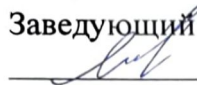


Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Машиностроительный факультет
Кафедра «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 С. В. Монтик
«13» 05 2025 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 С. Р. Онысько
«25» 05 2025 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И
ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»**

(название дисциплины)

для специальности

6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных
и технологических машин и комплексов

Составитель: Монтик Сергей Владимирович, доцент, канд. техн. наук, доцент

Рассмотрено и утверждено на заседании научно-методического совета БрГТУ
26.06.2025 г., протокол № 4.

р.с. и.ч.м.к. 24/25-127

Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

Наука является системной основой для расширенного воспроизводства новых знаний и разработок высокого уровня, передовых технологий, инновационных моделей экономического роста. В связи с этим изучение дисциплины «Основы научных исследований и инновационной деятельности» является актуальным и необходимым условием подготовки высококвалифицированных инженерных кадров в области эксплуатации наземных транспортных и технологических машин и комплексов (профилизации: автосервис; техническая эксплуатация автомобилей).

Цель и задачи дисциплины

Цель преподавания данной дисциплины состоит в освоении теоретических и методологических основ проведения научных исследований и инновационной деятельности для решения инженерных и социально-экономических задач. При этом предусматривается получение практических навыков обработки результатов экспериментальных исследований с применением персональных компьютеров.

Задачи дисциплины:

- изучить цели и задачи фундаментальных и прикладных исследований;
- изучить методологические основы экспериментальной работы, основные этапы и методы обработки результатов исследований;
- изучить основы корреляционно-регрессионного анализа, теории планирования экспериментов и принятия оптимальных решений;
- изучить основы теории массового обслуживания и возможности её использования для решения задач технической эксплуатации;
- изучить инновационные законы и цели инновационной деятельности, ее содержание, методы, основы ее организации, а также закономерности формирования инновационных стратегий, методы инновационного проектирования и бизнес-планирования разработок;
- изучить основные законодательные и нормативные акты в области инноваций;
- сформировать умение обрабатывать статистические данные, определять вероятностный закон распределения, использовать полученные сведения в практической работе;
- сформировать умение использовать теорию планирования экспериментов, теорию массового обслуживания и теорию надёжности, корреляционно-регрессионные модели в исследованиях по технической эксплуатации;
- освоить методы организации и проведения научных исследований в области транспорта;

- сформировать умение проводить анализ новых технологий, оборудования, проектов и решений с целью оценки их инновационного потенциала;
- освоить методы организации внедрения инноваций.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы научно-методического обеспечения образования и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (профилизации: автосервис; техническая эксплуатация автомобилей) дневной и заочной форм получения образования по изучению дисциплины «Основы научных исследований и инновационной деятельности».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 8 ноября 2022 г. № 427 и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» для специальности 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов.

Цели ЭУМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК соответствуют образовательному стандарту высшего образования специальности ОСВО 6-05-0715-07-2023 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов. Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности»:

Теоретический раздел содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

Практический раздел содержит материалы для проведения лабораторных учебных занятий в виде методических указаний для выполнения лабораторных работ.

Раздел контроля знаний содержит материалы для текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине - экзамена (тестовые задания для компьютерного тестирования), позволяющие определить

соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности»

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК конспект лекций, презентаций, персонального компьютера и мультимедийного проектора; при подготовке к экзаменам, лабораторным занятиям студенты могут использовать конспект лекций;

- лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе с использованием представленных в ЭУМК методических указаний и табличного процессора MS Excel, а также системы имитационного моделирования GPSS World Student Version;

- экзамен проводится в виде компьютерного тестирования, вопросы для компьютерного тестирования приедены в разделе контроля знаний.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

34ыМИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«Брестский государственный технический университет»**

Кафедра «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

**Конспект лекций по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов для специальности**

**6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных
и технологических машин и комплексов**



Брест 2025

УДК 629.331.08

Конспект лекций по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» для студентов для специальности 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов предназначен для подготовки к экзамену по данному предмету, а также к лабораторным работам.

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

© Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет» 2025

Оглавление

Раздел 1 Основы научных исследований.....	3
1.1 Законодательные акты Республики Беларусь о научной деятельности	3
1.2 Организационная структура науки в Республике Беларусь	6
1.3 Подготовка научных, научно-педагогических и инженерных кадров	7
1.4 Организация научно-исследовательской работы в вузе	9
1.5 Порядок выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ	9
1.6 Экспериментальные исследования	12
1.7 Основные положения математического моделирования	14
1.8 Основные показатели надежности	15
1.9. Расчет показателей надежности автомобиля.....	20
1.10 Закономерности процессов восстановления.....	24
1.11 Статистическая обработка результатов незавершенных испытаний (цензурированных выборок)	27
1.12 Выбор оптимальной вероятностной математической модели при обработке эксплуатационных испытаний на надежность	28
1.13. Системы массового обслуживания в технической эксплуатации автомобилей.....	32
1.14 Общие сведения о методе статистического моделирования.....	37
1.15 Решение задач технической эксплуатации автомобилей методами имитационного моделирования	37
1.17 Транспортная задача линейного программирования	40
1.18 Решение задач материально-технического обеспечения	41
1.19. Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ.	43
1.15 Планирование эксперимента	45
Раздел 2 Инновационная деятельность	50
2.1 Законом Республики Беларусь «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь».	50
2.2 Этапы инновационного процесса	52
2.3 Инновационные стратегии предприятия.....	55
2.4 Содержание и особенности технологического трансфера	57
2.5 Оценка эффективности продуктовых инновационных проектов	58
Список использованных источников.....	61

Раздел 1 Основы научных исследований

1.1 Законодательные акты Республики Беларусь о научной деятельности

1.1.1 Закон РБ «Об основах государственной научно-технической политики»

Государственная научно-техническая политика – неотъемлемая часть социально-экономической политики РБ, включающая основные цели, принципы, направления и способы воздействия государства на субъекты научной, научно-технической и иннова-

ционной деятельности, порядок взаимоотношений между ними и государством, а также между субъектами научной, научно-технической и инновационной деятельности.

Научно-техническая деятельность – деятельность, включающая проведение прикладных исследований и разработок с целью создания новых или усовершенствования существующих способов и средств осуществления конкретных процессов.

Научная деятельность – творческая деятельность, направленная на получение новых знаний о природе, человеке, обществе, искусственно созданных объектах и на использование научных знаний для разработки новых способов их применения

Основная **цель государственной научно-технической политики** - обеспечение экономического и социального развития республики за счет эффективного использования интеллектуальных ресурсов общества.

Основные принципы формирования и реализации государственной научно-технической политики РБ: государственная поддержка фундаментальных и прикладных исследований; выбор приоритетных направлений научно-технической деятельности и первоочередная государственная поддержка научных исследований и разработок, способствующих решению важнейших проблем социально-экономического развития республики; ориентация научной, научно-технической и инновационной деятельности на преимущественное развитие в республике наукоемких ресурсо-, энерго- и трудосберегающих производств и технологий.

Государственная научно-техническая политика формируется Президентом Республики Беларусь с участием Правительства – Совета Министров Республики Беларусь и реализуется Правительством Республики Беларусь

1.1.2 Закон РБ «О научной деятельности»

Фундаментальные научные исследования – теоретические и (или) экспериментальные исследования, направленные на получение новых знаний об основных закономерностях развития природы, человека, общества, искусственно созданных объектов. Фундаментальные научные исследования могут быть **ориентированными**, то есть направленными на решение научных проблем, связанных с практическими приложениями;

Прикладные научные исследования – исследования, направленные на применение результатов фундаментальных научных исследований для достижения конкретных практических целей;

Принципы государственного регулирования научной деятельности: взаимодействие научных организаций и учреждений, обеспечивающих получение высшего и послевузовского образования, повышение квалификации и переподготовку кадров; контроль за эффективным использованием государственных средств, выделенных на проведение научных исследований; концентрации научных ресурсов и финансовых средств на научных исследованиях, направленных на реализацию приоритетных направлений социально-экономического развития Республики Беларусь

Приоритетные направления научных исследований разрабатываются Национальной академией наук Беларуси, утверждаются Советом Министров Республики Беларусь и являются основанием для распределения средств республиканского и местных бюджетов, выделяемых на научную деятельность.

Государственные программы научных исследований разрабатываются в целях реализации государственной научно-технической политики по приоритетным направлениям научных исследований и решения конкретных научных задач, имеющих непосредственное приложение в народном хозяйстве.

Конкурсный отбор заданий государственных программ научных исследований и отдельных проектов фундаментальных и прикладных научных исследований, финансируемых из республиканского бюджета, осуществляется на основе результатов **государственной научной экспертизы**.

Научным работником высшей квалификации признается научный работник, имеющий ученую степень. **Подготовка научных работников высшей квалификации** организуется в рамках **аспирантуры (адъюнктуры) и докторантуры** в целях обеспечения условий, необходимых для подготовки и защиты диссертаций на соискание ученой степени соответственно кандидата наук, доктора наук. Для проведения защиты диссертаций при научных организациях и ВУЗах создаются **советы по защите диссертаций**.

В Республике Беларусь присуждаются **ученые степени кандидата наук и доктора наук** и академические ученые звания: члена-корреспондента; действительного члена (академика) Национальной академии наук Беларуси; а также **ученые звания доцента и профессора**.

К результатам научной деятельности относятся: новые знания, полученные теоретически или экспериментально и (или) изложенные в любой форме либо зафиксированные на любых материальных носителях информации, допускающих их воспроизведение и (или) практическое использование; экспериментальные (лабораторные) образцы объектов и процессы, созданные на основе новых знаний, а также документация на эти объекты и процессы. Результаты научной деятельности оцениваются по критериям новизны, значимости для науки и практики, объективности, доказательности и точности.

1.1.3 Закон РБ «О Национальной академии наук Беларуси»

Статус Национальной академии наук. Национальная академия наук является *высшей государственной научной организацией Республики Беларусь*, осуществляющей организацию и координацию фундаментальных и прикладных научных исследований, выполняемых всеми субъектами научной деятельности, а также проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, разработок; организацию, проведение и координацию государственной научной экспертизы.

Академия наук подчиняется Президенту Республики Беларусь и подотчетна Совету Министров Республики Беларусь.

