

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

«Брестский государственный технический университет»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

**Конспект лекций и тесты**

**по дисциплине**

**«НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ»**

для студентов специальности

1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»  
заочной формы обучения



**Брест 2008**

**УДК 378.147.85 (075.8)**

Конспект лекций и тесты по дисциплине «Научные исследования и решение инженерных задач» для студентов специальности 1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей» (заочная форма обучения) предназначены для подготовки к зачету и экзамену по данному предмету, а также к лабораторным работам.

Составитель: С.В. Монтик, зав. кафедрой ТЭА, доцент, к.т.н.

Рецензент: начальник технического отдела РУДТП «Автобусный парк №1»  
г. Бреста Заяц Л. Н.

## Оглавление

1. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА НАУКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....	4
2. ПОДГОТОВКА И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ.....	6
3. КЛАССИФИКАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	7
4. ЭТАПЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	8
6. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ.....	10
7. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЯ.....	12
7.1 Закономерности изменения технического состояния автомобиля.....	12
7.2. Расчет среднего значения и доверительного интервала.....	13
7.3. Расчет показателей вариации экспериментального распределения.....	14
7.4. Расчет эмпирических интегральной и дифференциальной функций распределения.....	15
7.5. Физический смысл интегральной и дифференциальной функций распределения.....	16
7.6. Определение показателей безотказности.....	16
7.7 Закономерности процессов восстановления.....	19
8. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЗАВЕРШЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ (ЦЕНЗУРИРОВАННЫХ ВЫБОРОК).....	21
9. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ.....	22
9.1. Определение вида вероятностной математической модели.....	22
9.2. Формирование нормального распределения.....	22
9.3. Формирование логарифмически нормального распределения.....	23
9.4. Формирование распределения Вейбулла.....	23
9.5. Формирование экспоненциального (показательного) распределения.....	24
9.6. Проверка совпадения экспериментального и теоретического распределения.....	25
9.7. Использование вероятностной математической модели для прогнозирования количества отказов.....	26
10. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	26
10.1. Общие сведения о методе статистического моделирования.....	29
10.2. Моделирование потребности в капитальном ремонте агрегатов автомобилей для АТП с использованием метода статистического моделирования.....	29
11. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СРЕДСТВ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	30
12. ДИСПЕРСИОННЫЙ, КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ.....	33
13. Планирование эксперимента.....	35
Тесты для самопроверки.....	38
Ответы на тесты для самопроверки.....	47
Литература.....	47

## 1. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА НАУКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В условиях рыночной экономики происходит коренная перестройка науки, связанная с созданием конкурентоспособной продукции, превращением науки в ведущую силу материального производства, заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую область деятельности.

**Совет Министров Республики Беларусь** – осуществляет общее руководство научными исследованиями, обеспечивает единую политику в области науки и техники, организует разработку прогнозов, определяет основные направления и программы работ по решению важнейших научных и научно-технических проблем, принимает меры по повышению эффективности научных исследований и использованию их результатов на производстве.

Руководство научными исследованиями в стране Совет Министров осуществляет через специальный орган управления – **Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ)**.

Главными задачами ГКНТ являются:

— разработка и реализация государственной политики в области науки, технологий и информатизации;

— координация деятельности министерств и иных республиканских органов управления, объединений, организаций и заведений в области научной, научно-технической, инновационной деятельности и информатизации, а также международного сотрудничества в этих направлениях;

— проведение единой государственной политики в области международного научно-технического сотрудничества;

— обеспечение контроля за исполнением законодательства Республики Беларусь по вопросам науки и технологий, а также за использованием государственных средств, выделяемых на финансирование науки;

— организационно-экономическое регулирование науки и техники;

— совершенствование структуры научно-технического потенциала страны и повышение эффективности его использования.

Высшим научным учреждением Республики Беларусь является **Национальная академия наук Беларуси**, осуществляющая фундаментальные научные разработки в области общественных и естественных наук и координирующая такие исследования во всех научных учреждениях и высших учебных заведениях страны.

Руководство работой академии осуществляет председатель президиума Национальной академии наук и коллективный орган – Президиум. Научно-методическое руководство своими учреждениями академия проводит через семь отделений:

— физики, математики и информатики;

— физико-технических наук;

— химии и наук о Земле;

— биологических наук;

— медицинских наук;

— гуманитарных наук и искусств;

— аграрных наук.

**Основными задачами Национальной академии наук** являются:

— научное обеспечение экономического, социального и государственно-правового развития Республики Беларусь, ее культуры, рационального использования и охраны природы;

— организация, проведение и координация фундаментальных и прикладных научных исследований и разработок по важнейшим направлениям естественных, технических, гуманитарных, социальных наук и искусств в целях получения новых знаний о человеке, обществе, природе и искусственно созданных объектах, увеличение научно-технического, интеллектуального и духовного потенциала Республики Беларусь;

— определение и внесение для утверждения в установленном законодательством порядке перечней приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь;

— выявление принципиально новых путей научно-технического прогресса, участие в разработке рекомендаций по использованию достижений отечественной и мировой науки на практике;

— обеспечение развития науки в регионах Республики Беларусь;

— создание условий для развития научных школ, подготовки научных работников высшей квалификации, повышения квалификации ученых и специалистов, в том числе в зарубежных научных центрах;

— внесение предложений по финансированию научной и инновационной деятельности в Республике Беларусь за счет средств республиканского бюджета и других централизованных источников;

— обеспечение развития информатизации и системы научно-технической информации;

— проведение научно-технической экспертизы предложений по вопросам приобретения за рубежом высоких технологий и дорогостоящего оборудования за счет средств республиканского бюджета;

— контроль в установленном порядке за эффективным использованием государственных средств, выделяемых на финансирование фундаментальных и прикладных научных исследований и разработок.

Национальной академии наук подчинен ряд **научно-исследовательских институтов**, выполняющих исследования по важнейшим направлениям фундаментальных наук, непосредственно влияющих на состояние дел в соответствующих отраслях производства. Важнейшими задачами институтов являются проведение по своему профилю фундаментальных исследований, подготовка рекомендаций по использованию результатов исследований в народном хозяйстве, участие в их внедрении.

Наряду с проведением научных исследований институты координируют работу других исследовательских учреждений по соответствующей их профилю тематике, готовят научные кадры, организуют конференции и совещания, издают сборники трудов и другие материалы с информацией о полученных научных результатах. Основными структурными подразделениями институтов являются отделы, лаборатории, секторы, центры и др.

В отраслях народного хозяйства функционируют **отраслевые институты**, занимающиеся в основном решением актуальных проблем отрасли. Такие научно-исследовательские организации выполняют главным образом **прикладные исследования**, которые служат каналом для обеспечения связи науки с производством. Здесь на основе результатов фундаментальных работ определяют направления технического прогресса, формируют техническую политику, разрабатывают и испытывают новые технологии и новые виды изделий. Отраслевые научно-исследовательские учреждения непосредственно подчиняются соответствующим министерствам. Получили развитие **научно-производственные объединения**, включающие *научно-исследовательский институт, специальное конструкторское бюро и производственное подразделение (производство, завод и т.д.)*. В системе Министерства транспорта и коммуникаций такую роль выполняет **Белорусский научно-исследовательский институт транспорта "Транстехника"**.

## 2. ПОДГОТОВКА И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Важнейшей формой подготовки специалистов-исследователей является **магистратура** и **аспирантура** при высших учебных заведениях и научно-исследовательских институтах, располагающих высококвалифицированными учеными, способными обеспечить руководство аспирантами. Перечень специальностей научных работников разрабатывается **Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Республики Беларусь**. Учиться в магистратуре и аспирантуре можно с отрывом от производства (очная форма обучения) и без отрыва от производства (заочная форма обучения).

Для поступления в магистратуру и аспирантуру необходимо сдать вступительные экзамены, а в процессе обучения магистранты и аспиранты сдают *кандидатские экзамены*. Для каждого поступившего в магистратуру или аспирантуру утверждается *научный руководитель*, который консультирует магистранта или аспиранта и контролирует ход выполнения магистерской или кандидатской диссертации.

К моменту окончания срока обучения аспирант должен сдать все кандидатские экзамены и представить в специализированный совет кандидатскую диссертацию.

Для подготовки научного работника определенного профиля вуз, научное учреждение или другая организация могут направить своего работника в так называемую **целевую аспирантуру**, по окончании которой он возвращается на работу в направившее его учреждение.

После завершения разработки диссертационной темы оформляется **диссертация**, подлежащая защите в **специализированном совете**. Такие советы организуются **Высшей аттестационной комиссией (ВАК)** в научных учреждениях и высших учебных заведениях, располагающих высококвалифицированными кадрами ученых соответствующего профиля. В состав спецсоветов могут привлекаться специалисты с ученой степенью и из других научных учреждений или вузов. Каждому спецсовету при его организации утверждаются номера соответствующих специальностей научных работников, по которым этот совет может организовывать защиту диссертаций на соискание ученой степени кандидата или доктора наук.

Для более глубокого анализа диссертации спецсоветы предварительно назначают **оппонентов**: при защите докторской диссертации – три доктора наук и ведущая организация; при защите кандидатской диссертации – один доктор наук, один кандидат наук и ведущая организация, которые докладывают на заседании спецсовета свои рецензии и предложения.

Результаты защиты диссертации (протокол, решение) спецсоветы направляют в ВАК, осуществляющую контроль за деятельностью спецсоветов. С этой целью в составе Высшей аттестационной комиссии организуются экспертные советы, состоящие из ведущих ученых страны. Они осуществляют выборочный контроль за правильностью организации защиты и решения, принимаемого спецсоветом о присуждении ученой степени кандидата наук.

ВАК также рассматривает предложения советов научных учреждений и принимает решения о **присвоении ученых званий доцента и профессора**.

Для повышения эффективности разработки актуальных проблем науки, техники и культуры, совершенствования подготовки научно-педагогических и научных кадров высшей квалификации – **докторов наук** – существует такая форма подготовки, как **докторантура**. **Докторантура** организуется при ведущих вузах, научных учреждениях и организациях, располагающих высококвалифицированными научными кадрами и необходимой исследовательской и экспериментальной базой.

В современных условиях чрезвычайно важной задачей является систематическое пополнение знаний специалистов. С этой целью в стране сформирована система повышения квалификации, состоящая из институтов повышения квалификации и факультетов повышения квалификации.

Для подготовки и переподготовки высшего руководящего состава народного хозяйства организована Академия управления при Президенте Республики Беларусь.

### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Научное исследование** – это процесс познания нового явления и раскрытия закономерностей изменения изучаемого объекта в зависимости от влияния различных факторов для последующего практического использования этих закономерностей.

Исследования могут быть *теоретические, теоретико-экспериментальные и экспериментальные*. Отнесение исследования к одному из видов зависит от применяемых методов и средств научного исследования.

**Теоретические исследования** базируются на применении математических и логических методов познания. Результаты теоретических исследований должны быть подтверждены практикой.

**Теоретико-экспериментальные** исследования предусматривают последующую экспериментальную проверку результатов теоретических исследований на натуральных образцах или моделях.

**Экспериментальные исследования** осуществляются на натуральных образцах или моделях в лабораторных условиях, при которых устанавливаются новые свойства, зависимости и закономерности, а также служат для подтверждения выдвинутых теоретических предположений.

Научные исследования по сфере использования результатов подразделяются на **фундаментальные и прикладные**.

**Фундаментальные** направлены на решение принципиально новых теоретических проблем, открытие новых законов, создание новых теорий.

**Прикладные исследования** представляют собой поиск и решение практических задач развития отдельных отраслей производства на основе результатов фундаментальных исследований.

Исследования подразделяются по признаку места их проведения, так как это определяет применение различных методов и средств научного исследования. Экспериментальные исследования, проведенные в лабораторных или производственных условиях, именуются *лабораторными или производственными*. Исследуемый объект может быть *натурным* или представлять его *модель*. В технике многие исследования и испытания проводятся на моделях и образцах, так как это значительно упрощает создание лабораторной базы для проведения исследований.

По стадиям выполнения исследования подразделяются на *поисковые, научно-исследовательские и опытно-промышленные разработки*.

**Поисковые исследования** устанавливают принципиальные основы, пути и методы решения поставленной задачи на основе фундаментальных исследований.

**Научно-исследовательская разработка** направлена на установление необходимых зависимостей, свойств и закономерностей, создающих предпосылки для дальнейших инженерных решений.

**Опытно-промышленная разработка** направлена на практическую реализацию исследования, т.е. на создании нового оборудования, технологий.

- По видам финансирования научные исследования можно разделить:
- **госбюджетные** (финансируются из госбюджета за счет Государственных научно-технических программ);
  - **хоздоговорные** (финансируются за счет хозяйственных договоров с предприятиями и организациями)
  - **не финансируемые** (проводятся по инициативе научных работников или за счет второй половины дня преподавателей вузов).
- Направления госбюджетных исследований* определяются в директивных документах правительства страны, в Государственных научно-технических программах.
- Направления хоздоговорных исследований* определяет заказчик.

#### **4. ЭТАПЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Научное исследование включает следующие четыре **основных этапа**.

**1. Подготовка к исследованию.** Определяется цель исследования, проводится патентный поиск и обосновывается необходимость выполнения данного исследования, формулируются рабочая гипотеза и задачи исследования, разрабатываются программа и общая методика исследования.

**2. Экспериментальное исследование и обработка опытных данных.** Этот этап предполагает проведение эксперимента: планирование опытов, подготовку к опытам и их проведение, статистическую обработку опытных данных.

**3. Анализ и синтез результатов экспериментального исследования.** На основании полученных экспериментальных данных составляется математическая модель исследуемого явления, получают необходимые аналитические зависимости.

**4. Проверка результатов обобщения на практике и оценка экономической, эффективности результатов исследования.**

Программа и методика исследования включают:

- составление календарного плана выполнения работ;
- выбор технических средств экспериментального исследования для регистрации и измерения воздействующих факторов;
- математическое моделирование объекта исследования и планирование эксперимента;
- выбор методов статистической обработки опытных данных и анализа результатов эксперимента;
- выбор метода экономического анализа результатов исследования.

Для проведения исследований проводят **эксперимент**, который может быть **активным** или **пассивным**. Проведение активного эксперимента происходит активное вмешательство в исследуемый процесс или явление. Примером пассивного эксперимента является наблюдение за автомобилями и отдельными их агрегатами в процессе эксплуатации.

#### **5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Перспективными направлениями научно-исследовательских работ в области технической эксплуатации автомобилей являются:

1. Повышение эффективности работы подвижного состава автомобильного транспорта в различных условиях эксплуатации.
2. Оптимизация планирования, организации и управления перевозками грузов и пассажиров.



3. Обоснование перспективных параметров подвижного состава, определяющих экономичность перевозочного процесса (типаж грузовых и легковых автомобилей и автобусов, грузоподъемность, скорость движения).

4. Исследование влияния условий эксплуатации на изменение работоспособности и надежности автомобилей.

5. Разработка теоретических основ управления техническим состоянием автомобилей.

6. Разработка теории надежности автомобилей, базирующейся на изучении физики отказов, динамики и прочности машин, кибернетики и технической диагностики.

