирования объекта.</p> <p>4. Выявление механизма научного явления (поиск математических, логических и других моделей), определение оптимальных режимов функционирования объекта, системы (используется, когда известен механизм явления)</p>	<p>4</p>

Метрологическое обеспечение научных исследований

Вопрос	Фразы	Ответ
1	2	3
46. Метрология.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наука об измерениях. 2. Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства. 3. Наука о способах достижения требуемой точности. 4. Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. 	4
47. Единство измерений.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью. 2. Состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин. 3. Состояние измерений, при котором их результаты не выходят за установленные границы с заданной вероятностью. 4. Состояние измерений, при котором погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью. 	1
48. Эталон единицы величины.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Средство измерений, предназначенное для передачи размера другим средствам измерений. 2. Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины. 3. Средство измерений, предназначенное для воспроизведения единицы величины. 4. Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины. 	2

Продолжение прил. 8

1	2	3
<p>49. Метрологический контроль и надзор.</p>	<p>1. Средство измерений, предназначенное для передачи размера другим средствам измерений. 2. Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины. 3. Деятельность, осуществляемая органом государственной метрологической службы (государственный метрологический контроль и надзор) или метрологической службой юридического лица, в целях проверки соблюдения установленных метрологических правил и норм.</p>	<p>3</p>
<p>50. Для определения допустимой погрешности средств измерений (СИ) длины и массы используется абсолютная погрешность. Пределы допустимой абсолютной погрешности устанавливаются по формуле:</p>	<p>1. $\gamma = \frac{\Delta}{x_N}$ 2. $\delta = \frac{\Delta}{x}$ 3. $\Delta = \pm(a + bx)$</p>	<p>3</p>
<p>51. Если границы погрешностей средств измерений (СИ) изменены в пределах диапазона измерений, то пределы допускаемых погрешностей выражаются в формуле приведённых погрешностей, которые устанавливаются по формуле:</p>	<p>1. $\gamma = \frac{\Delta}{x_N}$ 2. $\delta = \frac{\Delta}{x}$ 3. $\Delta = \pm(a + bx)$</p>	<p>1</p>
<p>52. Если границы погрешностей средств измерений (СИ) не постоянны по диапазону измерений, то пределы допускаемых погрешностей выражаются в формуле относительных погрешностей, которые устанавливаются по формуле:</p>	<p>1. $\gamma = \frac{\Delta}{x_N}$ 2. $\delta = \frac{\Delta}{x}$ 3. $\Delta = \pm(a + bx)$</p>	<p>2</p>

1	2	3
<p>53. Дайте определение доверительного интервала (интервал оценивания) среднеквадратической ошибки:</p>	$1. E = \pm t \cdot S = \pm t \cdot \sqrt{\frac{\sum (X_i + \bar{X})^2}{N+1}}$ $2. E = \pm t \cdot S = \pm t \cdot \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$ $3. E = \pm t \cdot S = \pm t \cdot \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})}{N-1}}$	2
<p>54. Поверку средств измерения (СИ) проводят для установления их пригодности к применению. Они подвергаются периодической поверке для СИ:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. При необходимости удостовериться в пригодности к применению; повреждение доверительного клейма, пломбы или утере документа; вводе в эксплуатацию СИ после хранения. 2. Находящихся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками. 3. При возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, неисправности СИ и пригодности их к применению. 	2
<p>55. Внеочередная поверка средств измерения (СИ) производится при:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимости удостовериться в пригодности к применению; повреждение доверительного клейма, пломбы или утере документа; вводе в эксплуатацию СИ после хранения. 2. Находящихся в эксплуатации или на хранении в следующих случаях: <ul style="list-style-type: none"> - повреждение знака поверительного клейма, а также утрата свидетельства о поверке; - ввод в эксплуатацию СИ после длительного хранения (более одного межповерочного интервала); - неудовлетворительная работа прибора или проведение повторной настройки после ударного воздействия на СИ. 3. Возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, неисправности СИ и пригодности их к применению. 	2