Основная задача Академии наук – это научное обеспечение экономического, социального и государственно-правового развития Республики Беларусь, ее культуры, рационального использования и охраны природы.

Состав Национальной академии наук. Академия наук объединяет в своем составе действительных членов (академиков), членов-корреспондентов Академии наук, иных членов Общего собрания Академии наук, почетных и иностранных членов Академии наук, отделения и региональные филиалы Академии наук, аппарат Академии наук, научные организации и иные юридические лица, находящиеся в ее ведении.

Отделения Академии наук являются ее основными научными и научно-организационными подразделениями, объединяющими действительных членов (академиков) и членов-корреспондентов Академии наук одной или нескольких областей науки.

1.2 Организационная структура науки в Республике Беларусь

Государственное управление в сфере научной деятельности осуществляют:

- Президент Республики Беларусь,
- Совет Министров Республики Беларусь,
- Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ) Республики Беларусь,
- Высшая аттестационная комиссия (ВАК) Республики Беларусь,
- Национальная академия наук Беларуси (НАН Беларуси)

Организационная структура науки представлена на рис. 1.1. Обозначение на рисунке: БРФФИ – Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, РНТИ – Республиканская научно-техническая библиотека, БелИСА – Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы.

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.

Руководство осуществляется через **Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ)** – это республиканский орган государственного управления, проводящий государственную политику и реализующий функцию государственного регулирования и управления в сфере научной, научно-технической и инновационной деятельности, а также охраны прав на объекты интеллектуальной собственности

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.

Основными научными и научно-организационными подразделениями Национальной академии наук Беларуси являются отделения.

Также в состав Национальной академии наук входят: научно-производственные объединения (НПО); научно-практические центры (НПЦ); научно-исследовательские институты (НИИ).

Научно-производственное объединение включает: научно-исследовательский институт, специальное конструкторское бюро; производственное подразделение (производство, завод и т.д.).

Кроме НИИ, подчиненных НАН Беларуси в отраслях народного хозяйства действуют **отраслевые научно-исследовательские институты**, которые занимающиеся в основном решением актуальных проблем отрасли и выполняют главным образом прикладные исследования, которые служат каналом для обеспечения связи науки с производством. Они непосредственно подчиняются соответствующим министерствам. В системе Министерства транспорта и коммуникаций таким отраслевым НИИ является **Белорусский научно-исследовательский институт транспорта (БелНИИТ) «Транстехника»**.

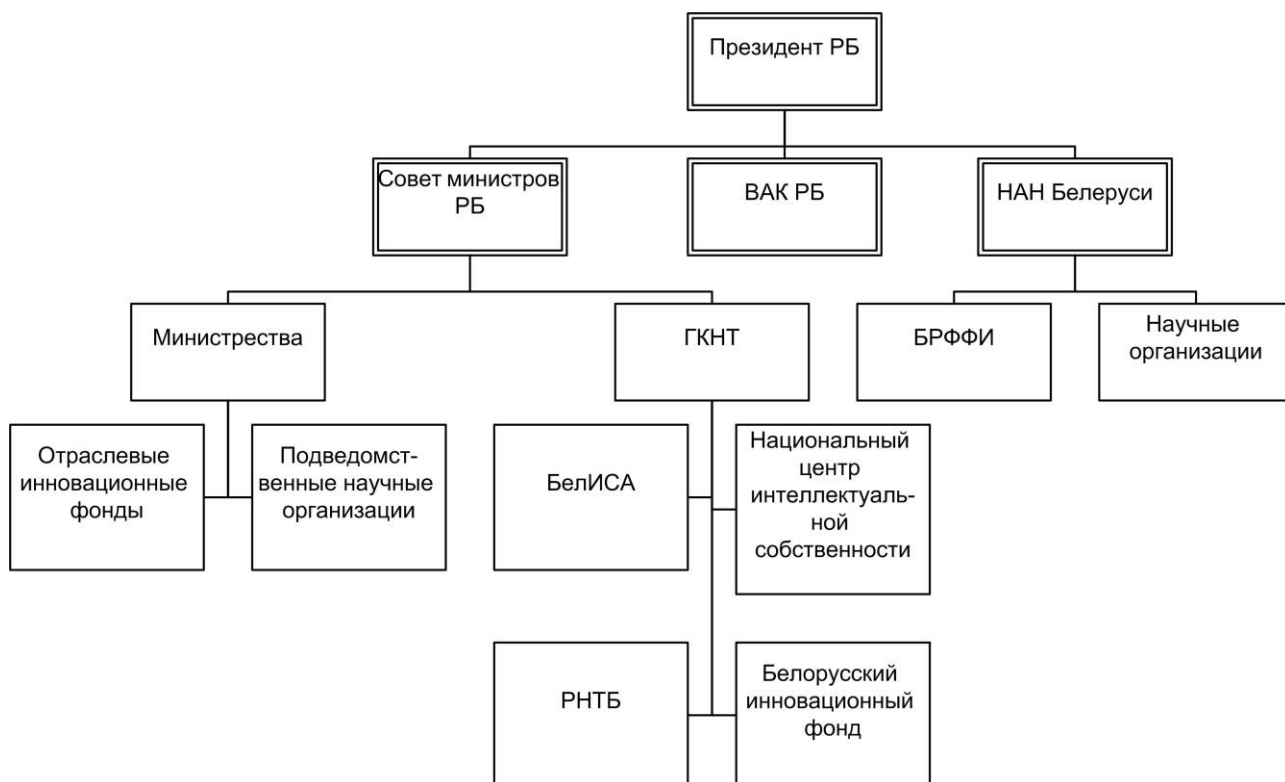


Рисунок 1.1 – Организационная структура науки в РБ

БелНИИТ «Транстехника» - это ведущий научно-технический центр Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь по проведению научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в области автомобильного транспорта.

Основные направления деятельности БелНИИТ «Транстехника»:

- разработка проектов государственных и отраслевых программ и проектов развития транспортного комплекса Республики Беларусь
- совершенствование системы перевозок грузов и пассажиров
- разработка оборудования, испытательных стендов, приборов, оснастки и технологических процессов для технического обслуживания и ремонта автотранспорта, его систем, узлов и деталей
- разработка линейных норм расхода топлива на механические транспортные средства и норм расхода топлива на суда, машины, механизмы и оборудование
- охрана труда на автомобильном транспорте
- охрана окружающей среды и экологическая безопасность на транспорте
- разработка проектов нормативных документов
- издание и распространение нормативной правовой и технологической документации

1.3 Подготовка научных, научно-педагогических и инженерных кадров

Высшее образование – уровень основного образования, направленный на развитие личности студента, курсанта, слушателя, их интеллектуальных и творческих способностей, формирование у них компетенций, необходимых для осуществления профессиональной деятельности, завершающийся присвоением квалификации специалиста

с общим высшим, углубленным высшим или специальным высшим образованием и (или) степени.

Высшее образование включает в себя следующие виды:

- **общее высшее образование** при реализации образовательной программы бакалавриата, направленное на подготовку специалистов с присвоением квалификации и степени **«Бакалавр»**;

- **углубленное высшее образование** при реализации образовательной программы магистратуры, направленное на подготовку специалистов с присвоением степени **«Магистр»**;

- **специальное высшее образование** при реализации непрерывной образовательной программы высшего образования, направленное на подготовку специалистов с присвоением квалификации и степени «Магистр».

Общее высшее образование дает право на продолжение высшего образования (получение углубленного высшего образования) и трудоустройство по полученной специальности, присвоенным квалификации и степени «Бакалавр».

Углубленное высшее образование дает право на освоение содержания образовательной программы аспирантуры (адъюнктуры) на уровне научно-ориентированного образования и трудоустройство по полученной специальности и присвоенной степени «Магистр».

Специальное высшее образование дает право на освоение содержания образовательной программы аспирантуры (адъюнктуры) на уровне научно-ориентированного образования и трудоустройство по полученной специальности, присвоенным квалификации и степени «Магистр»

Научно-ориентированное образование – уровень основного образования, направленный на развитие личности аспиранта, адъюнкта, докторанта, соискателя, реализацию их интеллектуального и творческого потенциала, формирование у них компетенций, необходимых для организации и проведения научных исследований, осуществления профессиональной деятельности, в том числе завершающийся присвоением квалификации «Исследователь».

Научно-ориентированное образование включает в себя:

- **аспирантуру (адъюнктуру)** для реализации образовательной программы аспирантуры (адъюнктуры), направленной на подготовку специалистов, владеющих навыками планирования и самостоятельного проведения научных исследований, глубокими теоретическими знаниями, позволяющими подготовить квалификационную научную работу (диссертацию) на соискание **ученой степени кандидата наук**, и обеспечивающей получение квалификации **«Исследователь»**;

- **докторантуру** для реализации образовательной программы докторантуры, направленной на подготовку специалистов, владеющих навыками организации научно-исследовательской работы по новому направлению научных исследований или в развитие существующих актуальных направлений научных исследований, аналитического обобщения результатов научной деятельности, позволяющими подготовить квалификационную научную работу (диссертацию) на соискание **ученой степени доктора наук**.

Научно-ориентированное образование при реализации образовательной программы аспирантуры (адъюнктуры) дает право на трудоустройство по полученной специальности и присвоенной квалификации «Исследователь».

1.4 Организация научно-исследовательской работы в вузе

Значительный объем научных исследований выполняют высшие учебные заведения страны. Часть из них входит в систему Министерства образования Республики Беларусь, другая часть подчинена отраслевым министерствам (медицинские и сельскохозяйственные вузы).

Преимущество вузов при выполнении НИР является: наличие в их составе ученых и специалистов различного профиля, что позволяет проводить комплексные исследования на стыке научных дисциплин, обеспечивать мобильность научных коллективов. К выполнению научных исследований в вузе привлекается профессорско-преподавательский состав. Выполнение научных исследований включается в индивидуальный план каждого преподавателя.

В вузах, обеспечивающих высокую эффективность научных исследований по актуальным направлениям, организуются — **проблемные научно-исследовательские лаборатории**, а в некоторых случаях и самостоятельные **научно-исследовательские институты**.