7. Разработка методов и средств прогнозирования технического состояния автомобилей (остаточного ресурса), базирующихся на диагностике и математических моделях износа агрегатов и узлов.

8. Разработка системы обслуживания и ремонта автомобилей по фактическому техническому состоянию.

9. Разработка методов и средств диагностирования систем, обеспечивающих безопасность движения автомобилей.

10. Разработка теоретических и практических рекомендаций по экономии горюче-смазочных материалов и снижению токсичности отработанных газов.

11. Оптимизация технологических процессов обслуживания и ремонта различных по типу и грузоподъемности автомобилей.

12. Разработка методов и средств механизации процессов технического обслуживания и ремонта различных по грузоподъемности автомобилей.

13. Совершенствование методов управления технологическими процессами и организацией технического обслуживания и ремонта подвижного состава автомобильного транспорта.

14. Разработка перспективного типажа универсального и автоматизированного контрольно-диагностического оборудования для различных автотранспортных предприятий.

В Республике Беларусь выполняются следующие государственных научно-технические программы в области технической эксплуатации автомобилей.

**1. Государственная целевая программа развития автотракторостроения и комбайностроения Республики Беларусь (ГЦП «Автотракторокомбайностроение»)**

Государственная целевая программа «Автотракторокомбайностроение» – это комплекс мероприятий:

- технического переоснащения, подготовки и освоения производства новых моделей и семейств машин, дизельных двигателей;
- производственного, научно-технического и маркетингового характера по обеспечению устойчивого функционирования и развития промышленного комплекса автотракторного и комбайностроения, а также смежных отраслей экономики республики.

Стратегические цели и задачи программы:

- государственная поддержка технического переоснащения предприятий автотракторокомбайностроения и смежных отраслей промышленности;
- наращивание экспортного потенциала предприятий автотракторокомбайностроения;
- увеличение объемов производства новой конкурентоспособной техники, сохранение и расширение внутренних и внешних рынков сбыта;
- максимальное увеличение доли отечественных машин в удовлетворении потребностей народного хозяйства в грузовых и пассажирских автомобильных перевозках и сельскохозяйственном производстве;
- техническое переоснащение сельского хозяйства на основе применения новой отечественной тракторной техники;
- экономия валютных средств за счет значительного сокращения импорта автотрак-

- торной техники;
- модернизация транспортной базы Вооруженных сил и перевод на автотранспортные средства отечественного производства;
- укрепление стабильности общества путем обеспечения устойчивого функционирования и развития промышленного комплекса автотракторного машиностроения и смежных производств.

Стратегические направления:

- унификация и серийность;
- специализация предприятий;
- городской пассажирский транспорт;
- реконструкция действующих и создание новых производств;
- производство дизельных двигателей;
- совместная товаропроводящая сеть.

**2. Государственная научно-техническая программа «Создать новые модели конкурентоспособных автомобилей, тракторов, дизельных двигателей, выпускаемых ведущими предприятиями машиностроительного комплекса для нужд республики и экспорта» (ГНТП «Белавтотракторостроение»)**

**3. Государственная программа ориентированных фундаментальных исследований «Развитие теории и методов исследования динамики и процессов управления в механических, гидравлических и газовых системах» (ГПОФИ «МЕХАНИКА»)**

Основная цель: решение фундаментальных проблем функционирования, устойчивости, управления и оптимизации механических систем и конструкций, а также газовых, жидкостных и газожидкостных систем.

Основные направления:

- управление эксплуатационными свойствами мобильных машин;
- ресурсное проектирование;
- механическая усталость;
- управление многоступенчатыми зубчатыми механизмами;
- износо-усталостные повреждения.

В результате будут созданы фундаментальные основы научного обеспечения государственных научно-технических программ по развитию автотрактор- и комбайностроения Беларуси, что будет способствовать укреплению научно-технического потенциала отрасли.

## **6. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ**

**Под надежностью** понимается свойство автомобиля выполнять заданные функции, сохраняя значения установленных эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Для того чтобы дать оценку надежности автомобиля, необходимо правильно классифицировать термины надежности.

**Исправность** – это состояние автомобиля, при котором он соответствует всем техническим требованиям, установленным нормативно-технической документацией как в отношении основных параметров, характеризующих нормальное выполнение заданных функций, так и в отношении второстепенных параметров, характеризующих внешний вид, удобство эксплуатации и т. д.

**Неисправность** – это состояние автомобиля, при котором он в данный момент времени не удовлетворяет хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией.

**Работоспособность** – это состояние автомобиля, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Между работоспособностью и исправностью существует очень важное различие: исправность предполагает, что выполняются все требования, относящиеся как к основным, так и к второстепенным параметрам, установленным нормативно-технической документацией; работоспособность характеризует только требования, относящиеся к основным параметрам. Требования, относящиеся к второстепенным параметрам, могут не выполняться. Так, например, автомобиль остается работоспособным, когда у него повреждены лакокрасочные или антикоррозионные покрытия, стореда лампочка освещения щитка приборов и т. д.

**Предельное состояние** – это состояние объекта, при котором его дальнейшее применение недопустимо либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

**Наработка** – это продолжительность работы изделия, измеряемая единицами пробега (километры), временем (часы), числом циклов.

Наработка изделия до предельного состояния называется **ресурсом**.

**Отказ** – это событие, заключающееся в нарушении или потере работоспособности.

**Отказ** автомобиля можно также определить как полную или частичную утрату им работоспособности. **Полный отказ** – это отказ, лишаящий автомобиль подвижности; частичный отказ снижает эксплуатационные качества автомобиля.

Неисправности, устранимые водителем в пути с помощью индивидуального комплекта ЗИП и за время проведения ежедневного технического обслуживания, и неисправности, не влияющие на работоспособность автомобиля, в отказы не включаются.

В зависимости от причины появления отказы подразделяются на **заводские** и **эксплуатационные**. **Заводские отказы** – это отказы, появившиеся по вине завода-изготовителя автомобиля. Они подразделяются на конструктивные и производственные. К **эксплуатационным** относятся отказы, обусловленные нарушением правил эксплуатации и внешними воздействиями, не свойственными нормальной эксплуатации. Эксплуатационные отказы и неисправности при оценке надежности автомобиля не учитываются.

Надежность автомобиля характеризуется четырьмя свойствами: **безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью**.

**Безотказность** – свойство автомобиля непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Количественно оно оценивается вероятностью безотказной работы, средней наработкой до отказа, интенсивностью отказов, средней наработкой на отказ и параметром потока отказов.

**Ремонтпригодность** – свойство автомобиля, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Количественно оно оценивается *основными показателями ремонтпригодности*: средним временем восстановления, средней удельной трудоемкостью технического обслуживания и текущего ремонта, вероятностью восстановления работоспособности в заданное время, коэффициентом готовности, коэффициентом технического использования и коэффициентом сложности отказов, а также *частными показателями ремонтпригодности* (определяют влияние конструктивных особенностей автомобиля на трудоемкость и продолжительность его обслуживания): абсолютное или относительное количество мест (точек) обслуживания на автомобиле (агрегате) и их доступность, трудоем-

кость снятия узлов, агрегатов и деталей, число марок применяемых эксплуатационных материалов, номенклатура необходимого оборудования и инструмента.

**Долговечность** – свойство автомобиля сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**Безотказность и долговечность** – свойства автомобиля сохранять работоспособное состояние. Но безотказность – свойство автомобиля непрерывно сохранять работоспособное состояние, а долговечность – свойство автомобиля длительно сохранять работоспособное состояние с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта.

Определение долговечности автомобилей, агрегатов, деталей должно осуществляться на стадии проектирования одновременно с определением эксплуатационных затрат на их техническое содержание.

Количественно долговечность оценивается средним ресурсом автомобиля до капитального ремонта, средней наработкой на отказ автомобиля за пробег до капитального ремонта, средней наработкой до капитального ремонта основного агрегата, гамма-процентным ресурсом.

Долговечность автомобилей повышается в результате совершенствования их конструкции, технологии изготовления и улучшения организации технической эксплуатации.

**Сохраняемость** – свойство автомобиля сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования.

Основным показателем сохраняемости автомобилей должна быть вероятность сохранения безотказности. Этот показатель характеризует готовность автомобилей к немедленному выполнению транспортной работы после определенного срока хранения.

Показателем сохраняемости является также средний срок сохраняемости автомобилей при длительном хранении.

## 7. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

### 7.1 Закономерности изменения технического состояния автомобиля

**Техническое состояние автомобиля** (агрегата, механизма, соединения) является совокупностью изменяющихся свойств его элементов, характеризующихся текущим значением конструктивных параметров. Обычно текущие значения конструктивных параметров связаны с наработкой.

При технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) в основном приходится иметь дело со случайными процессами и величинами.

#### 7.1.1 Закономерности изменения технического состояния автомобиля по его наработке

У значительной части узлов и деталей процесс изменения технического состояния в зависимости от времени или пробега автомобиля носит плавный, монотонный характер, приводящий к возникновению постепенных отказов. В случае постепенных отказов изменение параметра технического состояния конкретного изделия или среднего значения для группы изделий аналитически достаточно хорошо может быть описано двумя видами функций:

- целой рациональной функцией  $n$ -го порядка  $y(l) = a_0 + a_1 l + \dots + a_n l^n$ ,

- степенной функцией  $y(l) = a_0 + a_1 l^b$ ,

где  $a_0$  - начальное значение параметра технического состояния,  $l$  - наработка,  $a_1, a_2, \dots, a_n, b$  - коэффициенты, определяющие характер и степень зависимости  $y$  от  $l$ .

Данные закономерности характеризуют тенденцию изменения параметров технического состояния (математическое ожидание случайного процесса), а также позволяют определить средние наработки до момента достижения предельного или заданного состояния.

### 7.1.2 Закономерности вариации случайных величин

При работе группы автомобилей приходится иметь дело не с одной зависимостью  $y(t)$ , которая была бы пригодна для всей группы, а с индивидуальными зависимостями  $y_i(t)$ , свойственными каждому  $i$ -му изделию. Применительно к техническому состоянию однотипных изделий причинами вариации являются: незначительные изменения от изделия к изделию качества материалов, обработки деталей, сборки; текущие изменения условий эксплуатации (скорость, нагрузка, температура и т.д.); качество ТО и ремонта, вождения автомобилей и др. В результате при фиксации для группы изделий определенного параметра технического состояния, например  $Y_n$ , каждое изделие будет иметь свою наработку до отказа (см. рис. 7.1, а), т.е. будет наблюдаться вариация наработки.

Если все изделия обслуживать с единой периодичностью  $t_{ТО}$ , то будет иметь место вариация фактического технического состояния (см. рис. 7.2, б), которая скажется на продолжительности выполнения работ, количестве расходуемого материала и запасных частей. Для решения этих задач необходимо уметь оценивать вариацию случайных величин.

Выполняемые для этого расчеты будут рассмотрены ниже.

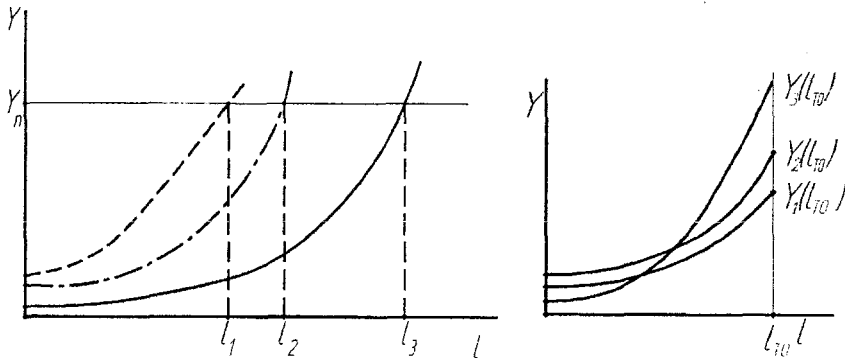


Рисунок 7.1 – Вариация случайной величины [1].

Исходными данными для расчета показателей надежности автомобилей являются результаты наблюдений или отчетные данные (например, результаты подконтрольной эксплуатации автомобилей), которые удобно представить в виде таблицы (см. табл. 7.1). Расчет показателей надежности выполняется в следующей последовательности.

### 7.2. Расчет среднего значения и доверительного интервала

Среднее значение экспериментального распределения рассчитываем следующим образом:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{x}_i n_i \quad \text{или} \quad \bar{x} = \sum_{i=1}^N \bar{x}_i m_i,$$

где  $m_i$  – относительная частота (частость) экспериментальных значений, попавших в  $i$ -й интервал вариационного ряда,  $n_i$  – число попаданий экспериментальных значений в  $i$ -й интервал. Среднее значение является приближенной экспериментальной оценкой ма-

тематического ожидания  $M(x)$ .

Во многих случаях при решении практических инженерных задач рекомендуется пользоваться интервальной оценкой, основанной на определении некоторого интервала, внутри которого с определенной (доверительной) вероятностью  $P_0$  находится неизвестное значение  $M(x)$ . Такой интервал называется **доверительным**, а его границы – доверительными и определяются следующим образом:

$$\bar{x} - \Delta < M(x) < \bar{x} + \Delta,$$

где  $\Delta$  – предельная абсолютная ошибка (погрешность) интервального оценивания математического ожидания, характеризующая точность проведенного эксперимента и численно равная половине ширины доверительного интервала.

**Физический смысл доверительного интервала** при исследовании, например, пробега автомобилей до капитального ремонта (КР), заключается в том, что при доверительной вероятности  $P_0=0,95$  (т. е. 95%) из 100 наблюдаемых автомобилей 95 будут иметь пробег до КР в пределах доверительного интервала.

Относительная точность оценки математического ожидания определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\Delta}{\bar{x}}$$

Значение  $\mu$  в решении задач технической эксплуатации автомобилей рекомендуется принимать в пределах 0,05-0,15. Чем ниже  $\mu$ , тем более точны будут результаты прогнозирования на основании проведенного эксперимента.

### 7.3. Расчет показателей вариации экспериментального распределения

Средние величины, характеризующая вариационный ряд числом, не отражают изменчивости наблюдавшихся значений признака, т.е. вариацию. Простейшим измерителем вариации признака является размах вариации

$$\omega = x_{\max} - x_{\min}.$$

Чаще всего используют оценку дисперсии вариационного ряда и ее производные.

Дисперсию вариационного ряда определяют по формуле (при  $N > 30$ ):

$$D(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 n_i.$$

Недостатком дисперсии является то, что она имеет размерность квадрата случайной величины и поэтому не обладает должной наглядностью. Поэтому на практике чаще используют эмпирическое среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_x = \sqrt{D(x)}$$

Значение  $\sigma_x$  характеризует рассеивание, разброс значений признака около его среднего  $\bar{x}$ .

Коэффициент вариации

$$v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}$$

характеризует относительную меру рассеивания значений признака. Значение  $v_x$ , умноженное на 100 %, дает размах колебаний выборки в процентах вокруг среднего значения.