Продолжение прил. 8

1	2	3
<p>56. Инспекторскую поверку средств измерения (СИ) для установления их пригодности к применению производят при:</p>	<p>1. Необходимости удостовериться в пригодности к применению; повреждение доверительного клейма, пломбы или утере документа; вводе в эксплуатацию СИ после хранения.</p> <p>2. Находящихся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками.</p> <p>3. Осуществлении государственного метрологического надзора.</p>	3
<p>57. Статистическое значение математического ожидания или выборочного среднего (n – числовое значение выборки) \bar{x} случайной величины x_i.</p>	<p>1. $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i$;</p> <p>2. $\bar{x} = \frac{x_i}{n}$;</p> <p>3. $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i - 1}{n}$;</p> <p>4. $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} +$.</p>	4
<p>58. Статистическое значение дисперсии \bar{D} для экспериментальных данных.</p>	<p>1. $\bar{D} = S^2(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$;</p> <p>2. $\bar{D} = S^2(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$;</p> <p>3. $\bar{D} = S^2(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})$;</p> <p>4. $\bar{D} = S^2(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i + \bar{x})^2$.</p>	1

1	2	3
<p>59. Дисперсии $D(x)$ случайной величины.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})f(x)dx$. 2. $D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x + \bar{x})^2 f(x)dx$. 3. $D(x) = - \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^2 f(x)dx$. 4. $D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^2 f(x)dx$. 	<p>4</p>
<p>60. Статистическое значение среднеквадратического отклонения $S(x)$.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $S(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n+1}}$. 2. $S(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$. 3. $S(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})}{n-1}}$. 4. $S(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i + \bar{x})^2}{n-1}}$. 	<p>2</p>
<p>61. Среднеквадратическое или стандартное отклонение $\sigma(x)$.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\sigma(x) = -\sqrt{D(x)}$. 2. $\sigma(x) = \sqrt{-D(x)}$. 3. $\sigma(x) = \sqrt{D(x)}$. 4. $\sigma(x) = \sqrt{D(x)^2}$. 	<p>3</p>

1	2	3
<p>62. Коэффициент вариации $V(x)$.</p>	<p>1. $V(x) = \frac{\sigma(x)}{\bar{x}} - 1$.</p> <p>2. $V(x) = \frac{\sigma(x)}{\bar{x}}$.</p> <p>3. $V(x) = -\frac{\sigma(x)}{\bar{x}}$.</p> <p>4. $V(x) = \frac{\sigma(x)}{\bar{x}}$.</p>	<p>2</p>
<p>63. Коэффициент асимметрии A_k (характеризует асимметрию кривой распределения).</p>	<p>1. $A_k = -\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{S^3}$.</p> <p>2. $A_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{S^3}$.</p> <p>3. $A_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{S^3}$.</p> <p>4. $A_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i + \bar{x})^3}{S^3}$.</p>	<p>3</p>

1	2	3
<p>64. Коэффициент эксцесса E_k – показатель острровершинности.</p>	$1. E_k = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{S^4} - 3.$ $2. E_k = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{S^4} - 3.$ $3. A_k = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i + \bar{x})^3}{S^3}.$ $4. A_k = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i + \bar{x})}{S^3}.$	2
<p>65. Методика построения гистограммы распределения случайной величины x_i.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется максимальное x_{\max} и минимальное x_{\min} значение показателей выборки. 2. Определяется максимальное x_{\max} и минимальное x_{\min} значение показателей выборки, находится размах Δx случайной величины, определяется количество и значение интервала, подсчитывается число наблюдений n_i в каждом интервале, вычисляются частоты p_i попадания наблюдений в каждый интервал. 3. Находятся размах Δx случайной величины, определяется количество интервалов, определяется значение интервала, подсчитывается число наблюдений n_i в каждом интервале. 4. Определяется количество и значение интервалов. 	2