Прикладные исследования выполняются профессорско-преподавательским составом в свободное от основной работы время за дополнительную оплату на основе **хозяйственных договоров** с организациями и предприятиями. Для организации хозяйственных научных исследований в вузах создаются **научно-исследовательские секторы (НИС)** или **научно-исследовательские части (НИЧ)**. Они осуществляют контроль за своевременностью и качеством выполняемых исследований, правильностью финансовых расчетов

1.5 Порядок выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Стандарт СТБ 1080-2011 устанавливает порядок выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (далее - НИР, ОКР и ОТР) по созданию научно-технической продукции (далее - НТП).

В СТБ 1080-2011 применяют следующие термины с соответствующими определениями:

временный научный коллектив: добровольное объединение физических лиц без образования юридического лица, создаваемое в целях осуществления научной деятельности в порядке и на условиях, определяемых законодательством и договором.

государственный заказчик: организация, являющаяся распорядителем средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе средств государственных целевых бюджетных фондов, а также средств государственных внебюджетных фондов (далее - государственные средства), предусмотренных для финансирования создания результатов научно-технической деятельности, заключающая договоры с исполнителями.

научно-техническая продукция; НТП: продукция, содержащая новые знания или решения, зафиксированные на любом информационном носителе, а также модели, макеты, образцы новых изделий, материалов и веществ.

К научно-технической продукции относятся:

- научная продукция;
- техническая документация;
- ТНПА;
- промежуточные и конечные результаты этапов работ по разработке веществ, материалов, изделий и технологий их получения (модель, материальные или электронные макеты, экспериментальные или опытные образцы, опытные партии, установочные серии, методики, рекомендации, технологические инструкции и т. д.);
- техническая и технологическая документация к НТП.

К научной продукции относятся результаты исследований, содержащиеся в отчетах о НИР, аналитических докладах и докладах на научно-технических конференциях, семинарах, описаниях, монографиях, статьях, ТНПА, включающих результаты НИР, и других изданиях.

К технической документации относят конструкторские, технологические, программные документы, технические описания, проектную документацию и другие документы, необходимые и достаточные для непосредственного использования на каждой стадии жизненного цикла продукции.

научно-исследовательская работа; НИР: творческая деятельность, направленная на получение новых знаний и способов их применения. Научные исследования могут быть фундаментальными и прикладными.

научно-техническая деятельность: деятельность, включающая проведение прикладных исследований и разработок с целью создания новых или усовершенствования существующих способов и средств осуществления конкретных процессов. **К научно-технической деятельности относятся** также работы по научно-методическому, патентно-лицензионному, программному, организационно-методическому и техническому обеспечению непосредственного проведения научных исследований и разработок, а также их распространения и применения результатов.

опытно-конструкторские работы; ОКР: комплекс работ, выполняемых при создании или модернизации продукции: разработка конструкторской и технологической документации на опытные образцы (опытную партию), изготовление и испытания опытных образцов (опытной партии).

опытно-технологические работы; ОТР: комплекс работ по созданию новых веществ, материалов и (или) технологических процессов и по изготовлению технической документации на них.

прикладные научные исследования: исследования, направленные на применение результатов фундаментальных научных исследований для достижения конкретных практических целей.

результаты научно-технической деятельности: объекты интеллектуальной собственности, созданные при осуществлении научно-технической деятельности, а также научно-техническая информация, зафиксированная на материальном носителе с реквизитами, позволяющими ее идентифицировать

технический отчет: документ, который описывает результаты проведенных исследований, представленных исполнителем, в рамках которого выполнена ОКР и ОТР.

фундаментальные научные исследования: теоретические и (или) экспериментальные исследования, направленные на получение новых знаний об основных закономерностях развития природы, человека, общества, искусственно созданных объектов. Фундаментальные научные исследования могут быть ориентированными, то есть направленными на решение научных проблем, связанных с практическими приложениями.

Основанием для выполнения НИР, ОКР и ОТР являются:

- международные (межгосударственные, межправительственные) договоры и нормативные правовые акты Республики Беларусь, утверждающие межгосударственные целевые, президентские, государственные, государственные комплексные, республиканские и национальные программы;

- программы развития;

- специальные программы;

- программы научных исследований;

- научно-технические программы (государственные, региональные, отраслевые, межгосударственные);

- нормативные правовые акты, приказы или другие распорядительные документы органов государственного управления Республики Беларусь, иных организаций, подчиненных Совету Министров Республики Беларусь;

- приказы или другие распорядительные документы исполнителя, выполняющего НИР, ОКР и ОТР в инициативном порядке.

Для выполнения НИР, ОКР и ОТР заказчик и исполнитель **заключают договор** в соответствии с действующим законодательством.

Финансирование работ при выполнении НИР, ОКР и ОТР может осуществляться из средств республиканского бюджета; включенных в него государственных целевых бюджетных фондов; инновационных фондов, образуемых республиканскими органами государственного управления, иными государственными организациями, подчиненными Правительству Республики Беларусь, Белорусским республиканским союзом потребителей, Национальной академией наук Беларуси; средств местных бюджетов (инновационных фондов, образуемых областными и Минским городским исполнительными комитетами, местных фондов охраны природы и др.); средств заказчика, исполнителя и других источников финансирования.

НИР, ОКР и ОТР подлежат государственной регистрации.

Техническое задание (ТЗ) на выполнение НИР, ОКР и ОТР является основным исходным документом, определяющим необходимые требования к создаваемой НТП.

Разработку ТЗ на выполнение НИР, ОКР и ОТР осуществляют на основании требований заказчика, анализа перспектив развития науки и техники в данной области с учетом прогнозируемых показателей научно-технического уровня и требований рынка.

При выполнении НИР предусматриваются следующие этапы:

- выбор методик проведения исследований;

- разработка ТЗ;

- теоретические, экспериментальные исследования и апробация;

- обобщение и оценка результатов исследований.

На основании договора исполнителя и заказчика в ТЗ на выполнение НИР устанавливаются этапы и состав работ, выполняемых на этапах.

По результатам НИР исполнитель составляет отчет о НИР, который должен содержать:

- обобщение результатов работ, проведенных на всех этапах НИР;
- данные об отчете о патентных исследованиях
- документы, подтверждающие испытания опытных (экспериментальных) образцов, если они проводились;
- рекомендации по реализации НИР;
- данные об экономической и социальной эффективности НИР.

Структура и правила оформления отчета о НИР - в соответствии с ГОСТ 7.32.

Порядок выполнения ОКР и ОТР

При выполнении ОКР и ОТР предусматриваются следующие этапы:

- разработка ТЗ в случае, когда работы выполняются по отдельному (без проведения НИР) договору;
- сбор, изучение и анализ материалов, определение необходимости экспериментальных (опытных) работ, апробации, опытной эксплуатации (стендовых испытаний) и обработка результатов;
- техническое и организационное обеспечение экспериментальных (опытных) работ;
- выполнение экспериментальных (опытных) работ, изготовление и испытание опытных образцов и обработка результатов;
- обобщение и приемка результатов ОКР и ОТР.

На этапе «Обобщение и приемка результатов ОКР и ОТР» выполняют следующие работы:

- составление технического отчета по ОКР и ОТР или пояснительной записки;
- данные об отчете о патентных исследованиях;
- предъявление и приемка ОКР и ОТР с оформлением акта приемки.

1.6 Экспериментальные исследования

Эксперимент - это система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях. Эксперимент состоит из опытов.

Опыт - это воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов. Условия опытов определяются **уровнями (значениями) факторов**.

Фактор - это переменная величина, по предположению влияющая на результаты эксперимента. **Уровень фактора** - это фиксированное значение фактора относительно начала отсчета.

Отклик - это наблюдаемая случайная переменная, по предположению, зависящая от факторов. По данным эксперимента определяется зависимость математического ожидания отклика y от факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$ - **функцию отклика**

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m),$$

где $b_0, b_1, \dots, b_m$ - параметры модели.

План эксперимента - это совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т.д.

Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натурных испытаний изготовленных систем.

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

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

Пассивный эксперимент – это эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются. Пример пассивного эксперимента - это **подконтрольная эксплуатация автомобилей**. В этом случае в автотранспортном предприятии (АТП) выделяется специальная группа подконтрольных автомобилей (выборка), выполняющая обычную транспортную работу. На каждый автомобиль заводится специальный журнал, где фиксируется и накапливается информация о всех отказах и неисправностях, на каком пробеге они произошли или выявлены, данные о нагрузках, виде перевозимого груза, среднесуточных пробегах, пробегах до ТО и между ремонтами и т.п. **Разновидностью пассивного эксперимента** является сбор статистических данных на основании различных отчетных документов: расход запасных частей и эксплуатационных материалов, заявки на текущий ремонт, межремонтные пробеги и т.п. К достоинствам пассивного эксперимента относится: достоверность, так как результаты таких наблюдений учитывают реальные условия эксплуатации автомобилей (хотя сами показатели и являются случайными величинами). Основной недостаток пассивного эксперимента: информация слишком «запаздывает», т.е. время обратной связи очень значительно. Например, от разработки какого-либо узла до момента поступления информации о его надежности из сферы эксплуатации проходит несколько лет.

Активный эксперимент - это эксперимент, в котором уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем. Активный эксперимент проводится в соответствии с планом эксперимента.

Этапы проведения экспериментальных исследований

1. Формирование целей исследований
2. Выдвижение гипотезы об исследуемом объекте
3. Планирование эксперимента
4. Проведение эксперимента
5. Обработка и анализ результатов
6. Проверка правильности выдвинутой гипотезы
7. Выдвижение новой гипотезы, если необходимо
8. Проверка условий окончания эксперимента

9. Планирование нового эксперимента

Вычислительный эксперимент - это методология и технология исследований, основанные на применении прикладной математики и ЭВМ как технической базы при использовании математических моделей. Каждый вычислительный эксперимент основывается как на математической модели, так и на приемах вычислительной математики.

Этапы вычислительного эксперимента:

1. Исходя из целей эксперимента, строится математическая модель объекта
2. Разрабатывается метод расчета сформулированной математической модели.
3. Разрабатываются алгоритм и программа решения задачи на ЭВМ.
4. Проведение расчетов на ЭВМ.
5. Обработка результатов расчетов, их анализ и выводы.

Вычислительный эксперимент приобретает исключительное значение в тех случаях, когда натурный эксперимент и построение физической модели оказываются невозможными.