*Точечные оценки позволяют предварительно судить о качестве изделий и технологических процессов. Чем ниже средний ресурс  $\bar{x}$  и выше вариация ( $\omega$ ,  $\sigma_x$ ,  $v_x$ ), тем ниже качество конструкции и изготовления (или ремонта) изделия. Чем выше коэффициент вариации показателей технологических процессов ТЭА (трудоемкость, простои в ТО или ремонте, загрузка постов и исполнителей и др.), тем менее совершенны применяемые организация и технология ТО и ремонта*

#### 7.4. Расчет эмпирических интегральной и дифференциальной функций распределения

Вместо абсолютных значений числа экспериментальных данных в интервале  $n_i$  целесообразно подсчитать долю рассматриваемых событий в интервале, приходящуюся на одно изделие (деталь, узел, агрегат или автомобиль) из числа находящихся под наблюдением, т.е. на единицу выборки. Эта характеристика экспериментального распределения называется относительной частотой (частотой)  $m_i$  появления рассматриваемого события (значений признака  $x_i$ ):

$$m_i = \frac{n_i}{N}.$$

Относительная частота  $m_i$  при этом, в соответствии с законом больших чисел является приближенной экспериментальной оценкой вероятности  $P(x)$  появления события.

Значения экспериментальных точек **интегральной функции распределения**  $F(\bar{x}_i)$  рассчитывают как сумму накопленных частот  $m_i$  в каждом интервале  $k_i$ . В первом интервале  $F(\bar{x}_1) = m_1$ ; во втором интервале  $F(\bar{x}_2) = m_1 + m_2$  и т. д., т.е.

$$F(\bar{x}_i)_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k m_i$$

Таким образом, значения  $F(x)$  изменяются в интервале  $[0; 1]$  и однозначно определяют распределение относительных частот в интервальном вариационном ряду.

Другим удельным показателем экспериментального распределения является **дифференциальная функция  $f(x)$** , определяемая как отношение частоты  $m_i$  к длине интервала  $\Delta x$ :

$$f(\bar{x}_i)_{\Sigma} = m_i / \Delta x$$

и характеризующая долю рассматриваемых событий в интервале, приходящихся на одно испытываемое изделие и на величину ширины интервала. Функцию  $f(x)$  еще называют плотностью вероятности распределения.

Наиболее наглядными формами представления результатов эксперимента являются графическая и табличная. Поэтому необходимо полученные результаты свести в таблицу, а также представить в виде графика дифференциальной функции  $f(x)$  и графика интегральной функции распределения  $F(x)$ .

Пример расчета данных функций и построения графиков представлены в таблице 7.1 и на рис. 7.2 и 7.3.

Таблица 7.1 – Интегральная и дифференциальная функции экспериментального распределения

№ инт t <sub>i</sub>	Границы интервала, тыс. км.		Количество отказов $n_i$ в интервале	Относительная частота $m_i$	Средина интервала, тыс. км. $\bar{x}_i$	Интегральная функция эксп. распределения (вероятность отказа) $F_{\Sigma}(\bar{x}_i)$	Дифференциальная функция эксп. распределения (плотность вероятности отказа) $f_{\Sigma}(\bar{x}_i)$	Вероятность безотказной работы $R_{\Sigma}(\bar{x}_i)$
	от	до						
1	6	8	6	0,06	7	0,060	0,030	0,940
2	8	10	12	0,12	9	0,180	0,060	0,820
3	10	12	19	0,19	11	0,370	0,095	0,630
4	12	14	25	0,25	13	0,620	0,125	0,380
5	14	16	20	0,2	15	0,820	0,100	0,180
6	16	18	13	0,13	17	0,950	0,065	0,050
7	18	20	5	0,05	19	1,000	0,025	0,000

В дальнейшем на основании эмпирических интегральной и дифференциальной функций распределения осуществляется выбор теоретического закона распределения (вероятностной математической модели), на основании которого выполняется прогноз показателей надежности автомобилей (см. п. 9).

### 7.5. Физический смысл интегральной и дифференциальной функций распределения

Интегральной функцией распределения случайной величины  $x_i$  называется функция  $F(x_i)$  действительного переменного  $x$ , определяющая вероятность  $P$  того, что случайная величина  $x_i$  в результате эксперимента примет значение, меньшее некоторого фиксированного (заданного) числа  $X$ :

$$F(X) = P(x_i < X)$$

Если в качестве случайной величины  $x_i$  рассматриваются пробеги автомобиля  $L_i$  до момента отказа (по какому-либо узлу или агрегату), то функция  $F(L_i)$  называется **функцией вероятности отказа**. Например, пусть  $L_0$  – заданная наработка (пробег) до отказа (планируемый межремонтный пробег, пробег до капитального ремонта и т.п.), то функция  $F(L_0) = P(L < L_0)$  показывает вероятность того, что пробег  $L_i$  от начала отсчета до появления отказа окажется меньше заданного пробега  $L_0$  или, иначе, эта функция показывает вероятность того, что отказ произойдет в интервале от 0 до  $L_0$ .

Вероятность отказа автомобиля при пробеге в интервале  $[L_1, L_2]$  определяется по формуле:

$$P(L_1 \leq L \leq L_2) = F(L_2) - F(L_1)$$

Дифференциальной функцией  $f(x_i)$  распределения случайной величины  $x$  называется предел отношения вероятности  $P(x_i)$  попадания этой случайной величины на элементарный участок от  $x$  до  $x + \Delta x$  к длине этого участка  $\Delta x$  при стремлении  $\Delta x$  к нулю, т.е.

$$f(x_i) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x_i)}{\Delta x}$$

Ее физический смысл заключается в том, что она характеризует вероятность появления исследуемой случайной величины в достаточно малом интервале (плотность вероятности).

Если в качестве случайной величины  $x$  рассматриваются результаты испытаний автомобилей на надежность, характеризуемые пробегами  $L_i$  до момента отказа, то функция  $f(L_i)$  характеризует вероятность возникновения отказа за достаточно малый пробег при работе узла, агрегата, детали без замены.

### 7.6. Определение показателей безотказности

Вероятность отказа за определенную наработку  $X$ :

$$F(x) = P(x < X) \cong \frac{m(x)}{n},$$

где  $m(x)$  - число отказов за наработку  $X$ ,  $n$  - число наблюдений (изделий).

Отказ и безотказность являются противоположными событиями, поэтому *вероятность безотказной работы* определяется

$$R(x) = P(x \geq X) \cong \frac{n - m(x)}{n},$$

где  $n - m(x)$  - число изделий, не отказавших за наработку  $X$ .

*Плотность вероятности отказа*  $f(x)$  - функция, характеризующая вероятность отказа за малую единицу времени (или пробега) при работе узла, агрегата, детали без замены. Она определяется

$$f(x) = F'(x) = \frac{1}{n} \cdot \frac{dm}{dx}.$$



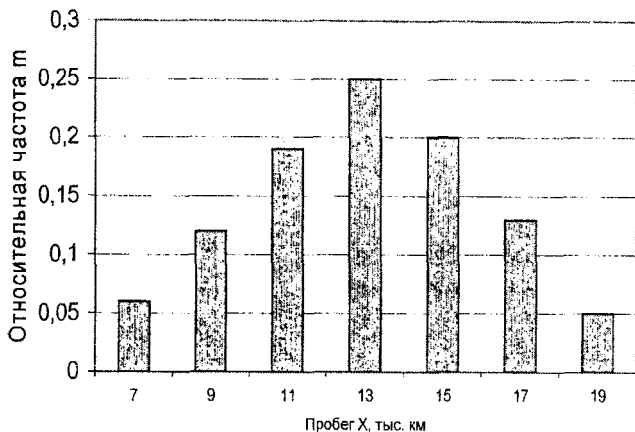
Тогда  $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx$ .

Так как  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$ , а  $R(x) = 1 - F(x)$ , то  $R(x) = \int_x^{\infty} f(x)dx$  (см. рис. 6.4).

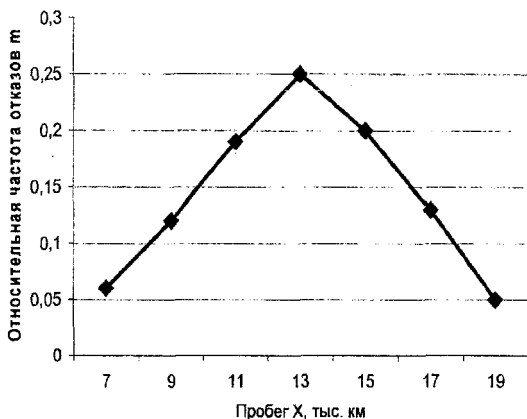
Среднюю наработку на отказ можно определить из выражения

$$x = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

При оценке качества изделий, нормировании ресурсов, в системе гарантийного обслуживания применяют *гамма-процентный ресурс*  $x_\gamma$ . Это интегральное значение ресурса  $x_\gamma$ , которое выработывает без отказа не менее  $\gamma$  процентов всех оцениваемых изделий, т.е.  $R = P(x > x_\gamma) \geq \gamma$ .



а)



б)

**Рисунок 7.2** – Гистограмма (а) и полигон (б) экспериментального распределения пробега автомобилей до отказа

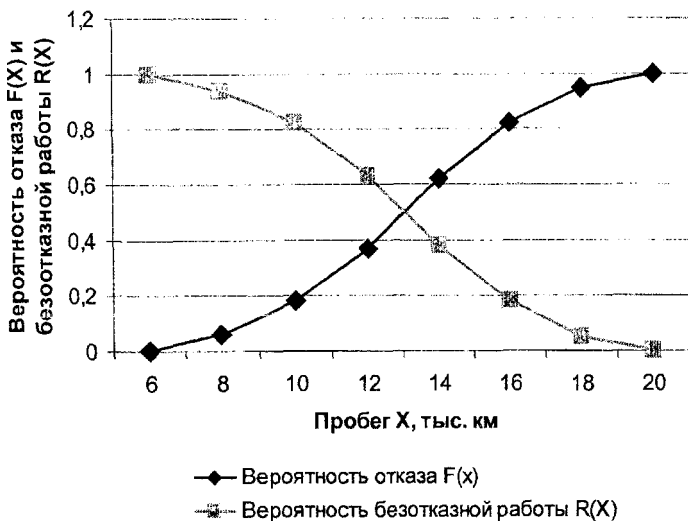


Рисунок 7.3 – Интегральная функция вероятности отказа и вероятности безотказной работы

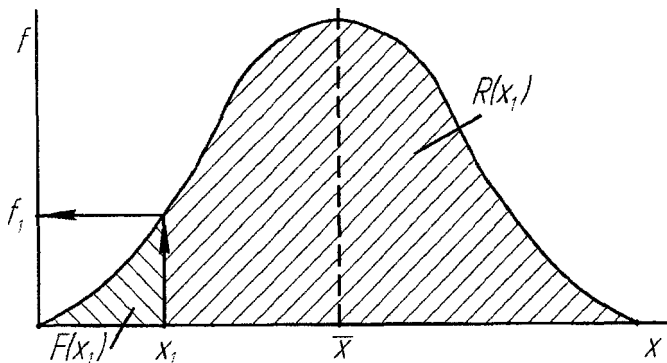


Рисунок 7.4 – Связь между вероятностью отказа  $F(x)$ , плотностью вероятности отказа  $f(x)$ , вероятностью безотказной работы  $R(x)$ .

В ТЭА обычно принимаются  $\gamma = 80, 85, 90$  и  $95\%$ . Риск отказа изделия  $F$  в данной ситуации, т.е. более раннее достижение изделиями гамма-процентного ресурса, составляет около  $5\%$ .

Гамма-процентный ресурс используется при определении периодичности ТО по заданному уровню безотказности  $\gamma$ . Выражение  $L_{TO} = x_\gamma$  означает, что обслуживание с периодичностью  $L_{TO}$  гарантирует вероятность безотказной работы  $R \geq \gamma$  и отказа  $F \leq (1 - \gamma)$ .

Важным показателем надежности является интенсивность отказов  $\lambda(x)$  – условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого изделия, определяемая для данного момента времени при условии, что отказа до этого момента не было.

$$\lambda(x) = \frac{1}{n - m(x)} \cdot \frac{dm}{dx}.$$

После преобразования получаем зависимость вероятности безотказной работы и интенсивности отказов

$$R(x) = \exp\left(-\int_0^x \lambda(x) dx\right).$$

Это универсальная формула определения вероятности безотказной работы восстанавливаемого элемента для любого закона распределения. Зная интенсивность отказов, можно для любого момента времени или пробега определить вероятность безотказной работы.

### 7.6 Закономерности процессов восстановления

Для рациональной организации производства ремонта необходимо знать, сколько автомобилей с отказами данного вида будет поступать в зону ремонта в течение смены (недели, месяца), будет ли их количество постоянным или переменным и от каких факторов оно зависит. Рассмотрим закономерности процесса восстановления.

**Процесс восстановления** – это процесс возникновения и устранения неисправностей изделий во времени. Для процесса восстановления характерно: 1) наработки на отказы случайны для каждого автомобиля и описываются функциями  $F(x)$  и  $f(x)$ ; 2) наработки независимы у разных автомобилей; 3) при устранении отказов в зоне ремонта безразлично от какого автомобиля поступил отказ и какой он по счету.

Основными характеристиками процесса восстановления являются следующие величины.

*Средняя наработка до  $k$ -го отказа*

$$\overline{x_k} = \overline{x_1} + \sum_{i=2}^k \overline{x_{i-1,i}},$$

где  $\overline{x_1}$  - наработка до первого отказа,  $\overline{x_{i-1,i}}$  - наработка между  $i-1$  и  $i$  отказом.

*Средняя наработка между отказами для  $n$  автомобилей между  $k-1$  и  $k$  отказом*

$$\overline{x_{k-1,k}} = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{x_{k-1,k}}}{n}.$$

*Коэффициент полноты восстановления ресурса  $\eta_k$*  характеризует возможность сокращения ресурса после ремонта, т. е. качество ремонта. После  $k$ -го ремонта.

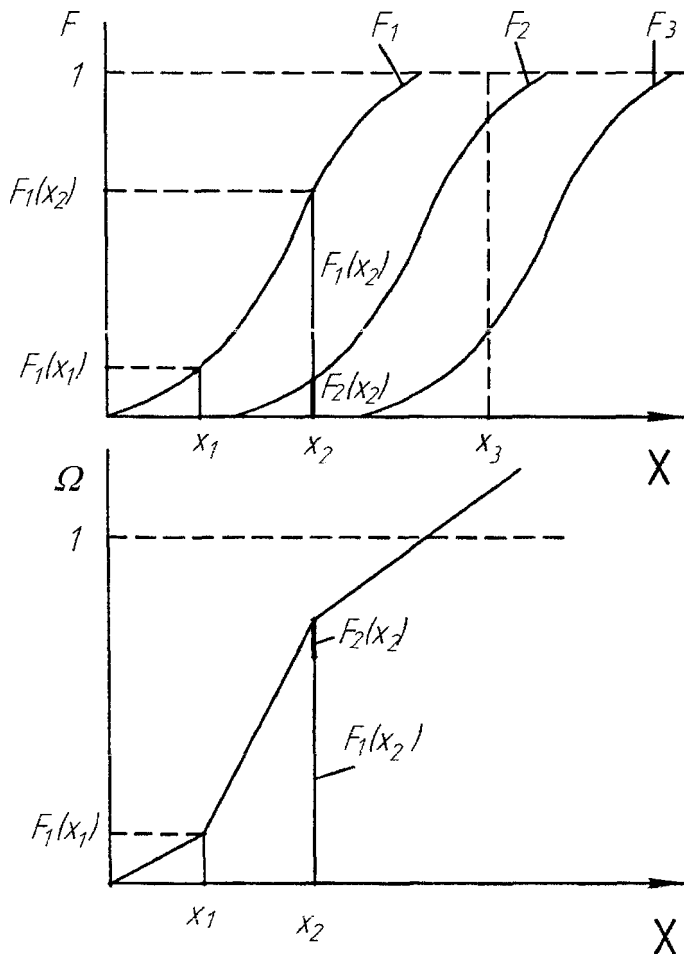
$$\eta_k = \frac{\overline{x_{k-1,k}}}{\overline{x_1}}$$

Коэффициент полноты восстановления ресурса находится в пределах  $0 \leq \eta \leq 1$ .