Продолжение прил. 8

1	2	3
<p>66. Нахождение размаха Δx случайной величины.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta x = x_{\min} + x_{\max}$. 2. $\Delta x = x_{\min} - x_{\max}$. 3. $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$. 4. $\Delta x = x_{\max} + x_{\min}$. 	<p>3</p>
<p>67. Определение количества интервалов k.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $k = 1 + 3, 3lqn$. 2. $k = 1 + 9, 3lqn$. 3. $k = 1 + 0, 3lqn$. 4. $k = 1 - 3, 3lqn$. 	<p>1</p>
<p>68. Определение значения интервала.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\delta = \frac{\Delta x}{x}$. 2. $\delta = \frac{\Delta x}{k}$. 3. $\delta = \frac{x}{k}$. 4. $\delta = -\frac{\Delta x}{k}$. 	<p>2</p>
<p>69. Вычисление частот p_j попадания наблюдений n_j в каждый интервал.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $p_j = -\frac{n_j}{n}$. 2. $p_j = \frac{n}{n_j}$. 3. $p_j = \frac{n_j}{n-1}$. 4. $p_j = \frac{n_j}{n}$. 	<p>4</p>

1	2	3
70. Гистограмма.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Графическое представление результатов экспериментальных исследований, позволяющее в первом приближении получить сведения о законе $f(x)$ распределения случайной величины. 2. Первое приближение сведений о законе распределения случайной величины. 3. Графическое представление, позволяющее в первом приближении получить сведения о законе распределения случайной величины. 4. Графическое представление экспериментальных исследований. 	1
71. Вероятность нахождения случайной величины x_i в интервале x и $x + \Delta x$.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется через функцию $F(x): P(x \leq x \leq x + \Delta x) = \int_x^{x+\Delta x} F(x + \Delta x) - F(x)$. 2. Определяется через функцию $F(x): P(x \leq x \leq x + \Delta x) = \int_x^{x+\Delta x} F(x + \Delta x) + F(x)$. 3. Определяется через функцию $F(x): P(x \leq x \leq x + \Delta x) = \int_x^{x+\Delta x} F(\Delta x) - F(x)$. 4. Определяется через функцию $F(x): P(x \leq x \leq x + \Delta x) = \int_x^{x+\Delta x} F(x - \Delta x) - F(x)$. 	1
72. Вид дифференциальной функции экспоненциального закона распределения (плотности распределения) случайной величины.	<ol style="list-style-type: none"> 1. $f(x) = (\lambda e^{\lambda x}, x \geq 0; 0, x \leq 0)$. 2. $f(x) = (\lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0; 0, x \leq 0)$. 3. $f(x) = (e^{-\lambda x}, x \geq 0; 0, x \leq 0)$. 4. $f(x) = (\lambda e, x \geq 0; 0, x \leq 0)$. 	2

1	2	3
<p>73. Вид параметра распределения λ.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\lambda = \frac{1}{\bar{x}} = \frac{1}{\sigma(x)}$. 2. $\lambda = \frac{1}{\bar{x}} = -\frac{1}{\sigma(x)}$. 3. $\lambda = -\frac{1}{\bar{x}} = \frac{1}{\sigma(x)}$. 4. $\lambda = \frac{1}{\bar{x}} = 1 - \frac{1}{\sigma(x)}$. 	<p>1</p>
<p>74. Вид интегральной функции экспоненциального закона распределения.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $F(x) = P(x \leq X) = \int_{-\infty}^x \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x}$. 2. $F(x) = P(x \leq X) = \int_{-\infty}^x \lambda e^{\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x}$. 3. $F(x) = P(x \leq X) = \int_{-\infty}^x \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x}$. 4. $F(x) = P(x \leq X) = -\int_{-\infty}^x \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x}$. 	<p>3</p>
<p>75. Вид дифференциальной функции нормального закона распределения (плотности вероятностей) случайной величины.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$. 2. $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$. 3. $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$. 4. $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$. 	<p>2</p>

1	2	3
<p>76. Вид подстановки t, введенной Лапласом, позволяющей перейти к централизованному нормированному распределению, имеющему $\bar{x} = 0$ и $\sigma = 1$.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $t = \frac{x + \bar{x}}{\sigma}$. 2. $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$. 3. $t = -\frac{x - \bar{x}}{\sigma}$. 4. $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma^2}$. 	2
<p>77. Вид нормированного распределения $F(z)$ интегральной функции.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $F(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. 2. $F(z) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. 3. $F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5 + \Phi(z)$. 4. $F(z) = \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. 	3
<p>78. Функция Лапласа $\Phi(z)$ для положительных аргументов интегральной функции.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. 2. $\Phi(z) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. 3. $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. 4. $\Phi(z) = \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. 	3