1.7 Основные положения математического моделирования

Модель - это упрощенная форма представления реальных процессов, позволяющая изучить, оценить и прогнозировать влияние факторов на поведение системы в целом. Основные виды моделей: физические, математические.

Физическая модель представляет либо реальный объект, либо его макет при заданных или создаваемых искусственно воздействиях внешней среды.

Математическая модель - это система математических соотношений (формул, функций, уравнений), описывающих те или иные стороны изучаемого объекта. **Математическое моделирование** - это процесс установления соответствия данному реальному объекту математической модели и исследование модели для получения характеристик реального объекта. Любая математическая модель, как и любая другая, описывает реальный объект лишь с некоторой степенью приближения к действительности.

Общая последовательность математического моделирования

1. Постановка задачи с точки зрения заказчика
2. Проведение экспериментальных исследований
3. Выбор типа математической модели
4. Расчет параметров математической модели
5. Проверка математической модели на адекватность
6. Составление алгоритма и разработка программы для реализации данной математической модели на ЭВМ;
7. Реализация решения на практике (прогноз).

Классификация видов математического моделирования [5]

Детерминированное моделирование - отображает детерминированные процессы, т.е. процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий.

Стохастическое моделирование - отображает вероятностные (случайные) процессы и события.

Статическое моделирование служит для описания поведения объекта в какой-либо момент времени, а **динамическое моделирование** отражает поведение объекта во времени.

Дискретное моделирование служит для описания процессов, которые предполагаются дискретными, т.е. параметрами которых являются дискретные случайные величины (число зубьев зубчатых колес, посадочные диаметры подшипников качения, частоты вращения шпинделя станка). **Непрерывное моделирование** отображает непрерывные процессы, характеризуемые непрерывными случайными величинами.

При **аналитическом моделировании** процессы функционирования элементов системы записываются в виде аналитических выражений, функций. **Имитационное моделирование** воспроизводит процесс функционирования объекта (системы) во времени, при этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.

1.8 Основные показатели надежности

1.8.1 Основные определения

Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать **безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость** или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Безотказность и долговечность — это 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.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость - свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования

Исправное состояние (исправность) - состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние (неисправность) - состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние (работоспособность) - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные

функции, соответствуют требованиям нормативно- технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

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, сгорела лампочка освещения щитка приборов и т. д.

Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Наработка - продолжительность или объем работы объекта. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

Наработка до отказа - наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа. **Наработка между отказами** - наработка объекта от ремонта после отказа до возникновения следующего отказа.

Ресурс - суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до предельного состояния.

Срок службы - календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до предельного состояния.

Срок сохраняемости - это календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение которой сохраняются требования безотказности, долговечности и ремонтпригодности, установленным нормативно-технической документацией.

Остаточный ресурс - суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние

Восстанавливаемый объект - объект, для которого проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической документации, например, автомобиль. **Невосстанавливаемый объект** – не предусмотрено восстановление.

1.8.2 Показатели безотказности

Вероятность безотказной работы $P(l)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки (пробега l) отказ автомобиля не возникнет.

$$P(l) = 1 - \frac{n(l)}{N},$$

где $n(l)$ – количество отказавших автомобилей (агрегатов) за наработку (пробег); N – количество наблюдаемых автомобилей (агрегатов).

Вероятность отказа за наработку (пробег l) определяется

$$F(l) = \int_0^l f(l)dl \approx \frac{n(l)}{N},$$

где $f(l) = \frac{1}{N} \cdot \frac{dn(l)}{dl}$ – плотность вероятности отказа, которая характеризует распределение вероятности отказов от пробега. Связь между вероятностью безотказной работы $P(l)$, вероятностью отказа $F(l)$ и плотностью вероятности отказа $f(l)$ имеет вид (см. рис. 1.2):

$$P(l) = 1 - \frac{n(l)}{N} = 1 - \int_0^l f(l)dl = \int_l^\infty f(l)dl.$$

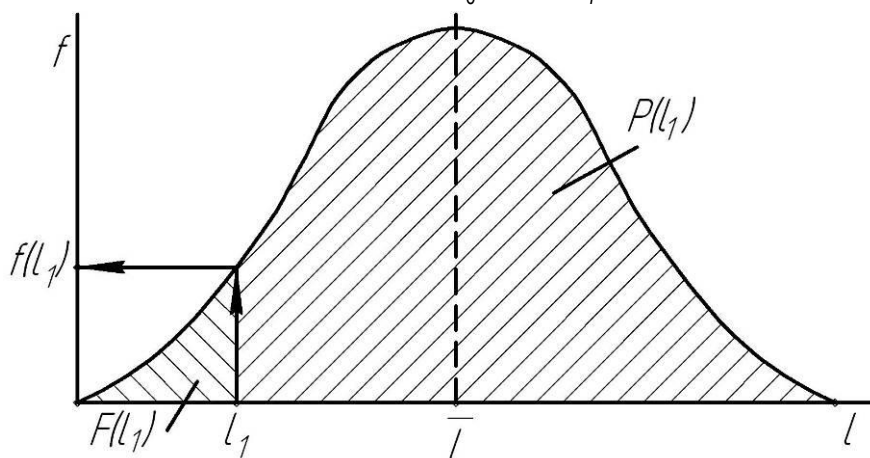


Рисунок 1.2 - Связь между вероятностью безотказной работы $P(l)$, вероятностью отказа $F(l)$ и плотностью вероятности отказа $f(l)$

Гамма-процентная наработка до отказа l_γ – наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью гамма γ , выраженной в процентах.

Гамма-процентную наработку l_γ вырабатывают без отказа не менее гамма-процентов оцениваемых изделий, т.е. вероятность безотказной работы $P(l_\gamma) \geq \gamma$ (см. рис. 1.3). Обычно $\gamma = 90\%$; 95% .

Гамма-процентная наработка используется при определении периодичности технического обслуживания (ТО) по заданному уровню безотказности. Выражение $l_{\text{ТО}} = l_\gamma$ означает, что обслуживание с периодичностью $l_{\text{ТО}}$ гарантирует вероятность безотказной работы $P(l_{\text{ТО}}) \geq \gamma$ и вероятность отказа $F(l_{\text{ТО}}) \leq (1-\gamma)$.

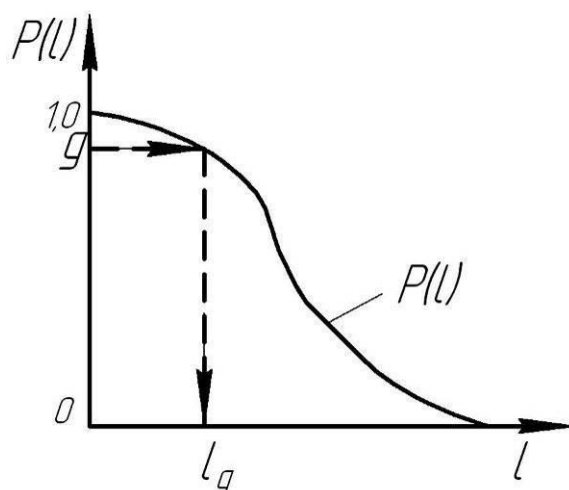


Рисунок 1.3 – Графическое определение гамма-процентной наработки на отказ l_g (g – гамма).

Средняя наработка до отказа - математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка на отказ - отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Применительно к автомобилям и их агрегатам ее можно определить из выражения

$$I_{CP_HA_ОТКАЗ} = \frac{L}{n},$$

где L – суммарный пробег всех подконтрольных автомобилей за определенный период, км; n – количество отказов, возникших на всех подконтрольных автомобилях за тот же период.

Интенсивность отказов $\lambda(l)$ - условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Она определяется из выражения

$$\lambda(l) = \frac{1}{N_{и}} \cdot \frac{dn(l)}{dl} = \frac{1}{N - n(l)} \cdot \frac{dn(l)}{dl} = \frac{f(l)}{P(l)}.$$

После преобразований получаем выражение, устанавливающее связь между вероятностью безотказной работы $P(l)$ и интенсивностью отказов $\lambda(l)$:

$$P(l) = \exp\left(-\int_0^l \lambda(l) dl\right).$$

Интенсивность отказов при статистическом определении можно определить как число отказов, приходящихся на единицу времени или пробега одного исправного изделия при условии, что до данного момента времени отказ не возник.

Параметр потока отказов - отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки.

Осредненный параметр потока отказов - отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за конечную наработку к значению этой

наработки. В период нормальной эксплуатации осредненный параметр потока отказов можно определить как величину обратную средней наработке на отказ:

$$\omega_{CP}(l) = \frac{1}{l_{CP_HA_ОТКАЗ}}.$$

1.8.3 Показатели долговечности

Гамма-процентный ресурс - суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью гамма, выраженной в процентах.

Средний ресурс - математическое ожидание ресурса.

Гамма-процентный срок службы - календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью гамма, выраженной в процентах.

Средний срок службы - математическое ожидание срока службы.

1.8.4 Показатели ремонтпригодности

Вероятность восстановления - вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение

Гамма-процентное время восстановления - время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью гамма, выраженной в процентах.

К показателям ремонтпригодности относятся также: **среднее время восстановления, интенсивность восстановления, средняя трудоемкость восстановления.**

ГОСТ 20334 устанавливает **основные и дополнительные показатели ремонтпригодности автомобилей**. К **основным показателям** эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности относятся: *периодичность ТО автомобиля, тыс. км; средние оперативные трудоемкости (чел.-ч.) выполнения ЕО, ТО-1, ТО-2 и удельная оперативная трудоемкости текущего ремонта (чел.-ч./тыс.км).* Данные показатели используются при сравнении различных автомобилей и определяются статистическим методом. **Частные показатели 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; трудоемкость снятия узлов, агрегатов и деталей; число марок применяемых эксплуатационных материалов; номенклатура необходимого оборудования и инструмента.*

1.8.5 Показатели сохраняемости

Гамма-процентный срок сохраняемости - срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью гамма, выраженной в процентах.

Средний срок сохраняемости - математическое ожидание срока сохраняемости.

1.8.6 Комплексные показатели надежности

Коэффициент готовности K_r - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

$$K_r = \frac{T}{T + T_B},$$

где T – средняя наработка на отказ, ч; T_B – среднее время восстановления, ч.