Сокращение ресурса после первого и последующих ремонтов объясняется: частичной заменой только отказавших деталей при значительном сокращении надежности других, особенно сопряженных; использованием запасных частей и материалов худшего качества; низким технологическим уровнем работ.

*Ведущая функция потока отказов (функция восстановления)  $\Omega(x)$*  определяет накопленное количество первых и последующих отказов изделия при наработке  $x$  (см. рис. 7.5).

$$\Omega(x) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(x)$$



**Рисунок 7.5-** Формирование ведущей функции потока отказов

Параметр потока отказов  $\omega(x)$  - это плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для данного момента времени или пробега (см. рис. 7.6):

$$\omega(x) = \frac{d\Omega(x)}{dx} = \sum_{k=1}^{\infty} f_k(x),$$

где  $f_k(x)$  - плотность вероятности возникновения  $k$ -го отказа.

Параметр потока отказов  $\omega(x)$  можно также определить как относительное число отказов, приходящееся на единицу времени или пробега одного восстанавливаемого изделия.

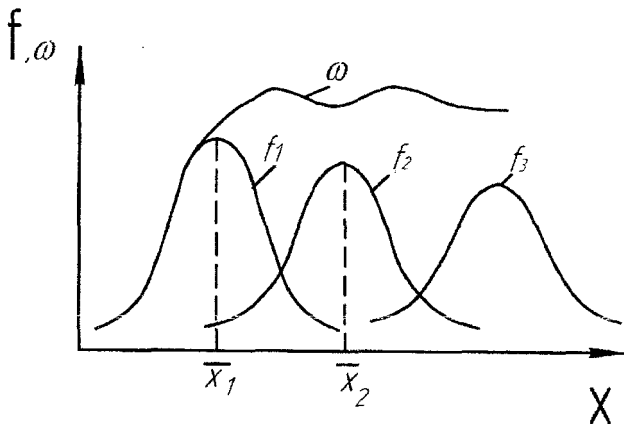


Рисунок 7.6 – Формирование параметра потока отказов

## 8. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЗАВЕРШЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ (ЦЕНЗУРИРОВАННЫХ ВЫБОРОК)

Цель использования *цензурированных выборок* - сокращение продолжительности испытаний для возможности оперативной оценки показателей надежности. Под *цензурированием* понимается событие, приводящее к прекращению испытаний или эксплуатационных наблюдений объекта до наступления отказа (или предельного состояния). Цензурированной является выборка, элементы которой – значения наработки до отказа и наработки до цензурирования.

Объем цензурированной выборки равен

$$N = \sum_{i=1}^k n_i + \sum_{i=1}^k q_i,$$

где  $q_i$  – количества приостановленных (снятых с испытаний в исправном состоянии) изделий в  $i$ -ом интервале,  $n_i$  – количество отказавших изделий в  $i$ -ом интервале.

Широкое распространение для обработки результатов эксперимента, представленных цензурированными выборками, получил *комбинаторный метод*, который основан на комбинаторном вычислении условного порядкового номера отказа в общем вариационном ряду наработок до отказа и цензурирования. При этом предполагается, что все возможные исходы испытаний равновероятны и каждое приостановленное изделие со временем откажет. При обработке экспериментальных данных наличие приостановленных изделий учитывается с помощью веса отказа.

Дальнейшая обработка экспериментальных данных выполняется аналогично рассмотренной в п. 7.2 – 7.4.

## 9. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

### 9.1. Определение вида вероятностной математической модели

Основная цель разработки математических моделей состоит в том, чтобы, проведя эксперимент, например, испытав партию автомобилей, т.е. выборку, можно было распространить результаты этих испытаний с доверительной вероятностью  $P_D$  на другие автомобили этой же модели, эксплуатируемые в тех же условиях, т.е. на генеральную совокупность, и спрогнозировать изучаемые показатели априори, т.е. еще до начала эксплуатации, а также на период, на который испытания не распространялись.

Гипотезу о предполагаемом виде математической модели формулируют на основании:

- сходства внешнего вида гистограммы (или полигона) экспериментальных значений дифференциальной функции распределения  $f(X)_Э$  и теоретических кривых  $f(X)_Т$ ;
- значений коэффициента вариаций  $v_x$ ;
- анализа физических закономерностей формирования теоретических законов распределения.

В решении большинства практических задач технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) используются вероятностные математические модели. **Вероятностной математической моделью (законом распределения)** случайной величины  $x$  называется соответствие между возможными значениями  $x$  и их вероятностями  $P(x)$ , по которому каждому возможному значению случайной величины  $x$  поставлено в соответствие определенное значение ее вероятности  $P(x)$ .

Для процессов ТЭА наиболее характерны следующие законы распределения: нормальный; логарифмически нормальный; закон распределения Вейбулла; экспоненциальный (показательный).

### 9.2. Формирование нормального распределения

Нормальное распределение характерно для показателей, на формирование которых оказывает влияние сравнительно большое число независимых (или слабозависимых) элементарных факторов (слагаемых), а также для математического описания суммы случайных величин.

Нормальное распределение характерно для распределения фактической трудоемкости (продолжительности) выполнения видов ТО: ЕО; ТО-1; ТО-2; сезонного обслуживания, а также для распределения ресурсов и наработки (пробега) до появления первого отказа детали, узла, агрегата и автомобиля в целом.

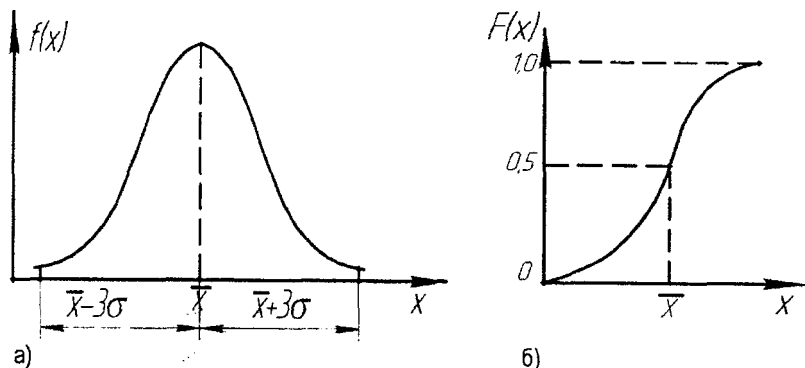
Математическая модель нормального распределения в дифференциальной форме (т.е. дифференциальная функция распределения) имеет вид

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right)$$

в интегральной форме

$$F(x_i) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} \exp\left(-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right) dx$$

Закон является двухпараметрическим. Параметр  $\bar{x}$  – математическое ожидание – характеризует положение центра рассеивания относительно начала отсчета, а параметр  $\sigma_x$  характеризует растянутость распределения вдоль оси абсцисс. Характерные графики  $f(x)$  и  $F(x)$  приведены на рис. 9.1.



**Рисунок 9.1-** Графики теоретических кривых дифференциальной (а) и интегральной (б) функций распределения нормального закона

### 9.3. Формирование логарифмически нормального распределения

Логарифмически нормальное распределение формируется в случае, если на протекание исследуемого процесса и его результат влияет сравнительно большое число случайных и взаимнезависимых факторов, интенсивность действия которых зависит от достигнутого случайной величиной состояния.

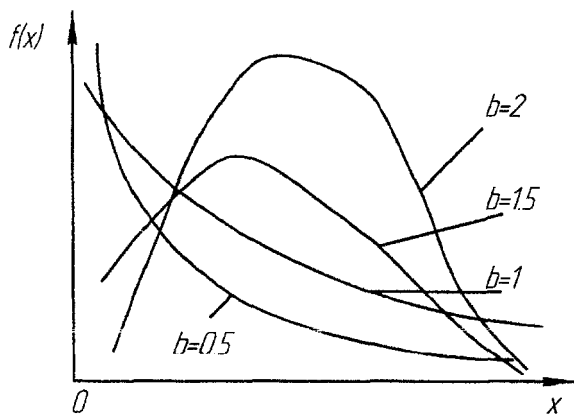
В решении практических задач технической эксплуатации автомобилей этот закон применяется при описании процессов усталостных разрушений, коррозии, наработки до ослабления крепежных соединений, изменений люфтов зазоров, а также в тех случаях, где изменение технического состояния происходит главным образом вследствие износа пар трения или отдельных деталей: накладок и барабанов тормозных механизмов, дисков и фрикционных накладок сцепления, протекторов шин, деталей цилиндропоршневой группы, подшипников скольжения и др.

### 9.4. Формирование распределения Вейбулла

Закон распределения Вейбулла проявляется в модели «слабого звена», когда система состоит из группы независимых элементов, отказ каждого из которых приводит к отказу всей системы.

Примером использования закона Вейбулла является распределение ресурса или интенсивности изменения параметров технического состояния изделий, механизмов, деталей, которые состоят из нескольких элементов, составляющих цель. Например, ресурс подшипника качения ограничивается одним из элементов. Многие изделия (агрегаты, узлы, системы автомобиля) при анализе модели отказа могут быть рассмотрены как состоящие из нескольких элементов (участков). Это прокладки, уплотнения, шланги, трубопроводы, приводные ремни и т.д. Разрушение указанных изделий происходит в разных местах и при разной наработке (пробеге), однако ресурс изделия в целом определяется наиболее слабым его участком.

Закон распределения Вейбулла является весьма гибким для оценки показателей надежности автомобилей. С его помощью можно моделировать процессы возникновения внезапных отказов (когда параметр формы распределения  $b$  близок к единице, т.е.  $b \rightarrow 1$ ) и отказов из-за износа ( $b=2,5$ ), а также тогда, когда совместно действуют причины, вызывающие оба этих отказа (см. рис. 9.2). Например, отказ, связанный с усталостным разрушением, может быть вызван совместным действием обоих факторов.



**Рисунок 9.2.** Характерные кривые дифференциальной функции распределения Вейбулла

Распределение Вейбулла также хорошо описывает постепенные отказы деталей и узлов автомобиля, вызываемые старением материала в целом. Так, например, выход из строя кузова легковых автомобилей вследствие коррозии.

Математическая модель распределения Вейбулла задается двумя параметрами, что обуславливает широкий диапазон ее применения на практике. Дифференциальная функция имеет вид

$$f(x_i) = \frac{b}{a} \left( \frac{x_i}{a} \right)^{b-1} - \exp \left( - \left( \frac{x_i}{a} \right)^b \right),$$

интегральная функция

$$F(x_i) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{x_i}{a} \right)^b \right),$$

где  $b$  – параметр формы, оказывает влияние на форму кривых распределения: при  $b < 1$  график функции  $f(x)$  обращен выпуклостью вниз, при  $b > 1$  – выпуклостью вверх;  $a$  – параметр масштаба, характеризует растянутость кривых распределения вдоль оси абсцисс.

Наиболее характерные кривые дифференциальной функции приведены на рис. 9.2.

При  $b = 1$  распределение Вейбулла преобразуется в экспоненциальное (показательное) распределение, при  $b = 2$  – в распределение Релея, при  $b = 2,5-3,5$  распределение Вейбулла близко к нормальному. Этим обстоятельством и объясняется гибкость данного закона и его широкое применение.

### 9.5. Формирование экспоненциального (показательного) распределения

Модель формирования данного закона не учитывает постепенного изменения факторов, влияющих на протекание исследуемого процесса. Данный закон используют чаще всего при описании внезапных отказов, наработки (пробега) между отказами, трудоемкости текущего ремонта и т.д. Для внезапных отказов характерным является скачкообразное изменение показателя технического состояния. Примером внезапного отказа является повреждение или разрушение в случае, когда нагрузка мгновенно превысит прочность объекта.



Условиям формирования экспоненциального закона соответствует распределение пробега узлов и агрегатов между последующими отказами (кроме пробега от начала ввода в эксплуатацию и до момента первого отказа по данному агрегату или узлу). Физические особенности формирования данной модели заключаются в том, что при ремонте, в общем случае, нельзя достичь полной начальной прочности (надежности) агрегата или узла. Неполнота восстановления технического состояния после ремонта объясняется: только частичной заменой именно отказавших (неисправных) деталей при значительном снижении надежности оставшихся (не отказавших) деталей в результате их износа, усталости, нарушения соосности, герметичности и т.п.; использованием при ремонтах запасных частей более низкого качества, чем при изготовлении автомобилей; более низким уровнем производства при ремонте по сравнению с их изготовлением.

Вид дифференциальной функции  $f(x)$  представлен на рис. 9.3.

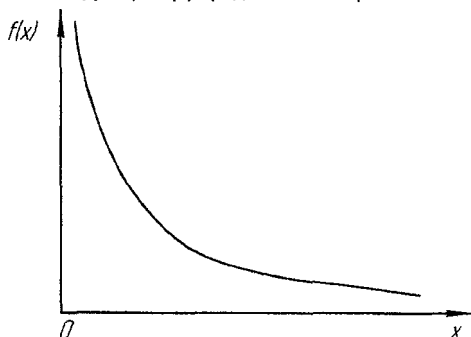


Рисунок 9.3 – График дифференциальной функции экспоненциального (показательного) распределения

Дифференциальная функция распределения имеет вид

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x},$$

а интегральная функция

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x},$$

где  $\lambda$  - параметр распределения, характеризующий интенсивность или плотность событий в единицу времени,  $\lambda = \frac{1}{\bar{X}}$ , где  $\bar{X}$  - среднее значение случайной величины  $X$ .

### 9.6. Проверка совпадения экспериментального и теоретического распределения

Как было показано выше, на основании статистической обработки результатов эксперимента (по виду гистограммы или полигона и значению коэффициента вариации), а также исходя из физической сущности рассматриваемого процесса выдвигается гипотеза о принадлежности экспериментальных данных к конкретному вероятностному закону. Однако полного совпадения их не будет. В этой связи дальнейшая задача экспериментатора состоит в проверке выдвинутой гипотезы, т.е. в выяснении, насколько хорошо подобрана вероятностная математическая модель и можно ли ее применять для целей прогнозирования и дальнейших расчетов. Для проверки совпадения экспериментального и теоретического распределения используем критерий Пирсона  $\chi^2$  (хи - квадрат). Для расчета критерия Пирсона определяем теоретическую частоту  $n_i^T$  попадания случайной величины в каждый из интервалов  $k$ , т. е. количество автомобилей  $n_i^T$ , у которых на-

ступил отказ при пробеге в  $i$ -м интервале, определенное по теоретическому закону распределения

$$n_i^T = N \cdot [F(x_i) - F(x_{i-1})],$$

где  $F(x_i)$  - значение интегральной функции распределения для границы  $i$ -го интервала.