1	2	3
<p>79. Плотность вероятности логарифмически нормального закона распределения.</p>	$f(x) = \frac{1}{\sigma_{\text{Л}}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(\ln x - y_0)^2}{2\sigma_{\text{Л}}^2}} dt.$ $f(x) = \frac{1}{\sigma_{\text{Л}} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(\ln x - y_0)^2}{2\sigma_{\text{Л}}^2}} dt.$ $f(x) = -\frac{1}{\sigma_{\text{Л}} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(\ln x - y_0)^2}{2\sigma_{\text{Л}}^2}} dt.$ $f(x) = \frac{1}{\sigma_{\text{Л}} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(\ln x - y_0)^2}{2\sigma_{\text{Л}}^2}} dt.$	<p>3</p> <p>4</p>
<p>80. Математическое ожидание y_0 логарифма случайной величины.</p>	$y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x.$ $y_0 = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x.$ $y_0 = \sum_{i=1}^n \ln x.$ $y_0 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \ln x.$	<p>1</p>

1	2	3
<p>81. Среднеквадратическое отклонение $\sigma_{л}$ логарифма случайной величины.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\sigma_{л} = \sqrt{\frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - y_0)^2}$. 2. $\sigma_{л} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - y_0)^2}$. 3. $\sigma_{л} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - y_0)^2}$. 4. $\sigma_{л} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - y_0)^2}$. 	<p>2</p>
<p>82. Плотность распределения по закону Вейбулла.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $f(x) = -b \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$. 2. $f(x) = \frac{1}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$. 3. $f(x) = \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$. 4. $f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$, при условии что a – параметр масштаба, косвенно связанный со средним значением; b – параметр формы, косвенно связанный со значением коэффициента вариации. При $b=1$ закон Вейбулла вырождается в экспоненциальный. 	<p>4</p>

Продолжение прил. 8

1	2	3
83. Плотность гамма – распределения.	$f(x) = \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda^r (x - x_0)^{r-1} e^{-\lambda(x-x_0)}.$ $f(x) = \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda^2 (x + x_0)^{r-1} e^{-\lambda(x-x_0)}.$ $f(x) = \lambda^2 (x - x_0)^{r-1} e^{-\lambda(x-x_0)}.$ $f(x) = \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda (x - x_0)^{r-1} e^{-\lambda(x-x_0)}.$	1
84. Параметр распределения λ .	$1. \lambda = \frac{x + x_0}{\sigma^2}.$ $2. \lambda = \frac{x - x_0}{\sigma^2}.$ $3. \lambda = -\frac{x - x_0}{\sigma^2}.$ $4. \lambda = \frac{x - x_0}{\sigma}.$	2
85. Параметр r .	$1. r = \frac{(\bar{x} + x_0)^2}{\sigma}.$ $2. r = -\frac{(\bar{x} + x_0)^2}{\sigma^2}.$ $3. r = \frac{(\bar{x} - x_0)^2}{\sigma^2}.$ $4. r = \frac{(\bar{x} + x_0)^2}{\sigma}.$	3

1	2	3
86. Параметр $\Gamma(r)$.	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\Gamma(r) = \int_0^{\infty} u^{r-1} e^{-u} du.$ 2. $\Gamma(r) = \int_0^{\infty} u^r e^{-u} du.$ 3. $\Gamma(r) = -\int_0^{\infty} u^{r-1} e^{-u} du.$ 4. $\Gamma(r) = \int_0^{\infty} u^{r-1} e^{-u} du.$ 	3 4
87. Мера расхождения теоретической и экспериментальной зависимостей χ^2 (хи – квадрат).	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{n_j - np_j}{np_j}.$ 2. $\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{n_j + np_j}{np_j}.$ 3. $\chi^2 = -\sum_{j=1}^k \frac{n_j - np_j}{np_j}.$ 4. $\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{n_j - np_j}{p_j}.$ 	1
88. Доверительный интервал I_{β} означает попадание в него неизвестного значения показателя \tilde{a} с вероятностью β .	<ol style="list-style-type: none"> 1. $I_{\beta} = -(\tilde{a} - \xi; \tilde{a} + \xi).$ 2. $I_{\beta} = (\tilde{a} - \xi; \tilde{a} + \xi).$ 3. $I_{\beta} = (\tilde{a} + \xi).$ 4. $I_{\beta} = (\tilde{a} - \xi;).$ 	2
89. Условие для оценки истинного значения \tilde{a} .	<ol style="list-style-type: none"> 1. $-P(\tilde{a} - \xi < a < \tilde{a} + \xi) = \beta.$ 2. $P(\tilde{a} - \xi < a > \tilde{a} + \xi) = \beta.$ 3. $P(\tilde{a} - \xi < a < \tilde{a} + \xi) = \beta.$ 4. $P(\tilde{a} - \xi > a < \tilde{a} + \xi) = \beta.$ 	3