Коэффициент технического использования $K_{ТИ}$ – отношение математического ожидания суммарного времени T_H пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием $T_{ОБСЛ}$ и ремонтом $T_{РЕМ}$ за тот же период:

$$K_{ТИ} = \frac{T_H}{T_H + T_{РЕМ} + T_{ОБСЛ}}.$$

1.9. Расчет показателей надежности 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.

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 [6]:

- 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.

При работе группы автомобилей приходится иметь дело не с одной зависимостью $y(l)$, которая была бы пригодна для всей группы, а с индивидуальными зависимостями $y_i(l)$, 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_{II} , каждое изделие будет иметь свою наработку до отказа (см. рис. 1.4, а), т.е. будет наблюдаться вариация наработки.

Если все изделия обслуживать с единой периодичностью $l_{ТО}$, то будет иметь место вариация фактического технического состояния (см. рис. 1.4, б), которая скажется на продолжительности выполнения работ, количестве расходуемого материала и запасных

частей. Для решения этих задач необходимо уметь оценивать вариацию случайных величин с помощью статистических методов.

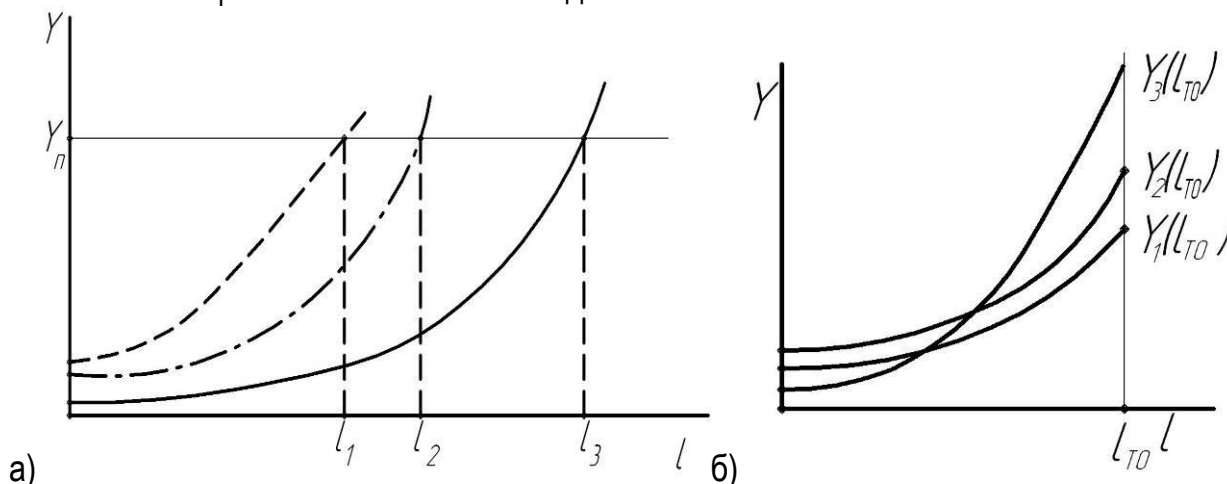


Рисунок 1.4 – Вариация наработки (а) и фактического технического состояния (б) [6]

Рассмотрим расчет параметров эмпирического (экспериментального) распределения пробегов автомобилей до отказа (по какому либо узлу или агрегату). 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. 1.1), гистограммы или полигона эмпирического распределения. Расчет показателей надежности выполняется в следующей последовательности.

Таблица 1.1 – Интегральная и дифференциальная функции экспериментального распределения пробега автомобиля до отказа **X**

№ инт i	Границы интервала, тыс. км.		Количество отказов n_i в ин- тервале	Относительная частота m_i	Середина интервала, тыс. км. $\bar{X}_i$	Интегральная функция эксперим. распределения (вероятность отка- за) $F(\bar{X}_i)$	Дифференциальная функция эксперим. распределения (плотность вероят- ности отказа) $f(\bar{X}_i)$
	от	до					
1	6	8	6	0,06	7	0,060	0,030
2	8	10	12	0,12	9	0,180	0,060
3	10	12	19	0,19	11	0,370	0,095
4	12	14	25	0,25	13	0,620	0,125
5	14	16	20	0,2	15	0,820	0,100
6	16	18	13	0,13	17	0,950	0,065
7	18	20	5	0,05	19	1,000	0,025

Среднее значение пробега автомобиля до отказа **x**, тыс. км, рассчитываем следующим образом:

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

где n_i - число попаданий экспериментальных значений в i -й интервал (в данном случае количество отказов автомобилей в i -м интервале пробега), m_i — относительная частота экспериментальных значений, попавших в i -й интервал вариационного ряда. Среднее значение является приближенной экспериментальной **оценкой математического ожидания** $M(x)$.

Интервальной оценкой математического ожидания пробега автомобиля до отказа **$M(x)$** является **доверительный интервал**, внутри которого с определенной (доверительной) вероятностью P_D находится истинное значение $M(x)$:

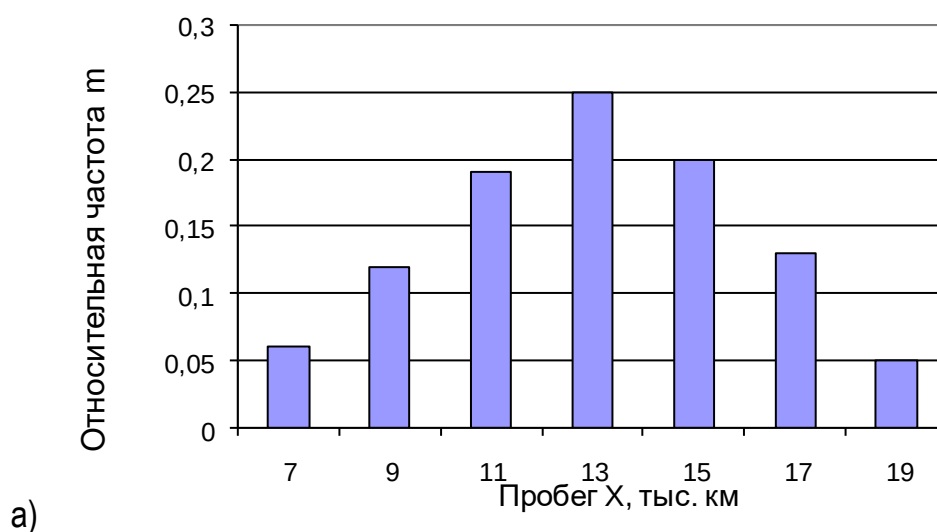
$$\bar{x} - \Delta < M(x) < \bar{x} + \Delta,$$

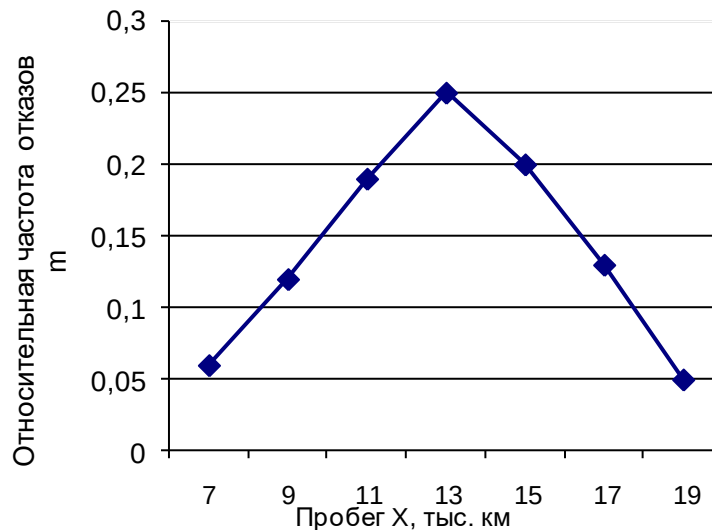
где Δ — погрешность интервального оценивания математического ожидания, характеризующая точность проведенного эксперимента и численно равная половине ширины доверительного интервала. Для количества наблюдений $N > 30$

$$\Delta = t_{\alpha, \nu} \frac{\sigma_x}{\sqrt{N-1}},$$

где $t_{\alpha, \nu}$ - значение критерия Стьюдента, α – уровень значимости, $\nu = N-1$ – число степеней свободы.

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





б)

Рисунок 1.5 – Гистограмма (а) и полигон (б) экспериментального распределения пробега автомобилей до отказа

Средние величины не отражают рассеивание значений показателей около его среднего, т.е. его вариацию. Для оценки вариации используют **дисперсию**:

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

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

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

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

Коэффициент вариации $v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}$ характеризует относительную меру разброса значений показателя.

Точечные оценки позволяют предварительно судить о качестве изделий и технологических процессов. Чем ниже средний ресурс $\bar{x}$ и выше вариация (σ_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

Для оценки надежности автомобиля наиболее важным является зависимость вероятности отказа автомобиля от пробега. Для получения такой зависимости находят интегральную **функцию F(X) вероятности отказа от пробега, которая показывает вероятность отказа автомобиля при пробеге X.**

Значения экспериментальной **интегральной функции распределения** $F(\bar{x}_i)$ рассчитывают как сумму накопленных относительных частот m_i в каждом интервале. 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.

$$F(\bar{x}_i) = \sum_{j=1}^i m_j.$$

Пример расчета и график функции **F(X)** представлены в таблице 1.1 и на рис. 1.6.