Расчетное значение критерия  $\chi^2$  определяется по формуле [1, 2]

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T}$$

Разработанная вероятностная математическая модель согласуется с результатами эксперимента (т.е. адекватна результатам эксперимента), если

$$\chi^2 \leq \chi_{\alpha, \nu}^2,$$

где  $\chi_{\alpha, \nu}^2$  - критическое значение критерия Пирсона для заданного уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $\nu$ . В противном случае математическая модель считается неадекватной и ее нельзя применять для обобщения результатов экспериментов и прогнозирования рассматриваемых показателей.

### 9.7. Использование вероятностной математической модели для прогнозирования количества отказов

В случае, если определен теоретический закон распределения вероятности отказов автомобилей и его параметры, возможно с его помощью выполнять прогноз количества автомобилей той же модели, эксплуатируемые в тех же условиях, которые потребуют ремонта в заданном интервале пробега или при заданном пробеге.

Количество автомобилей, которые потребуют ремонта в интервале пробега от  $L_1$  до  $L_2$  определяется по формуле [1, 2]

$$N_{PEM} = N_1 \cdot [F(L_2) - F(L_1)],$$

где  $F(L_2)$  и  $F(L_1)$  - значения теоретической функции интегрального распределения при пробегах  $L_2$  и  $L_1$ .

Количество автомобилей, которые потребуют ремонта при пробеге до  $L_3$  определяется по формуле [1, 2]

$$N_{PEM} = N_1 \cdot F(L_3),$$

где  $F(L_3)$  - значение теоретической функции интегрального распределения при пробеге  $L_3$ .

## 10. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сложные производственные ситуации, особенно для больших систем, как правило, трудно описать аналитически. Поэтому и последствия принимаемых решений остаются труднопредсказуемыми. Проведение натурных экспериментов требует больших затрат времени, материальных средств, небезопасно для самого изделия и тем более действующего производства, которое в рыночных условиях взаимодействует с клиентурой - потребителями продукции или услуг. Кроме того, для реального производства трудно обеспечить сопоставимость при проведении натурального эксперимента, так как абсолютно сопоставимые аналоги (другие АТП, СТО и т.д.) отсутствуют. Последовательное сравнение нескольких решений на одном производстве также затруднено из-за неминуемого изменения во времени других факторов, влияющих на показатели эффективности, например спрос на услуги, цены, условия эксплуатации.

В этих условиях при принятии решений можно применять методы исследования и оценки систем на моделях.

**Модель** - это упрощенная форма представления реальных процессов и взаимосвязей в системе, позволяющая изучить, оценить и прогнозировать влияния составляющих элементов (факторов, подсистем) на поведение системы в целом, так и на изменение целевых показателей. Модели могут быть физическими, математическими, логическими, имитационными и др.

При решении технических, технологических и организационных задач, когда действует много факторов, в том числе и случайных, а информация неполна, получил распространение метод имитационного моделирования.

**Имитационное моделирование** – это процесс конструирования модели реальной системы и постановка экспериментов на этой модели с целью выяснения поведения системы, а также оценки различных стратегий, обеспечивающих ее функционирование без физических экспериментов на реальном объекте.

Процесс имитационного моделирования включает следующие основные этапы.

1. *Описание системы*, т.е. установление внутренних взаимосвязей, ограничений и показателей эффективности системы, подлежащей изучению.

2. *Конструирование модели* – переход от реальной системы к определенной логической схеме, отображающей процессы, происходящие в системе.

3. *Подготовка и отбор данных*, необходимых для построения модели.

4. *Трансляция модели*, включающая описание модели на языке, используемом ЭВМ.

5. *Оценка адекватности*, позволяющая судить о корректности выводов, полученной на модели, для реальной системы.

6. *Планирование экспериментов*: объемов, последовательности.

7. *Экспериментирование*, заключающееся в имитации процессов реальной системы на модели и получении необходимых данных.

8. *Интерпретация* - получение выводов по результатам моделирования.

9. *Реализация* - практическое использование модели и результатов моделирования при принятии решения для реальной системы.

Рассмотрим процесс имитационного моделирования (рис. 10.1) при определении периодичности ТО по безотказности при условии, что случайной является не только наработка на отказ  $x_i$ , но и фактическая периодичность ТО  $l_j$ , которая также имеет некоторую вариацию относительно плановой.

В данном случае моделируется процесс предупреждения отказа элемента автомобиля при условии, что он подвергается профилактическим воздействиям с нормативной периодичностью  $\bar{l}_1$ , которая фактически имеет некоторую вариацию, характеризуемую законом распределения  $f(l), \bar{l}$  и  $\sigma_l$ .

*Модель процесса* в данном примере - это формула риска, т.е. вероятность, что в условиях вариации наработки на отказ  $x_i$  и фактической периодичности ТО  $l_j$ , риск отказа будет не больше допустимого (заданного):  $P(x_i < l_j) \leq F_d$ .

*Конструирование модели* в примере - это создание двух массивов исходных данных  $[x]$  и  $[l]$ . Массивы данных могут формироваться на основе информации по соответствующим законам распределения случайных величин или включать фактические данные наблюдений, т.е. наборы  $x_1, x_2, \dots, x_i$  и  $l_1, l_2, \dots, l_n$ .

*Реализация* - это извлечение из массивов данных в случайном порядке и сравнение двух случайных величин:  $x_i$  и  $l_j$ .

Идентификация события происходит при каждой реализации и сравнении пары случайных величин: при  $x_i < l_j$  фиксируется отказ, а при  $l_j \leq x_i$  - предупреждение отказа путем выполнения профилактической операции.

При многократном повторении определяется число отказов  $n_o$  и профилактики  $n_{\Pi}$  и оцениваются с определенной точностью вероятности соответствующих событий: отказа (риска)  $F \approx n_o / (n_o + n_{\Pi})$  и безотказной работы при выбранной периодичности  $l_j$   
 $R \approx n_{\Pi} / (n_o + n_{\Pi})$ .

Если фактический риск  $F_{\phi}$  оказался больше допустимого  $F_{д}$ , то необходимо выбрать новую периодичность  $l_2 < l_1$  и повторить процесс имитационного моделирования до выполнения условий  $F_{\phi} \leq F_{д}$ .

Метод имитационного моделирования успешно применяется для решения многих инженерных и научных задач технической эксплуатации автомобилей:

- определение оптимальной производительности станций технического обслуживания автомобилей;
- определение оптимальной организации работы и числа постов зоны текущего ремонта (технического обслуживания, диагностирования);
- прогнозирование потребности в запасных частях и агрегатах для конкретного АТП, объединения, региона;
- оптимизация пропускной способности и производительности средств обслуживания автомобилей (технологического оборудования, рабочих мест, постов, участков).

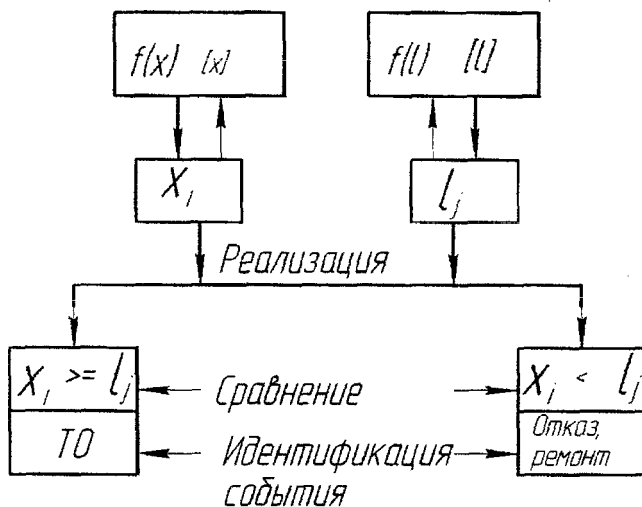


Рисунок 10.1 - Схема процесса имитационного моделирования

В зависимости от условий и решаемых задач имитационное моделирование распадается на целый ряд частых видов, например, метод статистического моделирования.

### 10.1. Общие сведения о методе статистического моделирования

Основная идея метода статистического моделирования заключается в возможности воспроизведения с достаточно высокой достоверностью исследуемого физического процесса при помощи вероятностных математических моделей и вычислении характеристик этого процесса.

Воспроизведение исследуемого физического процесса может быть проведено методом статистического моделирования по известной вероятностной математической модели. Модель может быть разработана на основании результатов ранее проведенных экспериментальных исследований или определена на основании анализа физических закономерностей формирования рассматриваемого процесса и т.п.

Метод статистического моделирования является эффективным средством проведения вычислительного эксперимента на ЭВМ.

### 10.2. Моделирование потребности в капитальном ремонте агрегатов автомобилей для АТП с использованием метода статистического моделирования

Рассмотрим использование метода статистического моделирования для определения потребности в капитальном ремонте (КР) агрегатов автомобиля.

По детерминированной методике расчета годовая потребность в КР определяется как

$$N_{\text{КР}}^{\text{Г}} = \frac{L_{\text{ПГ}}}{L_{\text{КР}}},$$

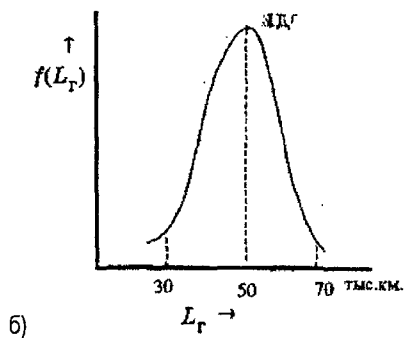
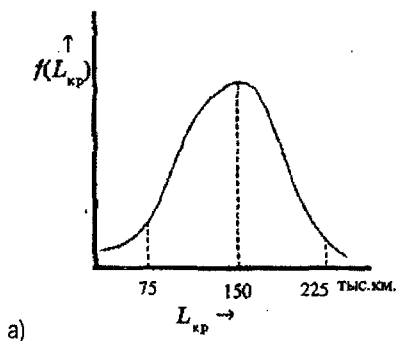
где  $L_{\text{ПГ}} = A_{\text{И}} L_{\text{СС}} D_{\text{РГ}} \alpha_{\text{T}}$  - годовой пробег автомобилей инвентарного парка ( $A_{\text{И}}$  - списочное число автомобилей,  $L_{\text{СС}}$  - среднесуточный пробег,  $D_{\text{РГ}}$  - число дней работы в году,  $\alpha_{\text{T}}$  - коэффициент технической готовности),  $L_{\text{КР}}$  - скорректированное значение пробега до КР.

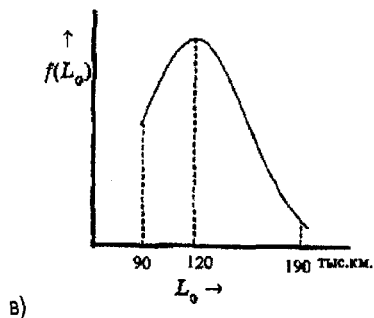
Возможно также выполнить расчет потребности в КР с использованием вероятностных (стохастических) математических моделей. При этом в качестве исходных данных принимаются не детерминированные, а случайные величины и законы их распределения. Для выполнения таких расчетов используется метод статистического моделирования на ЭВМ.

С этой целью по известным математическим моделям распределения пробега до капитального ремонта  $L_{\text{КР}}$ , годового пробега  $L_{\text{Г}}$  и пробега с начала эксплуатации  $L_0$  воспроизводится исследуемый физический процесс и моделируются случайные значения пробегов  $L_{\text{КР},i}$ ,  $L_{\text{Г},i}$ ,  $L_{0,i}$  для каждого  $i$ -го автомобиля (см. рис. 10.2).

Каждый автомобиль (рассматриваемый агрегат) потребует КР, если для него справедливо неравенство

$$L_{0,i} + L_{\text{Г},i} > L_{\text{КР},i}$$





**Рисунок 10.2.** - Графики распределения пробега до капитального ремонта (а), годового пробега (б) и пробега с начала эксплуатации (в) автомобилей на АТП.

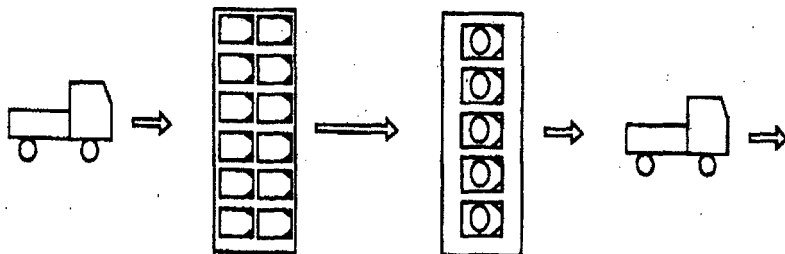
Решение поставленной задачи сводится к сравнению  $L_{0,i} + L_{г,i}$  с  $L_{кр,i}$  поочередно для всех автомобилей в АТП с суммированием полученных результатов.

## 11. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СРЕДСТВ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Системы, в которых переменными и случайными являются моменты поступления требований на обслуживание и продолжительность самих обслуживаний, называются **системами массового обслуживания (СМО)**. Примерами СМО в области технической эксплуатации автомобилей являются *посты, линии, участки ремонтных мастерских и АТП, склады запасных частей, топливо- и маслораздаточные колонки автозаправочных станций* и др.

СМО состоит из следующих основных элементов: входящего потока объектов (автомобилей, агрегатов, заявок на запасные части и т. п.), требующих обслуживания и называемых требованиями, очереди, обслуживающих аппаратов и выходящего потока требований (рис.11.1).

Под *обслуживанием* понимают любое удовлетворение (обработку) потока заявок (требований), поступающих в СМО в случайные моменты времени. Обслуживание поступившего требования продолжается некоторое (тоже случайное) время, после чего аппарат освобождается и готов принять новое требование. Случайный характер поступления требований приводит к тому, что в одни промежутки времени на входе СМО скапливаются требования, которые или образуют очередь, или покидают систему необслуженными; в другие же периоды времени аппараты СМО простаивают.



**Рисунок 11.1** - Схема системы массового обслуживания

**Входящий поток требований** представляет собой совокупность требований на удовлетворение потребностей в проведении определенных работ. Заявки поступают в некоторые случайные моменты времени. Поэтому число требований, поступающих в систему в единицу времени, является случайной величиной, а входящий поток представляет собой случайный процесс, который, как правило, описывается законом Пуассона. Для данного входящего потока, который называется *простейшим*, характерны свойства *стационарности, ординарности и отсутствия последствия*. Требования могут быть однородными и неоднородными.

**Обслуживающие аппараты** – это совокупность отдельных рабочих, звеньев, бригад с необходимым оборудованием, средствами механизации, инструментом и оснасткой. При проведении ТО – это бригады, при ТР – рабочие посты, на вспомогательных участках – отдельные рабочие и т. д.