Планирование эксперимента

Вопрос	Фразы	Ответ
1	2	3
90. Планирование эксперимента состоит в процедуре выбора...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. 2. Условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. 3. Числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи за заданное время. 4. Числа проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи за заданное время. 	1
91. Эксперимент может быть физическим, психологическим или модельным и проводится непосредственно на ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Объекте и его модели. 2. Объекте или его модели. 3. Объекте. 4. Модели объекта. 	2
92. Что такое экстремальный эксперимент?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эксперимент, который ставится для решения задач управления выходным параметром 2. Эксперимент, при котором требуется установить количественную связь между значением выходного параметра и факторами 3. Эксперимент, который ставится для решения задач оптимизации 	3
93. Что такое интерполяционный эксперимент?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эксперимент, который ставится для решения задач управления выходным параметром 2. Эксперимент, при котором требуется установить количественную связь между значением выходного параметра и факторами 3. Эксперимент, который ставится для решения задач оптимизации 	2
94. Под математической моделью объекта исследования понимается...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Уравнение, связывающее все выходные параметры с факторами 2. Уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами 3. Уравнение, связывающее входные величины с факторами 	2

Продолжение прил. 8

1	2	3
95. Все способы воздействия на объект исследования называются...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Характеристики целей исследования 2. Параметры оптимизации 3. Факторами 	3
96. Что называют уровнем фактора?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Максимальное значение фактора 2. Разница между максимальным и минимальным значениями фактора 3. Одно из нескольких значений фактора 	3
97. В чем заключается требование воспроизводимости эксперимента?	<ol style="list-style-type: none"> 1. При повторении эксперимента при одних и тех же значениях входных параметров результаты эксперимента должны иметь разброс, не превышающий некоторой заранее заданной величины 2. Экспериментатор может осуществлять активное вмешательство в процесс исследования, выбирать в каждом опыте те уровни факторов, которые он считает нужными 3. При повторении эксперимента при одних и тех же значениях входных параметров результаты эксперимента не должны иметь большой разброс 	1
98. В чем заключается требование управляемости эксперимента?	<ol style="list-style-type: none"> 1. При повторении эксперимента при одних и тех же значениях входных параметров результаты эксперимента должны иметь разброс, не превышающий некоторой заранее заданной величины 2. Экспериментатор может осуществлять активное вмешательство в процесс исследования, выбирать в каждом опыте те уровни факторов, которые он считает нужными 3. При повторении эксперимента при одних и тех же значениях входных параметров результаты эксперимента не должны иметь большой разброс 	2
99. Эксперимент называется активным если ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. При проведении эксперимента используются только активные элементы для изменения значений входных параметров 2. Значения входных параметров имеет большой разброс 3. Экспериментатор может осуществлять активное вмешательство в процесс исследования, выбирать в каждом опыте те уровни факторов, которые он считает нужными 	3