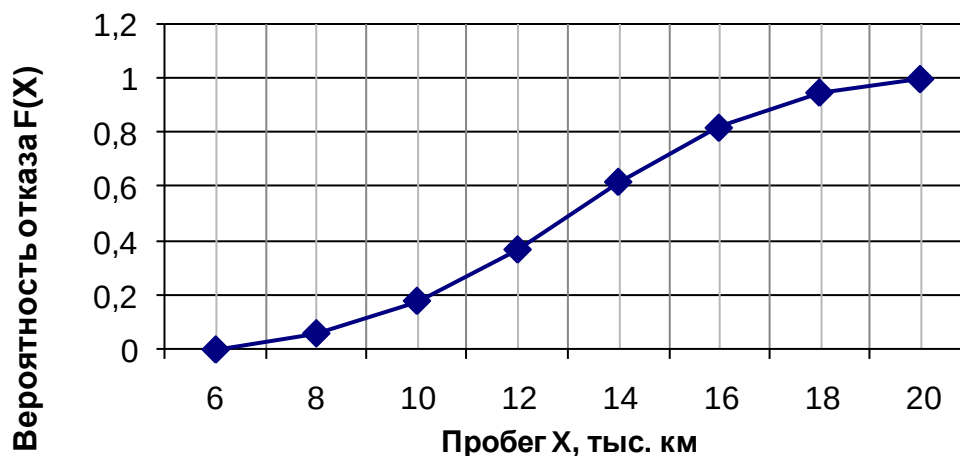


Рисунок 1.6 – Интегральная функция вероятности отказа

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

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

Другим показателем экспериментального распределения является **дифференциальная функция f(x)**, определяемая как отношение относительной частоты m_i к длине интервала Δx :

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

Если в качестве случайной величины x рассматриваются пробеги L автомобиля до отказа, то **функция f(L) называется плотностью вероятности отказа и характеризует вероятность возникновения отказа за достаточно малый пробег при работе узла, агрегата, детали без замены.**

В дальнейшем на основании экспериментальных интегральной и дифференциальной функций распределения осуществляется выбор теоретического закона распределения (вероятностной математической модели), на основании которого выполняется прогноз показателей надежности автомобилей (см. п. 1.12.7).

1.10 Закономерности процессов восстановления

Для рациональной организации производства ремонта необходимо знать, сколько автомобилей с определенными отказами 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 характеристики 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 ремонтом

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

Коэффициент полноты восстановления ресурса η_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. 1.7).

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

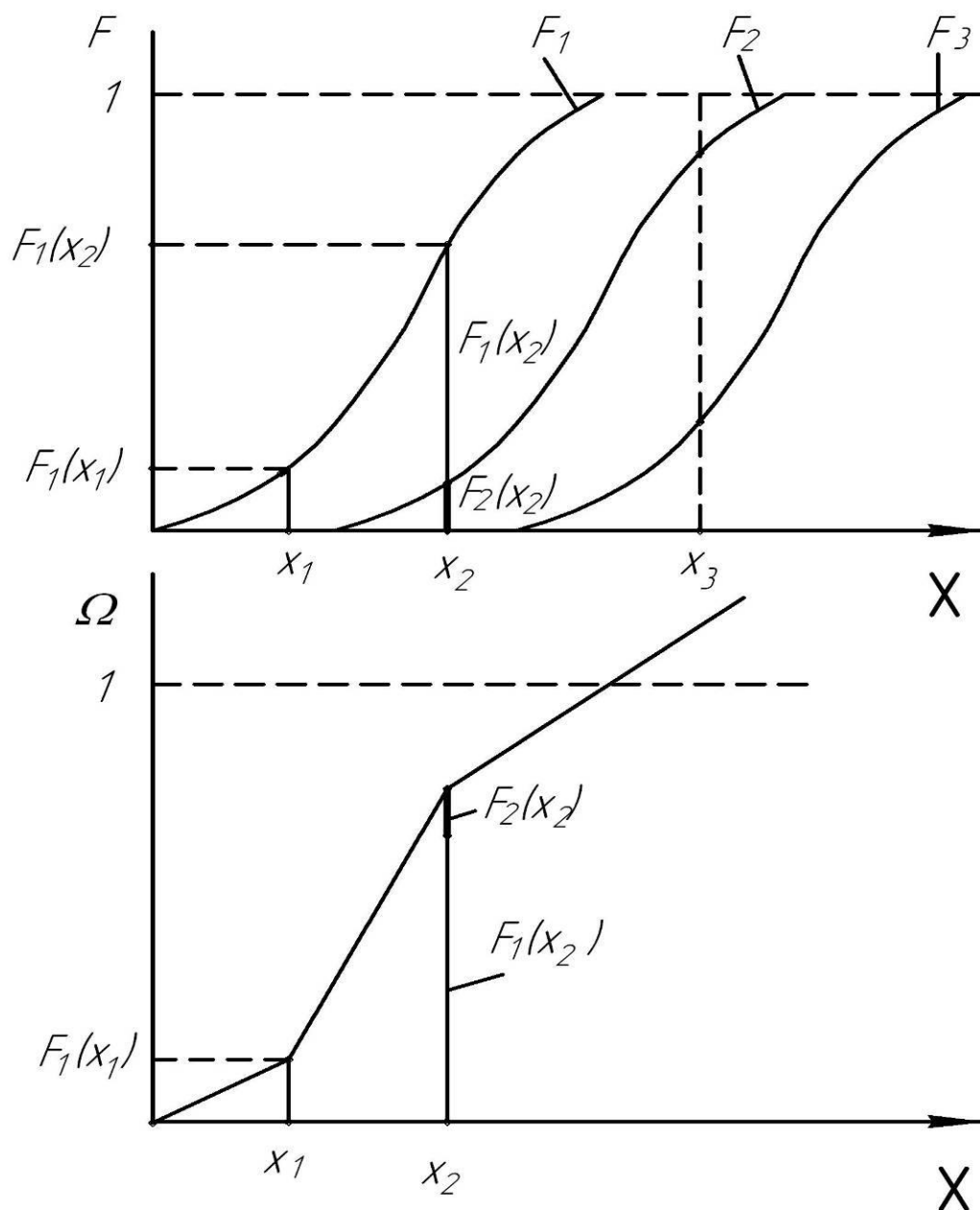


Рисунок 1.7- Формирование ведущей функции потока отказов

Параметр потока отказов $\omega(x)$ - отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки (см. рис. 1.8):

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

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

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

$$\omega(x) = \frac{N_{\Sigma \text{ОТКАЗ}}(X_2 - X_1)}{n \cdot (X_2 - X_1)} = \frac{\Omega(X_2) - \Omega(X_1)}{X_2 - X_1},$$

где $N_{\Sigma \text{отказ}}(X_2 - X_1)$ - суммарное количество отказов n автомобилей в интервале наработки от X_2 до X_1 .

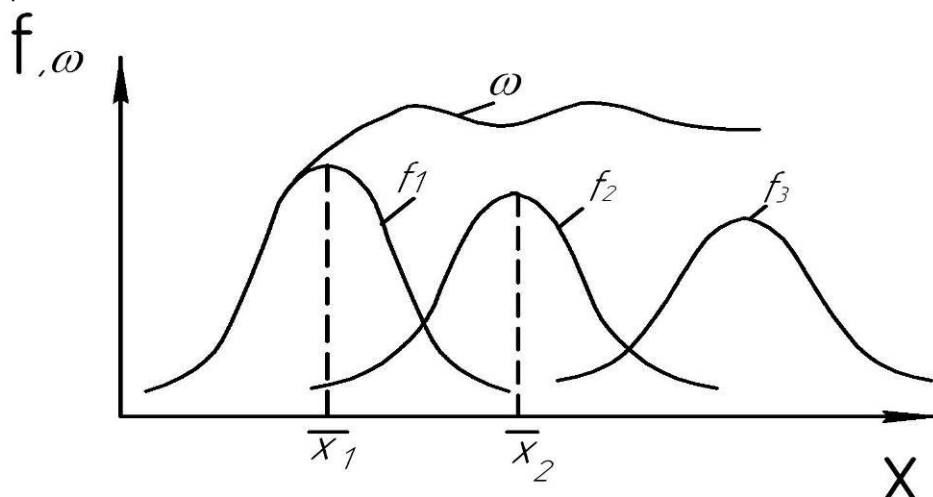


Рисунок 1.8 – Формирование параметра потока отказов

Если известно значение $\omega(x)$, то можно определить программу работ по устранению отказов, потребность в запасных частях и материалах. Суммарное количество отказов $N_{\Sigma \text{отказ}}(x)$ определяется:

$$N_{\Sigma \text{отказ}}(x) \approx L_{\Sigma}(x) \cdot \omega(x),$$

где $L_{\Sigma}(x)$ - суммарная наработка группы автомобилей за период, для которого определяется количество отказов $N_{\Sigma \text{отказ}}(x)$. Например, если суммарная наработка группы автомобилей разна 340 тыс. км, а параметр потока отказов $\omega(x)=0,06$ отк./1000км, то суммарное количество отказов $N_{\Sigma \text{отказ}}(x) = 340 \cdot 0,06 = 20,4$ отказа.

Для любого закона распределения наработки на отказ со среднеквадратическим отклонением σ ведущая функция параметра потока отказов при достаточно большой наработке X определяется по приближенной формуле [6]

$$\Omega(X) = \frac{X}{\eta \bar{x}_1} + \frac{\sigma^2}{2(\eta \bar{x}_1)^2} - \frac{1}{2}.$$

1.11 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. 1.9.

1.12 Выбор оптимальной вероятностной математической модели при обработке эксплуатационных испытаний на надежность

1.12.1 Определение вида вероятностной математической модели

Основная цель разработки математических моделей состоит в том, чтобы, проведя эксперимент (испытыв 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 до начала эксплуатации, а также на период, на который испытания не распространялись.

Гипотезу о предполагаемом виде математической модели формулируют на основании:

- схождения 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 $P(x)$.

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

1.12.2 Формирование нормального распределения

Нормальное распределение характерно для показателей, на формирование которых оказывает влияние большое число независимых факторов.

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

Дифференциальная функция нормального распределения имеет вид

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

интегральная функция нормального распределения

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

Закон является двухпараметрическим. Параметр $\bar{x}$ — математическое ожидание — характеризует положение центра рассеивания относительно начала отсчета, а параметр σ_x — среднее квадратическое отклонение характеризует растянутость распределения вдоль оси абсцисс. Характерные графики $f(x)$ и $F(x)$ приведены на рис. 1.9.