**Очередь** образуется в том случае, когда пропускная способность обслуживающих аппаратов недостаточна по отношению к входящему потоку требований.

**Выходящий поток** требований в зависимости от характеристики СМО составляет в общем случае обслуженные и необслуженные требования. Для автомобильного транспорта выходящий поток, как правило, состоит из обслуженных требований, т. е. работоспособных автомобилей.

При моделировании с помощью СМО зоны текущего ремонта автотранспортного предприятия входящий поток требований образуют автомобили, требующие текущего ремонта; очередь образуется автомобилями, ожидающими выполнения текущего ремонта; обслуживающими аппаратами являются посты текущего ремонта, а выходящий поток представляет собой отремонтированные автомобили.

**СМО классифицируются следующим образом:**

- по ограничениям на длину очереди  $r$  – с потерями ( $r = 0$ ), без потерь ( $r \rightarrow \infty$ ) и с ограничением по длине очереди ( $r = m$ ). В системах с потерями требование покидает ее, если все обслуживающие аппараты заняты. В системах без потерь требование «встает» в очередь, если все аппараты заняты. Могут существовать ограничения на длину очереди или на время нахождения в ней;

- по количеству каналов обслуживания – одноканальные ( $Z = 1$ ) и многоканальные ( $Z > 1$ );

- по типу обслуживающих аппаратов – однотипные (универсальные) и разнотипные (специализированные);

- по порядку обслуживания – одно- и многофазовые. Однофазовые – это такие системы, в которых требование обслуживается на одном посту. При многофазовом обслуживании требование последовательно проходит несколько обслуживающих аппаратов, например, на поточной линии ТО;

- по приоритетности обслуживания – с приоритетом и без приоритета. С приоритетом – это такие системы, в которых ряд требований будет обслуживаться в первую очередь независимо от наличия очереди других требований, например, заправка топливом вне очереди автомобилей скорой медицинской помощи. Без приоритета – требования обслуживаются в порядке поступления в систему;

- по величине входящего потока требований – с ограниченным и неограниченным потоком;

- по структуре системы – замкнутые (входящий поток требований зависит от числа обслуженных требований) и открытые (входящий поток требований не зависит от числа обслуженных требований);

- по взаимосвязи обслуживающих аппаратов – с взаимопомощью и без нее. В системах без взаимопомощи параметры пропускной способности и производительности обслуживающих аппаратов постоянны и не зависят от загрузки или простоя других аппаратов. В системах с взаимопомощью пропускная способность обслуживающих аппаратов будет зависеть от занятости других аппаратов. Взаимопомощь между постами и испол-

нительными характерна при организации работы зон и участков ТО и ремонта и при коллективных методах труда, когда исполнители могут перемещаться по постам. При рассмотрении СМО с взаимопомощью необходимо учитывать два фактора: насколько ускоряется обслуживание требования, если его обслуживанием занять сразу несколько обслуживающих аппаратов; какова «дисциплина взаимопомощи», т.е. когда и как несколько каналов берут на себя обслуживание одного и того же требования.

В качестве показателей эффективности работы СМО используют приведенные ниже параметры.

*Продолжительность технического воздействия* (длительность обслуживания одного требования), час.

$$t_d = \frac{t \cdot K_m K_{пр}}{P_n K_{кв}}$$

где  $t$  – разовая трудоемкость технического воздействия (трудоемкость обслуживания одного требования), чел.-ч;  $K_m$  – коэффициент, учитывающий изменение трудоемкости в зависимости от уровня механизации работ ( $K_m = 0,6-1,0$ );  $K_{пр}$  – коэффициент, учитывающий потери рабочего времени по организационным причинам ( $K_{пр} = 1,02-1,13$ );  $P_n$  – среднее число одновременно работающих на посту, чел.;  $K_{кв}$  – коэффициент, учитывающий квалификацию исполнителей ( $K_{кв} = 1,0-1,3$ ).

*Интенсивность обслуживания* (средняя производительность рабочего поста, бригады в единицу времени)

$$\mu = \frac{1}{t_d}$$

*Приведенная плотность потока требований*, которая представляет собой среднее число заявок, приходящих в СМО за среднее время обслуживания одной заявки,

$$\rho = \frac{\omega}{\mu}$$

где  $\omega$  – параметр потока требований, треб./час.

*Относительная пропускная способность*  $g$  определяет долю обслуженных требований от общего их количества.

*Абсолютная пропускная способность*  $A$  показывает количество требований, поступающих в единицу времени, т.е.  $A = \omega \cdot g$ .

*Вероятность того, что все посты свободны*  $P_0$ , характеризует такое состояние системы, при котором все объекты исправны и не требуют проведения технических воздействий, т.е. требования отсутствуют.

*Вероятность отказа в обслуживании*  $P_{отк}$  имеет смысл для СМО с потерями и с ограничением по длине очереди или времени нахождения в ней. Она показывает долю «потерянных» для системы требований.

*Вероятность образования очереди*  $\Pi$  определяет такое состояние системы, при котором все обслуживающие аппараты заняты и следующее требование «встает» в очередь с числом ожидающих требований  $r$ .

*Среднее время нахождения в очереди*  $t_{ож}$ .

*Время пребывания требования в системе:*

- СМО с потерями  $t_{сист} = g \cdot t_d$ .

- СМО без потерь  $t_{сист} = t_d + t_{ож}$ .

Издержки от функционирования системы, руб/день, определяются

$$I = I_{аппарат}(Z) + I_{требование}(Z),$$

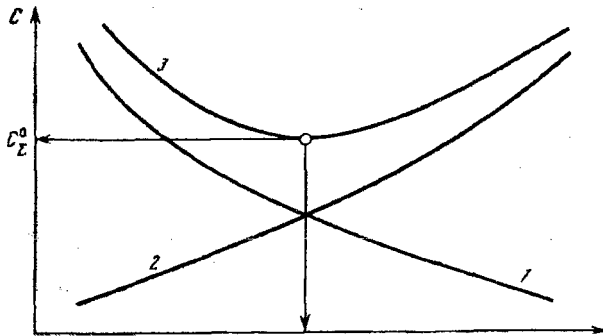
где  $I_{аппарат}(Z)$  – издержки из-за простоя обслуживающих аппаратов, т.е. из-за простоя постов ТО и ТР,  $I_{требование}(Z)$  – издержки из-за простоя требований в очереди, т.е. из-за



простоя автомобилей в ожидании обслуживания

Расчет производственных помещений, оборудования, штата рабочих, т.е. пропускной способности предприятия (участка, поста), исходя из средней потребности, может привести или к неполной загрузке зон и участков, или к необходимости ожидания момента обслуживания, т.е. к образованию очереди требований. Необходимо **оптимизация систем обслуживания**, под которой понимается соответствие функционирования этих систем определенным критериям эффективности.

При оптимизации СМО сопоставляются за определенный промежуток времени затраты, связанные с простоем автомобиля в ожидании ремонта или обслуживания и простоем оборудования и ремонтного персонала в ожидании автомобилей. По мере роста показателей, влияющих на пропускную способность средств обслуживания  $Z$  (число постов, исполнителей, оснащение технологическим оборудованием и инструментом), затраты, связанные с простоем автомобилей в ожидании обслуживания, сокращаются (кривая 1 на рис. 11.2), а затраты, вызванные простоем средств обслуживания и персонала в ожидании загрузки, возрастают (кривая 2 на рис. 11.2). Минимальное значение суммы этих затрат (кривая 3 на рис. 11.2), являющейся целевой функцией, и будет соответствовать оптимальной структуре обслуживания (например, число постов, исполнителей), при которой минимизируются потери предприятия, связанные с простоем средств обслуживания, ожиданием объектов обслуживания.



**Рисунок 11.2** – Определение показателей пропускной способности систем обслуживания технико-экономическим методом: 1 – затраты от простоев автомобилей; 2 – затраты от простоев системы обслуживания (постов, ремонтных рабочих) в ожидании требований на обслуживание; 3 – суммарные затраты

## 12. ДИСПЕРСИОННЫЙ, КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ

**Дисперсионный анализ** предназначен для выявления степени влияния контролируемых факторов на отклик. При однофакторном дисперсионном анализе выявляется степень влияния одного фактора  $X$  на математическое ожидание отклика  $M(Y)$ . Фактор может быть количественным (скорость резания, размер заготовки) или качественным (модель станка, марка смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)).

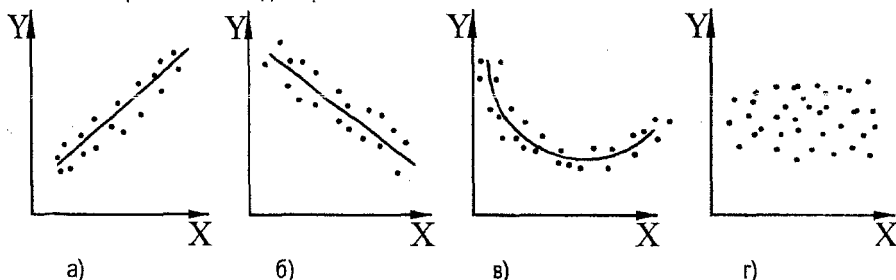
**Задача корреляционного анализа** – выявление значимости связи между значениями различных случайных величин.

Примеры корреляционной связи:

1. Между пределом прочности и пределом текучести стали;
2. Между твердостью и износостойкостью стали.

При выполнении корреляционного анализа по результатам эксперимента строят корреляционное поле, по которому по тесноте группирования точек вокруг прямой или кривой линии можно визуально судить о наличии корреляционной зависимости (см. рис.12.1).

Силу линейной статистической связи между случайным величинами  $X$  и  $Y$  можно оценить **коэффициентом корреляции**  $R$ , который принимает значения в интервале от  $-1$  до  $+1$  и не зависит от единиц величин  $X$  и  $Y$ . Чем больше по абсолютной величине коэффициент корреляции, тем сильнее линейная зависимость между величинами  $X$  и  $Y$ . Однако обратное не всегда верно.



**Рисунок 12.1** – Примеры корреляционных полей: а) прямая корреляционная зависимость,  $R \approx 1$ ; б) обратная корреляционная зависимость,  $R \approx -1$ ; в) нелинейная корреляционная зависимость,  $R=0$ ; г) отсутствие корреляционной зависимости,  $R=0$

**Задача регрессионного анализа** – установление вида и параметров зависимости математического ожидания отклика  $M(Y)$  от уровней одного или нескольких факторов  $X$ , когда результаты эксперимента представлены в виде пар  $X_1-Y_1, X_2-Y_2$  и т.д. Искомая функция называется моделью регрессионного анализа (**регрессионной моделью**), а ее параметры – **коэффициентами регрессии**. Коэффициенты регрессии могут вычисляться с помощью **метода наименьших квадратов**, при котором параметры модели определяются из условия: сумма  $S$  квадратов отклонений экспериментальных точек  $\bar{y}_i$  от точек на теоретической кривой  $\bar{y}_i^T$  должна быть минимальной, т.е.

$$S = \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y}_i^T)^2 \rightarrow \min.$$

Регрессионная модель позволяет определять значение отклика  $Y$  по заданному значению фактора  $X$  не проводя эксперимента. Например, регрессионный анализ может использоваться для прогнозирования грузооборота или пассажирооборота автотранспортного предприятия на перспективу (см. рис. 12.2)

Регрессионные модели могут быть однофакторные и многофакторные, линейные и нелинейные:

- линейная однофакторная модель  $y = b_0 + b_1 \cdot x$ , где  $b_0, b_1$  - параметры регрессионной модели (коэффициенты регрессии);  $x$  – фактор;  $y$  – отклик;
- нелинейная однофакторная модель  $y = b_0 x^{b_1}$  (может использоваться для прогнозирования грузооборота или пассажирооборота);
- линейная многофакторная модель  $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$ ;
- нелинейная многофакторная модель  $y = b_0 + b_1 \cdot \ln x_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + b_3 \cdot \ln x_3$ .

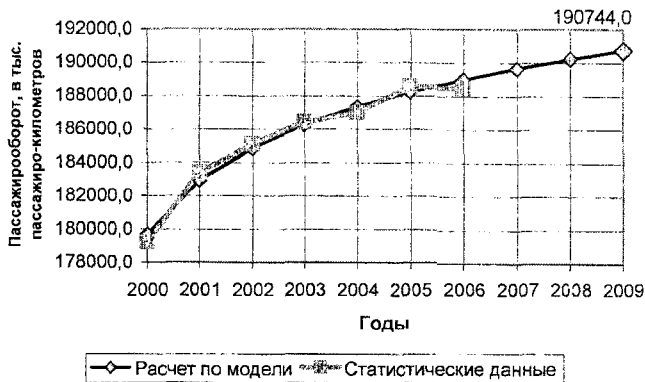


Рисунок 12.2 – Прогнозирование пассажирооборота с помощью регрессионной модели

### 13. Планирование эксперимента

Целью любого эксперимента является получение информации об исследуемом объекте. Основным требованием при организации эксперимента является минимизация времени и числа испытаний при сохранении требуемой достоверности результатов. Экспериментальные данные могут накапливаться либо путем пассивного наблюдения, либо с помощью активного эксперимента. **Активный эксперимент** позволяет быстро вскрывать закономерности, находить оптимальные режимы функционирования объекта.

При использовании активного эксперимента и теории планирования эксперимента объект исследования представляется в виде «черного ящика» (см. рис. 13.1). Исследователь изменяет уровни (значения) управляемых факторов  $X$  в «черный ящик» и регистрирует реакцию (отклик) параметров оптимизации (выходных параметров)  $Y$ .

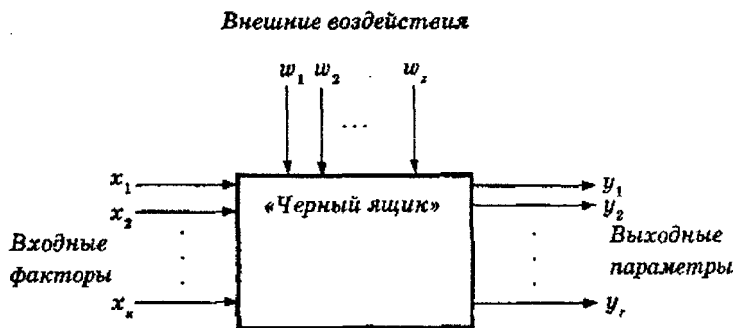


Рисунок 13.1 – Схема проведения активного эксперимента

Управляющие параметры  $X_i$  представляют собой независимые переменные, которые можно изменять с целью управления выходными параметрами объекта. К выходным параметрам (параметрам оптимизации, функциям отклика)  $Y_j$  относится совокупность контролируемых или вычисляемых параметров, характеризующих состояние объекта. Внешние воздействия  $w_i$  оказывают влияние на объект, но не могут быть точно

измерены, и поэтому проявляют себя как случайные величины или случайные функции времени. Следовательно, одной из основных задач эксперимента является выявление взаимосвязей между входными и выходными параметрами и представление их в виде регрессионной математической модели.