1	2	3
100. Как подсчитать число различных состояний объекта исследования?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Число различных состояний получается путем перемножения числа уровней факторов и числа самих факторов 2. Число различных состояний получается путем возведения числа уровней факторов в степень числа факторов 3. Число различных состояний получается путем возведения числа уровней факторов в степень обратную числу факторов 	2
101. Адекватность модели — это способность модели предсказывать результаты поведения объекта исследования ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. В определенной области изменения факторов с заданной точностью 2. Во всей области изменения факторов с максимальной точностью 3. В определенной области изменения факторов с максимальной точностью 	1
102. Полным факторным экспериментом (ПФЭ) называется эксперимент, в котором ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Реализуются все возможные сочетания факторов на верхнем и нижнем уровнях 2. Реализуются все возможные сочетания уровней факторов 3. Реализуются все возможные сочетания уровней параметра оптимизации 4. Реализуются все возможные сочетания параметра оптимизации на верхнем и нижнем уровнях 	2
103. Параллельными опытами называют опыты, ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Время проведения которых совпадает 2. В которых уровни факторов повторяются 3. Для которых задано два или более параметра оптимизации 	
104. Ротатбельность плана эксперимента означает, что ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценки дисперсии предсказания зависят от вращения координатных осей факторного пространства 2. Оценки дисперсии предсказания инвариантны относительно вращения координатных осей факторного пространства 3. Дисперсия предсказания зависит только от того, в каком направлении осуществляется движение из начала координат, и не зависит от расстояния между интересующей нас точкой и началом координат 	2
105. Что понимают под интерпретацией модели?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Привязку полученной модели к интерпретируемому параметру оптимизации 2. Получение математической зависимости между действующими факторами и параметром оптимизации 3. Анализ полученной модели 	3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. НАУКА И НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ	6
1.1. Понятие науки и классификация наук	6
1.1.1. Научное исследование	10
1.1.2. Этапы научно-исследовательской работы	15
1.2. Методология научных исследований	17
1.2.1. Понятия метода и методологии научных исследований	17
1.2.2. Философские и общенаучные методы научного исследования	18
1.2.3. Частные и специальные методы научного исследования	23
1.3. Подготовительный этап научно-исследовательской работы	28
1.3.1. Выбор темы научного исследования	28
1.3.2. Планирование научно-исследовательской работы	29
1.4. Сбор научной информации	33
1.4.1. Основные источники научной информации	36
1.4.2. Изучение литературы	36
Контрольные вопросы	48
2. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ	49
2.1. Основные принципы определения формирования и выполнения научных исследований	49
2.2. Понятие о теоретических исследованиях	55
2.3. Основные положения по проведению экспериментальных исследований	61
2.3.1. Ошибки измерений. Обработка опытных данных	62
2.3.2. Методики проведения экспериментальных исследований	91
Контрольные вопросы	150
3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПАКЕТОМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ STATISTICA	151
3.1. Редактирование таблиц и предварительный анализ	151
3.1.1. Ввод данных в программе STATISTICA	151
3.1.2. Предварительный анализ данных	153
3.1.3. Построение гистограмм	161
3.2. Обработка данных модулем «Нелинейное оценивание» Nonlinear Estimation	163
3.3. Обработка модулем «Множественная регрессия» Multiple Regression	171

Контрольные вопросы	177
4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ	178
5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ АВТОРЕФЕРАТА ДИССЕРТАЦИИ	308
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	326
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	327
ПРИЛОЖЕНИЯ	330
Приложение 1. Планы экспериментов второго порядка, близкие к D-оптимальным.....	330
Приложение 2. Матрицы оптимальных планов для описания поверхности отклика полиномом второго порядка	331
Приложение 3. Матрица некомпозиционного плана второго порядка ...	336
Приложение 4. Критические значения статистики Дарбина-Уотсона (нижний-верхний уровень) для $\alpha=0,05$	338
Приложение 5. Критерии для уровней значимости.....	339
Приложение 6. Математическое и графическое представление законов распределения	345
Приложение 7. Некоторые операторы и функции программы Mathcad.....	347
Приложение 8. Итоговое междисциплинарное испытание по дисциплине специальности 150200 (190601) «Основы научных исследований»	367

Учебное издание

Лянденбургский Владимир Владимирович
Коновалов Владимир Викторович
Баженов Александр Васильевич

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Учебное пособие

Редактор Н.Ю. Шалимова
Верстка Н.А. Сазонова



Подписано в печать 20.12.13. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 23,02. Уч.-изд. л. 24,75. Тираж 300 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ №315.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Г. Титова, 28.