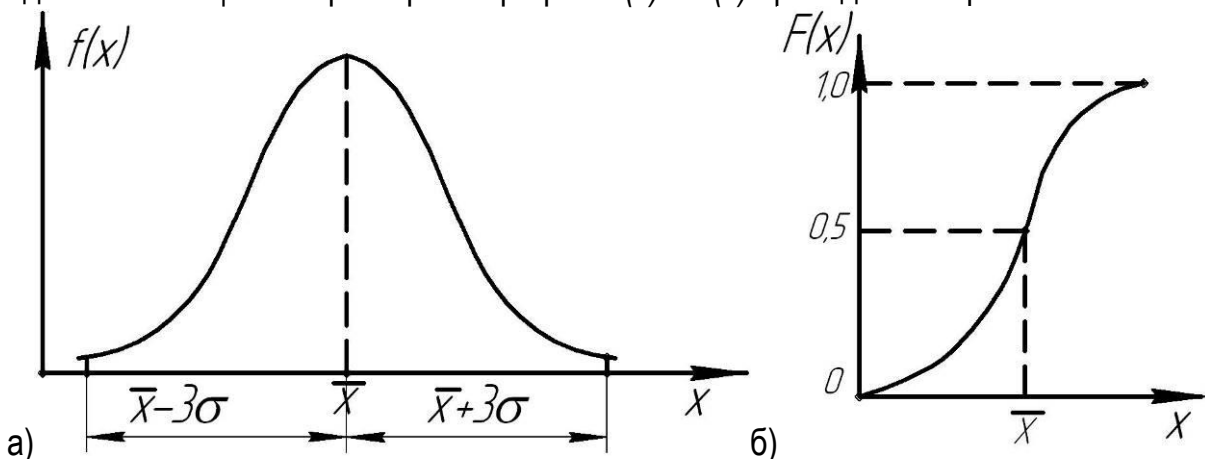


Рисунок 1.9- Графики дифференциальной (а) и интегральной (б) функций нормального закона распределения

1.12.3 Формирование логарифмически нормального распределения

Логарифмически нормальное распределение формируется в случае, если на показатель влияет большое число независимых факторов, интенсивность действия которых зависит от достигнутого показателем 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: дисков и фрикционных накладок сцепления, протекторов шин, деталей цилиндропоршневой группы, подшипников скольжения.

1.12.4 Формирование распределения Вейбулла

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

Многие изделия (агрегаты, узлы, системы автомобиля) при анализе отказов 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.

С помощью закона распределения Вейбулла можно моделировать возникновение внезапных отказов (когда параметр формы распределения $b=1$) и отказов из-за износа ($b=2,5$).

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

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

интегральная функция

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

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. При $b=1$ распределение Вейбулла преобразуется в экспоненциальное (показательное) распределение. Графики дифференциальной функции приведены на рис. 1.10.

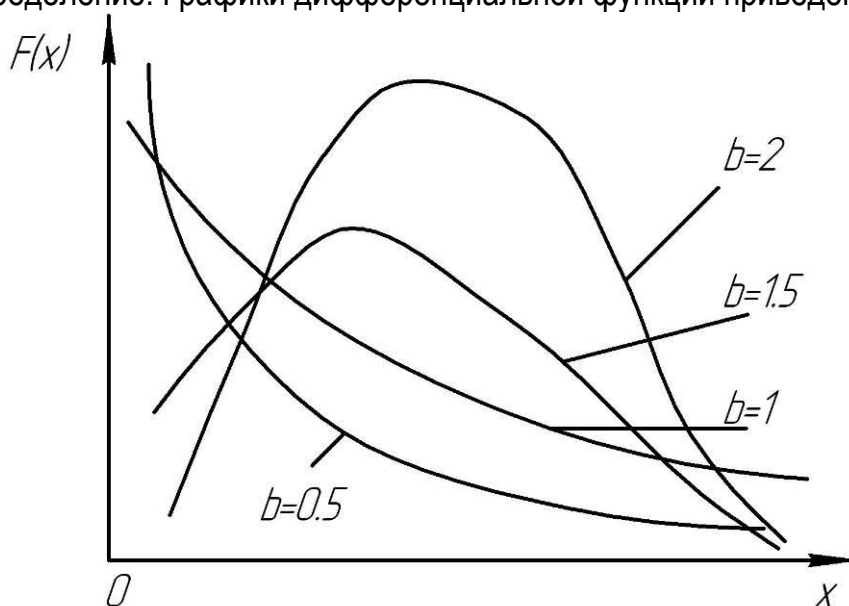


Рисунок 1.10 - Дифференциальная функция распределения Вейбулла

1.13.5 Формирование экспоненциального (показательного) распределения

Экспоненциальное (показательного) распределение показателя формируется, если не учитывается 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.

Вид дифференциальной функции $f(x)$ представлен на рис. 1.11.

Дифференциальная функция распределения имеет вид $f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}$, а интегральная функция $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$, где λ - параметр распределения, характеризующий интенсивность или плотность событий в единицу времени, $\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$, где $\bar{x}$ - среднее значение случайной величины X .

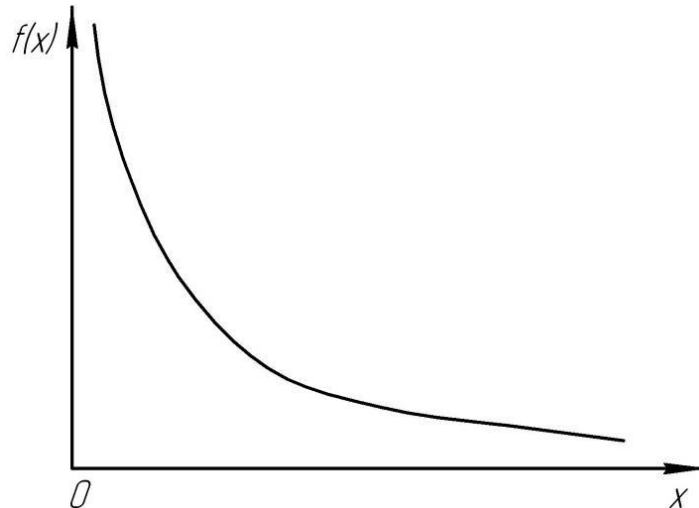


Рисунок 1.11 – График дифференциальной функции экспоненциального (показательного) распределения

1.12.6. Проверка совпадение экспериментального и теоретического распределения

Для проверки совпадение экспериментального и теоретического распределения используем критерий Пирсона χ^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 наступил 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 - $\tilde{a}_i$ интервала.

Расчетное значение критерия χ^2 определяется по формуле

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

Разработанная вероятностная математическая модель адекватна результатам эксперимента, если

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

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

1.12.7. 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 при пробеге до L_1 определяется:

$$N_{PEM} = N \cdot F(L_1),$$

где $F(L_1)$ - значение теоретической функции интегрального распределения при пробеге L_1 (см. рис. 1.12).

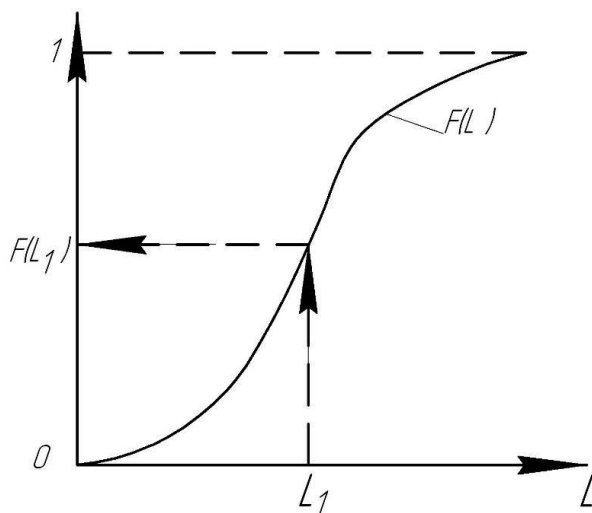


Рисунок 1.12 – Определение вероятности отказа $F(L)$ для заданного пробега

Количество автомобилей, которые потребуют ремонта в интервале пробега от L_1 до L_2 определяется по формуле

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

где N – общее количество наблюдаемых автомобилей, $F(L_2)$ и $F(L_1)$ - значения теоретической функции интегрального распределения при пробегах L_2 и L_1 .

1.13. Системы массового обслуживания в технической эксплуатации автомобилей

1.13.1 Основные определения

Системы, в которых переменными и случайными являются моменты поступления требований на обслуживание и продолжительность самих обслуживания, называются **системами массового обслуживания (СМО)**.

Примерами СМО в области технической эксплуатации автомобилей являются зоны диагностирования, ТО, текущего ремонта (ТР), участки ТР АТП, склады запасных частей, топливо- и маслораздаточные колонки автозаправочных станций и др.

СМО представляет собой систему дискретного типа с конечным множеством состояний, а переход системы из одного состояния в другое происходит скачкообразно, когда осуществляется какое-либо событие. Процесс функционирования СМО хорошо иллюстрируются графом состояния системы, на котором прямоугольниками отмечены состояния системы, а стрелками - направления переходов. Если на графе у стрелок указаны плотности вероятности перехода λ , то он называется размеченным графом состояний (рис. 1.13).

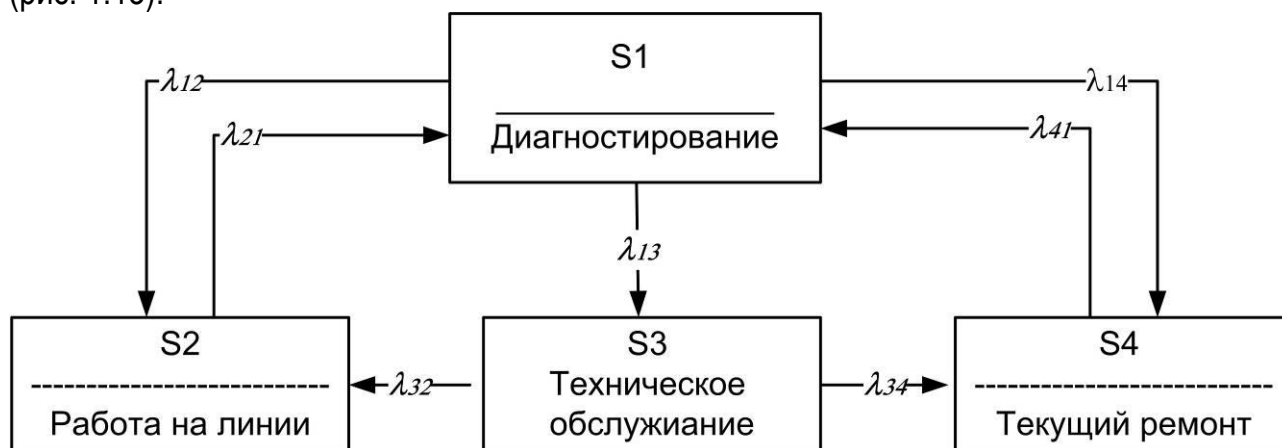


Рисунок 1.13 – Размеченных граф состояний СМО

Для описания потока требований в СМО используются **простейшие потоки** требований, обладающие свойствами **стационарности** (интенсивность поступления требований постоянна), **ординарности** (вероятность поступления одновременно нескольких требований пренебрежимо мала) и **отсутствия последствия** (интенсивность поступления требований не зависит от количества ранее поступивших требований).