Сущность *научного планирования эксперимента* состоит в том, что при проведении эксперимента происходит целенаправленное одновременное изменение (варьирование) всех входных факторов  $X_i$  по специальному правилу – плану эксперимента. Научное планирование эксперимента обладает рядом *преимуществ*:

- резко сокращается число испытаний;
- вся схема исследования объекта оказывается значительно формализованной.
- план эксперимента определяет четкую стратегию (последовательность действий), позволяющую принимать обоснованные решения после каждой серии опытов;
- процедура разработки математических моделей значительно упрощается;
- точность математических моделей (их адекватность результатам эксперимента) значительно повышается.

Если цель эксперимента состоит в оценке только функции отклика, то в такой постановке эксперимент называют *интерполяционным*, т.е. основанным на интерполяции – нахождении функции по значениям аргументов  $X_i$ . Более сложным является *экстремальный эксперимент*, предназначенный для определения оптимума. Целью экстремального эксперимента является поиск экстремума функции отклика.

*Основной принцип теории планирования эксперимента* – получение максимум информации при минимальных затратах времени и средств на эксперимент.

Планирование эксперимента в основном сводится к выбору числа уровней факторов и определению значения (уровня) каждого фактора в опыте.

Выбранное число уровней  $p$  в сочетании с числом факторов  $k$  определяет число возможных опытов  $N$ , которое равно  $N = p^k$ .

Для обработки результатов эксперимента факторы нормализуют. Для определения параметров линейной модели достаточно каждый фактор фиксировать на одном из двух уровней: верхнем и нижнем (верхний уровень – большее значение, нижний – меньшее значение). Верхний уровень нормализованного фактора обозначают «+1», нижний «-1».

Нормирование факторов выполняется по следующей формуле

$$x_i = \frac{X_i - X_{CPI}}{\Delta X_i}, \quad \Delta X_i = \frac{X_{MAXi} - X_{MINi}}{2},$$

где  $x_i$  - нормализованное значение  $i$  – фактора,  $X_{CPI}$  – среднее значение  $i$  – фактора,  $\Delta X_i$  – интервал варьирования  $i$  – фактора.

Рассмотрим планирование эксперимента на примере анализа зависимости отклика  $Y$  от двух факторов  $X_1$  и  $X_2$ . При последовательном планировании порядок модели до опыта неизвестен. На первом этапе предполагается, что модель линейна и имеет вид

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2,$$

где  $X_1$  и  $X_2$  - два контролируемых фактора.

Проводят эксперимент, определяют параметры  $b_0, b_1, b_2$  и проверяют адекватность модели. Если модель адекватна, то заканчивают эксперимент. В противном случае модель предполагается в виде

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2,$$

т. е. учитывается взаимодействие факторов, вычисляя параметры модели и проверяют ее адекватность. Если модель не адекватна, то модель предполагается квадратичной

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2$$

и проводятся недостающие опыты для определения ее параметров и проверяется ее адекватность.

Эксперимент, в котором используются все возможные сочетания уровней факторов, называется **полным факторным экспериментом (ПФЭ)**. Для двух факторов количество опытов полного факторного эксперимента равно  $N = p^k = 2^2 = 4$

План проведения эксперимента и его результаты записываются в виде таблицы, которая называется **матрицей планирования** (см. табл.12.2). Если результаты эксперимента в таблицу не записываются, то такая таблица называется **факторным планом** (см. табл. 13.1 и рис.13.1).

Таблица 13.1 – План полного факторного эксперимента (факторный план)

№ опыта u	Нормализованные значения факторов		
	$X_1$	$X_2$	$X_1 X_2$
1	+1	+1	+1
2	-1	+1	-1
3	-1	-1	+1
4	+1	-1	-1

План полного факторного эксперимента можно изобразить графически в факторном пространстве (в координатах нормализованных факторов) (см. рис. 12.2).

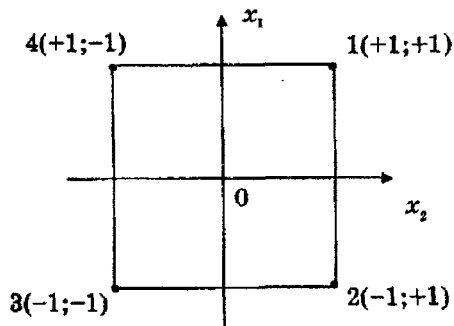


Рисунок 13.2 – Схема плана ПФЭ типа  $2^2$

Таблица 13.2 – Расширенная матрица планирования

№ опыта u	Нормализованные значения факторов			Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимента, $Y_u$
	$X_1$	$X_2$	$X_1 X_2$	
1	+1	+1	+1	$Y_1$
2	-1	+1	-1	$Y_2$
3	-1	-1	+1	$Y_3$
4	+1	-1	-1	$Y_4$

Параметры нормализованной регрессивной модели определяются по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (x_i Y)_u$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum (x_i x_j Y)_u,$$

где  $N$  – число опытов ( $N=4$ );  $i, j$  – номера факторов;  $x_i, x_j$  – нормализованные значения факторов;  $Y_u$  – измеренное значение отклика в  $u$  – м опыте.

После определения параметров нормализованной модели переходят к натуральной модели, с помощью которой можно определить значение отклика  $Y$  по значениям факторов  $X_1, X_2$ . Адекватность полученной регрессионной модели проверяют с помощью критерия Фишера.

Для сокращения количества опытов при большом числе факторов используется **дробный факторный эксперимент**.

### Тесты для самопроверки

1. Какой орган осуществляет общее руководство научными исследованиями, обеспечивает единую политику в области науки и техники, определяет основные направления и программы работ по решению важнейших научных и научно-технических проблем, принимает меры по повышению эффективности научных исследований и использованию их результатов на производстве?

- 1) Совет Министров Республики Беларусь
- 2) Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ)
- 3) Национальная академия наук Беларуси
- 4) Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»

2. Через какой орган Совет Министров осуществляет руководство научными исследованиями в стране?

- 1) Совет Министров Республики Беларусь
- 2) Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ)
- 3) Национальная академия наук Беларуси
- 4) Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»

3. Какой орган осуществляет фундаментальные научные разработки в области общественных и естественных наук и координирует такие исследования во всех научных учреждениях и высших учебных заведениях страны и является высшим научным учреждением Республики Беларусь?

- 1) Совет Министров Республики Беларусь
- 2) Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ)
- 3) Национальная академия наук Беларуси
- 4) Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»

4. Какие научно-исследовательские учреждения подчиняются Национальной академии наук РБ?

- 1) научно-исследовательские институты
- 2) отраслевые научно-исследовательские институты
- 3) Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ)
- 4) Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»

5. Какие виды исследований проводятся в научно-исследовательских институтах?

- 1) фундаментальные исследования
- 2) прикладные исследования
- 3) системы массового обслуживания
- 4) аспирантура и докторантура

6. Какие виды исследований проводятся в отраслевых научно-исследовательских институтах?

- 1) фундаментальные исследования
- 2) прикладные исследования
- 3) системы массового обслуживания
- 4) аспирантура и докторантура

7. Кому подчиняются отраслевые научно-исследовательские институты?

- 1) национальной академии наук Беларуси
- 2) научно-производственным объединениям

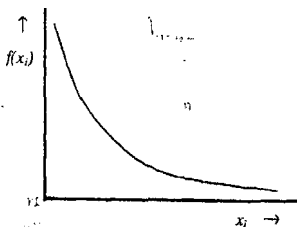
- 3) отраслевым министерствам
  - 4) высшей аттестационной комиссии
8. Что входит в состав научно-производственных объединений?
- 1) магистратура и аспирантура
  - 2) автотранспортные предприятия и авторемонтные заводы
  - 3) специальное конструкторское бюро и производственное подразделение (производство, завод и т.д.)
  - 4) научно-исследовательский институт, специальное конструкторское бюро и производственное подразделение (производство, завод и т.д.)
9. Назовите научно-производственные объединения в системе Министерства транспорта и коммуникаций?
- 1) Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ)
  - 2) Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»
  - 3) Национальная академия наук Беларуси
  - 4) автотранспортные предприятия и авторемонтные заводы
10. Назовите важнейшие формы подготовки специалистов-исследователей после окончания вузов?
- 1) магистратура и аспирантура
  - 2) высшая аттестационная комиссия (ВАК)
  - 3) специализированный совет
  - 4) институт повышения квалификации
11. Что должен представить аспирант к моменту окончания аспирантуры?
- 1) магистерскую диссертацию
  - 2) кандидатскую диссертацию
  - 3) докторскую диссертацию
  - 4) сдать кандидатские экзамены
12. Какой орган принимает решения о присвоении ученых званий доцента и профессора?
- 1) магистратура и аспирантура
  - 2) высшая аттестационная комиссия (ВАК)
  - 3) специализированный совет
  - 4) институт повышения квалификации
13. В каком органе осуществляется защита кандидатских и докторских диссертаций?
- 1) высшая аттестационная комиссия (ВАК)
  - 2) специализированный совет
  - 3) магистратура
  - 4) государственная экзаменационная комиссия
14. Какой орган осуществляет подготовку научно-педагогических и научных кадров высшей квалификации?
- 1) магистратура
  - 2) аспирантура
  - 3) высшая аттестационная комиссия
  - 4) докторантура
15. Что входит в систему повышения квалификации инженерных кадров?
- 1) магистратура и аспирантура
  - 2) высшая аттестационная комиссия (ВАК)
  - 3) специализированный совет
  - 4) институт повышения квалификации
16. Какой орган создан для подготовки и переподготовки высшего руководящего состава народного хозяйства?
- 1) аспирантура
  - 2) докторантура
  - 3) академия управления при Президенте Республики Беларусь
  - 4) институт повышения квалификации
17. Какие исследования базируются на применении математических и логических методов познания?
- 1) теоретические исследования
  - 2) экспериментальные исследования
18. Какие исследования осуществляются на натуральных образцах или моделях в лабораторных условиях?
- 1) теоретические исследования
  - 2) экспериментальные исследования
19. Какие исследования направлены на решение принципиально новых теоретических проблем, открытие новых законов, создание новых теорий?
- 1) фундаментальные исследования
  - 2) прикладные исследования

20. Какие исследования направлены на поиск и решение практических задач развития отдельных отраслей производства?
- 1) фундаментальные исследования
  - 2) прикладные исследования
21. Какие исследования устанавливают принципиальные основы, пути и методы решения поставленной задачи на основе фундаментальных исследований?
- 1) Поисквые исследования
  - 2) Научно-исследовательская разработка
  - 3) Опытно-промышленная разработка
22. Какие исследования направлены на установление необходимых зависимостей, свойств и закономерностей?
- 1) поисковые исследования
  - 2) научно-исследовательская разработка
  - 3) опытно-промышленная разработка
23. Какие исследования направлены на практическую реализацию исследования, т.е. на создание нового оборудования, технологий?
- 1) поисковые исследования
  - 2) научно-исследовательская разработка
  - 3) опытно-промышленная разработка
24. Какие исследования финансируются из госбюджета за счет Государственных научно-технических программ?
- 1) госбюджетные
  - 2) хоздоговорные
  - 3) не финансируемые
25. Какие исследования финансируются за счет хозяйственных договоров с предприятиями и организациями?
- 1) госбюджетные
  - 2) хоздоговорные
  - 3) не финансируемые
26. Какие исследования проводятся по инициативе научных работников или за счет второй половины дня преподавателей вузов?
- 1) госбюджетные
  - 2) хоздоговорные
  - 3) не финансируемые
27. Как называется величина, оцениваемая интервалом, внутри которого с определенной (доверительной) вероятностью  $P_D$  находится неизвестное значение математического ожидания случайной величины  $M(x)$ ?
- 1) дисперсия
  - 2) среднее квадратическое отклонение
  - 3) доверительный интервал
  - 4) размах вариации
28. Определите, используя физический смысл доверительного интервала при исследовании пробега автомобилей до капитального ремонта (КР), сколько автомобилей при доверительной вероятности  $P_D=0,98$  из 100 наблюдаемых автомобилей будут иметь пробег до КР в пределах доверительного интервала?
29. Какой показатель характеризует рассеивание (разброс) значений показателя около его среднего значения  $\bar{x}$  и имеет ту же размерность, что и сам показатель?
- 1) дисперсия
  - 2) среднее квадратическое отклонение
  - 3) коэффициент вариации
  - 4) размах вариации
30. Какой показатель характеризует относительную меру рассеивания значений признака?
- 1) дисперсия
  - 2) среднее квадратическое отклонение
  - 3) коэффициент вариации
  - 4) размах вариации
31. Какая функция показывает вероятность того, что отказ произойдет в интервале от 0 до  $L_0$ , если в качестве случайной величины  $X_i$  рассматриваются пробеги автомобиля  $L_i$  до момента отказа (по какому-либо узлу или агрегату)?

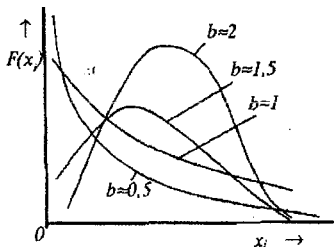


- 1) дифференциальная функция  $f(L,0)$
  - 2) полигон значений экспериментальных пробегов до отказов
  - 3) гистограмма экспериментальных пробегов до отказов
  - 4) интегральная функция распределения  $F(L,0)$
32. Какие наблюдения используются для сокращения продолжительности испытаний для возможности оперативной оценки показателей надежности?
- 1) выборки, состоящие из объектов, достигших своего предельного состояния (у наблюдаемых автомобилей наступил отказ)
  - 2) выборки, состоящие из объектов, часть из которых достигла своего предельного состояния (у части наблюдаемых автомобилей наступил отказ), а часть - не достигла своего предельного состояния (у другой части наблюдаемых автомобилей не наступил отказ, но они были сняты с испытаний) – цензурированные выборки
  - 3) выборки, состоящие из объектов, не достигших своего предельного состояния (у наблюдаемых автомобилей не наступил отказ и они были сняты с испытаний)
33. Назовите основную цель разработки вероятностных математических моделей?
- 1) определить вероятность возникновения отказа наблюдаемых автомобилей
  - 2) спрогнозировать изучаемые показатели (пробег до отказа, фактическая трудоемкость операций по ТО и ТР) до начала эксплуатации, а также на период, на который испытания не распространялись
  - 3) определить закон распределения случайной величины (пробега до отказа, фактической трудоемкости операций по ТО и ТР, величину износа сопряжения)
34. Какой закон распределения характерен для показателей, на формирование которых оказывает влияние сравнительно большое число независимых (или слабозависимых) элементарных факторов (спагаемых), а также для математического описания суммы случайных величин?
- 1) нормальный закон распределения;
  - 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
35. Какое распределение формируется в случае, если на протекание исследуемого процесса и его результат влияет сравнительно большое число случайных и взаимонезависимых факторов, интенсивность действия которых зависит от достигнутого случайной величиной состояния?
- 1) нормальный закон распределения;
  - 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
36. Какой закон распределения проявляется в модели «слабого звена», когда система состоит из группы независимых элементов, отказ каждого из которых приводит к отказу всей системы?
- 1) нормальный закон распределения;
  - 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
37. При формировании какого закона распределения не учитывается постепенное изменение факторов, влияющих на протекание исследуемого процесса?
- 1) нормальный закон распределения;
  - 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
38. Какое распределение характерно для распределения фактической трудоемкости (продолжительности) выполнения видов ТО: ЕО; ТО-1; ТО-2; сезонного обслуживания, а также для распределения ресурсов и наработки (пробега) до появления первого отказа детали, узла, агрегата и автомобиля в целом?
- 1) нормальный закон распределения;
  - 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
39. Какой закон применяется при описании процессов усталостных разрушений, коррозии, наработки до ослабления крепежных соединений, изменений люфтов зазоров, а также в тех случаях, где изменение технического состояния происходит главным образом вследствие износа пар трения или отдельных деталей: накладок и барабанов тормозных механизмов и т. п.?
- 1) нормальный закон распределения;

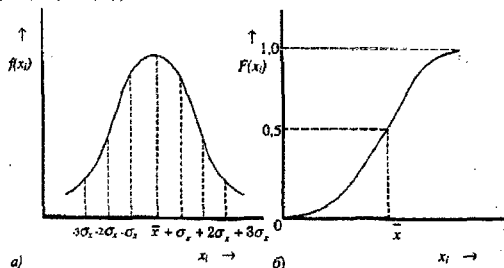
- 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
40. Какой закон описывает распределение ресурса подшипника качения, прокладок, уплотнений, шлангов, трубопроводов, приводных ремней и т.д.?
- 1) нормальный закон распределения;
  - 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
41. Какой закон используют чаще всего при описании внезапных отказов, наработки (пробега) между отказами, трудоемкости текущего ремонта и т.д.?
- 1) нормальный закон распределения;
  - 2) логарифмически нормальный закон распределения;
  - 3) закон распределения Вейбулла;
  - 4) экспоненциальный (показательный) закон распределения
42. Для какого закона распределения характерен данный график дифференциальной функции распределения?



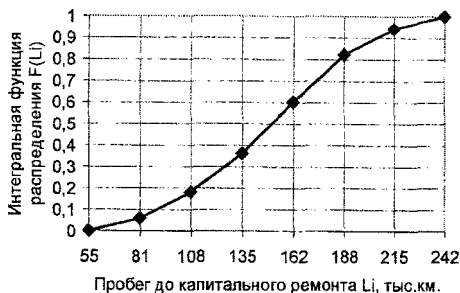
43. Для какого закона распределения характерен данный график дифференциальной функции распределения?



44. Для какого закона распределения характерен данный график дифференциальной и интегральной функций распределения?



45. Используя график интегральной функции распределения (см. рисунок ниже) пробега автомобилей до капитального ремонта, определите количество автомобилей, которые потребуют капитального ремонта при пробеге до 162 тыс. км. Общее количество автомобилей – 100. Запишите формулу для расчета и полученный результат.



46. Используя график интегральной функции распределения пробега автомобилей до капитального ремонта, определите количество автомобилей, которые потребуют капитального ремонта при пробеге в интервале от 162 до 188 тыс. км. Общее количество автомобилей – 100. Запишите формулу для расчета и полученный результат. (см. рисунок для вопроса № 45)

47. Какая государственная научно-техническая программа направлена на создание новых моделей конкурентоспособных автомобилей, тракторов, дизельных двигателей, выпускаемых ведущими предприятиями машиностроительного комплекса для нужд республики и экспорта?

- 1) Государственная научно-техническая программа «Белавтотракторостроение»
- 2) Государственная программа ориентированных фундаментальных исследований «МЕХАНИКА»
- 3) Государственная целевая программа «Автотракторокомбайностроение»

48. Какая государственная программа направлена на развитие теории и методов исследования динамики и процессов управления в механических, гидравлических и газовых системах?

- 1) Государственная научно-техническая программа «Белавтотракторостроение»
- 2) Государственная программа ориентированных фундаментальных исследований «МЕХАНИКА»
- 3) Государственная целевая программа «Автотракторокомбайностроение»

49. Какая государственная программа направлена на развитие автотракторостроения и комбайностроения в РБ?

- 1) Государственная научно-техническая программа «Белавтотракторостроение»
- 2) Государственная программа ориентированных фундаментальных исследований «МЕХАНИКА»
- 3) Государственная целевая программа «Автотракторокомбайностроение»

50. Как называется процесс конструирования модели реальной системы и постановка экспериментов на этой модели с целью выяснения поведения системы, а также оценки различных стратегий, обеспечивающих ее функционирование без физических экспериментов на реальном объекте?

- 1) имитационное моделирование
- 2) метод статистического моделирования
- 3) теория массового обслуживания
- 4) система массового обслуживания

51. При каком методе математического моделирования воспроизводится с достаточно высокой достоверностью исследуемый физический процесс при помощи вероятностных математических моделей и вычисляются характеристики этого процесса?

- 1) имитационное моделирование
- 2) метод статистического моделирования

52. Чем образуется входящий поток требований при моделировании с помощью системы массового обслуживания зоны текущего ремонта автотранспортного предприятия?

- 1) автомобили, требующие текущего ремонта
- 2) посты текущего ремонта
- 3) отремонтированные автомобили
- 4) бригады технического обслуживания

53. Чем образуется очередь при моделировании с помощью системы массового обслуживания зоны текущего ремонта автотранспортного предприятия?

- 1) автомобили, ожидающие выполнения текущего ремонта
- 2) посты текущего ремонта
- 3) отремонтированные автомобили
- 4) бригады технического обслуживания

54. Что представляют собой обслуживающие аппараты при моделировании с помощью системы массового обслуживания зоны текущего ремонта автотранспортного предприятия?
- 1) автомобили, требующие текущего ремонта
  - 2) посты текущего ремонта
  - 3) отремонтированные автомобили
  - 4) бригады технического обслуживания
55. Чем образуется выходящий поток при моделировании с помощью системы массового обслуживания зоны текущего ремонта автотранспортного предприятия?
- 1) автомобили, требующие текущего ремонта
  - 2) посты текущего ремонта
  - 3) отремонтированные автомобили
  - 4) бригады технического обслуживания
56. Что представляют собой обслуживающие аппараты при моделировании с помощью системы массового обслуживания зоны технического обслуживания автотранспортного предприятия?
- 1) автомобили, требующие текущего ремонта
  - 2) посты текущего ремонта
  - 3) отремонтированные автомобили
  - 4) бригады технического обслуживания
57. Какой анализ предназначен для выявления степени влияния контролируемых факторов на отклик?
- 1) дисперсионный анализ
  - 2) корреляционный анализ
  - 3) регрессионный анализ
58. Какой анализ предназначен для выявления степени влияния одного фактора  $X$  на математическое ожидание отклика  $M(Y)$ ?
- 1) однофакторный дисперсионный анализ
  - 2) корреляционный анализ
  - 3) однофакторный регрессионный анализ
59. Задача какого анализа – выявление значимости связи между значениями различных случайных величин?
- 1) дисперсионный анализ
  - 2) корреляционный анализ
  - 3) регрессионный анализ
60. Какой показатель позволяет оценить силу линейной статистической связи между случайными величинами  $X$  и  $Y$ ?
- 1) коэффициент вариации
  - 2) корреляционное отношение
  - 3) коэффициентом корреляции
  - 4) доверительная вероятность
61. Задачами какого анализа является установление вида и параметров зависимости математического ожидания отклика  $M(Y)$  от уровней одного или нескольких факторов  $X$ ?
- 1) дисперсионный анализ
  - 2) корреляционный анализ
  - 3) регрессионный анализ
62. Что позволяет определить регрессионная модель?
- 1) значение коэффициента корреляции  $R$  по заданному значению фактора  $X$
  - 2) коэффициенты регрессии, не проводя эксперимента
  - 3) значение отклика  $Y$  по заданному значению фактора  $X$ , не проводя эксперимента
63. Если коэффициент корреляции  $R \approx 1$ , то между значениями случайных величин  $X$  и  $Y$  существует ...
- 1) прямая корреляционная зависимость
  - 2) обратная корреляционная зависимость
  - 3) нелинейная корреляционная зависимость
  - 4) отсутствие корреляционной зависимости
64. Если коэффициент корреляции  $R \approx -1$ , то между значениями случайных величин  $X$  и  $Y$  существует ...
- 1) прямая корреляционная зависимость
  - 2) обратная корреляционная зависимость
  - 3) нелинейная корреляционная зависимость
  - 4) отсутствие корреляционной зависимости

65. Если коэффициент корреляции  $R=0$ , то между значениями случайных величин  $X$  и  $Y$  существует ...
- 1) прямая корреляционная зависимость
  - 2) обратная корреляционная зависимость
  - 3) нелинейная корреляционная зависимость либо отсутствие корреляционной зависимости
66. Укажите линейную многофакторную модель
- 1)  $y = b_0 + b_1 \cdot x$ ,
  - 2)  $y = b_0 x^{b_1}$
  - 3)  $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$
  - 4)  $y = b_0 + b_1 \cdot \ln x_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + b_3 \cdot \ln x_3$
67. Укажите нелинейную однофакторную модель
- 1)  $y = b_0 + b_1 \cdot x$ ,
  - 2)  $y = b_0 x^{b_1}$
  - 3)  $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$
  - 4)  $y = b_0 + b_1 \cdot \ln x_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + b_3 \cdot \ln x_3$
68. Как называется эксперимент, в котором используются все возможные сочетания уровней факторов?
- 1) активный эксперимент
  - 2) полный факторный эксперимент
  - 3) дробный факторный эксперимент
  - 4) пассивный эксперимент
69. Какой эксперимент используется для сокращения количества опытов при большом числе факторов?
- 1) активный эксперимент
  - 2) полный факторный эксперимент
  - 3) дробный факторный эксперимент
  - 4) пассивный эксперимент
70. Изобразите в виде таблицы план полного факторного эксперимента (факторный план) для двух факторов.
71. Изобразите в виде таблицы расширенную матрицу планирования для двух факторов.
72. Какие нормализованные уровни факторов используются для определения параметров линейной модели и чему они соответствуют?
73. Изобразите графически схему плана полного факторного эксперимента для двух факторов.
74. Назовите свойство автомобиля сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования?
- 1) сохраняемость
  - 2) долговечность
  - 3) ремонтпригодность
  - 4) безотказность
75. Назовите свойство автомобиля сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.
- 1) сохраняемость
  - 2) долговечность
  - 3) ремонтпригодность
  - 4) безотказность
76. Назовите свойство автомобиля, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.
- 1) сохраняемость
  - 2) долговечность
  - 3) ремонтпригодность
  - 4) безотказность
77. Назовите свойство автомобиля непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.
- 1) сохраняемость
  - 2) долговечность
  - 3) ремонтпригодность
  - 4) безотказность

78. Назовите состояние автомобиля, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.
- 1) работоспособность
  - 2) неисправность
  - 3) исправность
  - 4) надежность
79. Назовите состояние автомобиля, при котором он в данный момент времени не удовлетворяет хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией.
- 1) работоспособность
  - 2) неисправность
  - 3) исправность
  - 4) надежность
80. Назовите состояние автомобиля, при котором он соответствует всем техническим требованиям, установленным нормативно-технической документацией как в отношении основных параметров, характеризующих нормальное выполнение заданных функций, так и в отношении второстепенных параметров, характеризующих внешний вид, удобство эксплуатации и т. д.
- 1) работоспособность
  - 2) неисправность
  - 3) исправность
  - 4) надежность
81. Назовите свойство автомобиля выполнять заданные функции, сохраняя значения установленных эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.
- 1) работоспособность
  - 2) неисправность
  - 3) исправность
  - 4) надежность
82. Как называется условная плотность вероятности возникновения отказа невозстанавливаемого изделия, определяемая для данного момента времени при условии, что отказа до этого момента не было?
- 1) параметр потока отказов
  - 2) интенсивность отказов
  - 3) функция восстановления
83. Какой показатель характеризует качество ремонта?
- 1) средняя наработка между отказами
  - 2) средняя наработка до  $k$ -го отказа
  - 3) коэффициент полноты восстановления ресурса
84. Какой параметр характеризует накопленное количество первых и последующих отказов изделия при наработке  $x$  ?
- 1) вероятность отказов
  - 2) вероятность безотказной работы
  - 3) ведущая функция потока отказов (функция восстановления)
  - 4) параметр потока отказов
85. Какой параметр определяет относительное число отказов, приходящееся на единицу времени или пробега одного восстанавливаемого изделия?
- 1) плотность вероятности отказов
  - 2) интенсивность отказов
  - 3) параметр потока отказов
  - 4) ведущая функция потока отказов
86. Приведите пример основного показателя ремонтпригодности.
87. Приведите пример частного показателя ремонтпригодности.
88. Как называется упрощенная форма представления реальных процессов и взаимосвязей в системе, позволяющая изучить, оценить и прогнозировать влияние составляющих элементов (факторов, подсистем) на поведение системы в целом?
- 1) параметр оптимизации
  - 2) модель
  - 3) полный факторный эксперимент
  - 4) активный эксперимент

## Ответы на тесты для самопроверки

№ во-проса	ответ	№ во-проса	ответ	№ во-проса	ответ	№ во-проса	ответ
1.	1	23.	3	45.	См. п. 9.7	67.	2
2.	2	24.	1	46.	См. п. 9.7	68.	2
3.	3	25.	2	47.	1	69.	3
4.	1	26.	3	48.	2	70.	См. п. 13
5.	1	27.	3	49.	3	71.	См. п. 13
6.	2	28.	98	50.	1	72.	См. п. 13
7.	3	29.	2	51.	2	73.	См. п. 13
8.	4	30.	3	52.	1	74.	1
9.	2	31.	4	53.	1	75.	2
10.	1	32.	2	54.	2	76.	3
11.	2	33.	2	55.	3	77.	4
12.	2	34.	1	56.	4	78.	1
13.	2	35.	2	57.	1	79.	2
14.	4	36.	3	58.	1	80.	3
15.	4	37.	4	59.	2	81.	4
16.	3	38.	1	60.	3	82.	2
17.	1	39.	2	61.	3	83.	3
18.	2	40.	3	62.	3	84.	3
19.	1	41.	4	63.	1	85.	3
20.	2	42.	Экспоненциальный закон распределения	64.	2	86.	См. п.6
21.	1	43.	Закон распределения Вейбулла	65.	3	87.	См. п. 6
22.	2	44.	Нормальный закон распределения	66.	3	88.	2

## Литература

1. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн./ Е.С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов и др. – М.: Наука, 2004.- 535 с.
2. Научные исследования и решение инженерных задач: Учебн. пособие/ С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003.
3. Надежность и ремонт машин/В. В. Курчаткин и др. / Под ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.

**Учебное издание**

**Составитель: Монтик Сергей Владимирович**

**Конспект лекций и тесты**

по дисциплине

**«НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ»**

для студентов специальности

1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»  
заочной формы обучения

**Ответственный за выпуск: Монтик С.В.**

**Редактор: Строкач Т.В.**

**Компьютерная вёрстка: Кармаш Е.Л.**

**Корректор: Никитчик Е.В.**

---

Подписано к печати 28.04.2008 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Снегурочка». Усл. п.л. 2,79. Уч. изд. л. 3. Заказ N500. Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.