Для простейшего потока отказов вероятность возникновения k отказов ($k=0, 1, 2, \dots$) за время t определяется законом Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\omega t)^k}{k!} e^{-\omega t},$$

где ω - параметр потока отказов.

1.13.2 Структура СМО

Система массового обслуживания состоит из следующих элементов (рис.1.12):

1- **Входящий поток требований** - совокупность требований к СМО на проведение определенных работ (заправка, мойка, ТО, ТР и др.) или оказание услуг (покупка изделий, деталей, материалов и др.). Он характеризуется параметром потока требований $\omega(t)$, треб/ед.времени. Входящий поток требований может быть постоянным: $\omega(t) = \text{const}$ - и переменным: $\omega(t) \neq \text{const}$. Требования бывают однородные (одинаковые виды работ или услуг) и неоднородные (разные виды работ или услуг).

2 - **Очередь** — требования, ожидающие обслуживания. Очередь оценивается *средней длиной очереди* r - числом автомобилей или клиентов, ожидающих обслуживания, а также *вероятностью образования очереди* $P_{оч}$

3 - **Обслуживающие аппараты (каналы обслуживания)** - совокупность постов ТО, ТР, рабочих мест, исполнителей, оборудования, осуществляющих обслуживание требо-

ваний по определенной технологии. Обслуживающие аппараты характеризуются: количеством обслуживающих аппаратов n , интенсивностью обслуживания $\mu(t)$, треб./ед.времени. При моделировании зоны TP как СМО обслуживающими аппаратами являются *посты* TP . При моделировании зоны $ТО$ как СМО обслуживающими аппаратами являются посты $ТО$ или бригады $ТО$.

4 - **Выходящий поток требований** $\omega'(t)$ - поток требований, прошедших СМО. В общем случае выходящий поток может состоять из *требований обслуженных и необслуженных*. Пример необслуженных требований: отсутствие нужной детали для автомобиля, находящегося в ремонте. На автомобильном транспорте после обслуживания требований ($ТО$, TP) автомобиль должен быть технически исправным.

5 - **Замыкание** (возможное) СМО - состояние системы, при котором входящий поток требований зависит от выходящего.

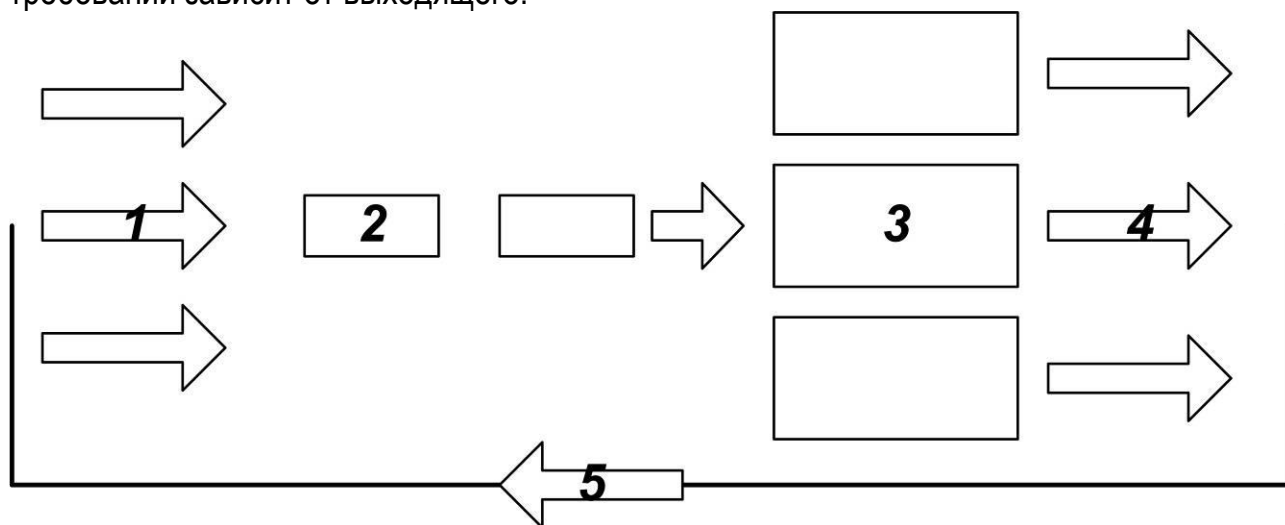


Рисунок 1.14 – Общая схема системы массового обслуживания.

1.13.3 Классификация СМО

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 поступает в очередь, если все аппараты заняты. Могут существовать ограничения на длину очереди или на время нахождения в ней;

- по количеству каналов обслуживания — одноканальные ($n = 1$) и многоканальные ($n > 1$);

- 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 посты 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 топли-

вом 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 исполнителями характерна при организации работы зон и участков ТО и ремонта и при коллективных методах труда, когда исполнители могут перемещаться по постам.

1.13.5 Показатели эффективности СМО

Интенсивность обслуживания μ , треб./ед. времени, (средняя производительность рабочего поста, бригады в единицу времени)

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

где t_d - длительность обслуживания одного требования (продолжительность технического воздействия), ч.

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

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

где ω — параметр потока требований, треб./час.

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

Вероятность того, что все обслуживающие аппараты (каналы) 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 $P_{оч}$ определяет такое состояние системы, при котором все обслуживающие аппараты заняты и следующее требование поступает в очередь с числом ожидающих требований r .

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

Время пребывания требования в системе $t_{сист}$.

Издержки от функционирования системы, руб/ед. времени, определяются

$$И = И_{аппарат}(n) + И_{требование}(n),$$

где $I_{\text{аппарат}}(n)$ - издержки из-за простоя обслуживающих аппаратов, т. е. из-за простоя постов ТО и ТР, $I_{\text{требование}}(n)$ - издержки из-за простоя требований в очереди, т. е. из-за простоя автомобилей в ожидании обслуживания, n – количество обслуживающих аппаратов (количество постов ТО или ТР).

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. Необходима оптимизация систем обслуживания.

При оптимизации СМО за определенный промежуток времени сопоставляются 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 n (число постов, исполнителей, оснащение технологическим оборудованием и инструментом), затраты, связанные с простоем автомобилей в ожидании обслуживания, сокращаются (кривая 1 на рис. 1.15), а затраты, вызванные простоем средств обслуживания и персонала в ожидании загрузки, возрастают (кривая 2 на рис. 1.15). Минимальное значение суммы этих затрат (кривая 3 на рис. 1.15), являющейся целевой функцией, и будет соответствовать оптимальной структуре СМО (например, число постов, исполнителей), при которой минимизируются потери предприятия, связанные с простоем средств обслуживания, ожиданием объектов обслуживания.

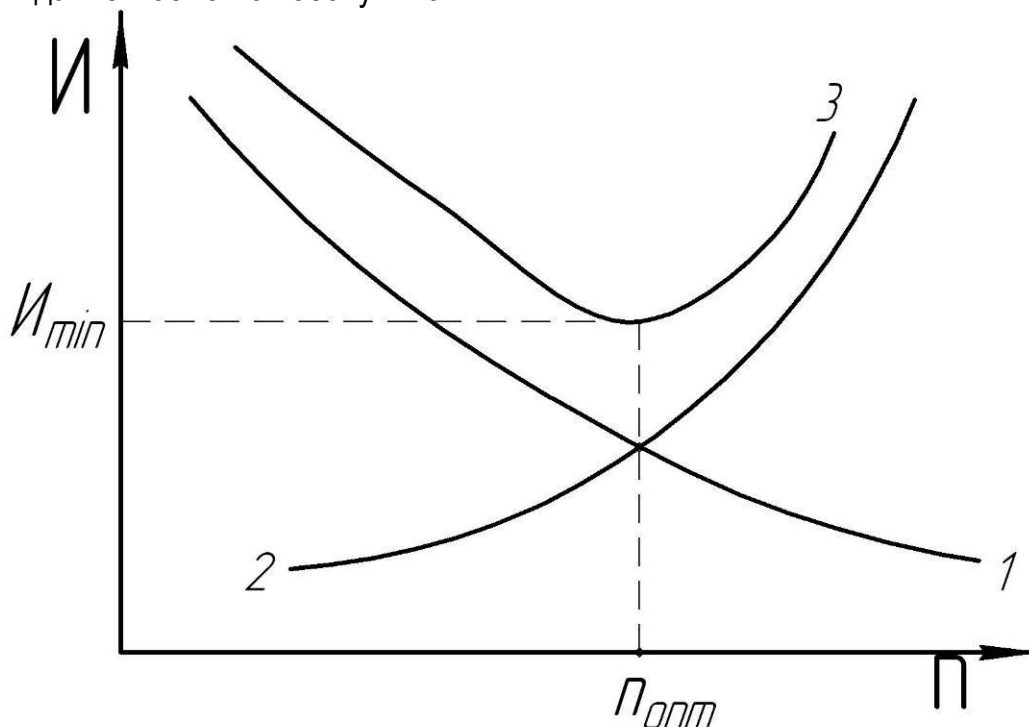


Рисунок 1.15 - Определение показателей пропускной способности систем обслуживания технико-экономическим методом: 1 - затраты от простоев автомобилей; 2 – затраты от простоев системы обслуживания (постов, ремонтных рабочих) в ожидании требований на обслуживание; 3 - суммарные затраты

1.14 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 [5].

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.

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

1.15 Решение задач технической эксплуатации автомобилей методами имитационного моделирования

1.15.1 Основные понятия

Имитационное моделирование воспроизводит процесс функционирования объекта (системы) во времени, при этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Имитационное моделирование позволяет по исходным данным получить сведения о состоянии процесса в определенные моменты времени.

Имитационное моделирование на ЭВМ позволяет получать наглядную картину поведения системы, рассматривать различные варианты модели, отвечающие различным сторонам функционирования системы и возможным структурным преобразованиям, получать значения необходимых количественных характеристик. Поэтому имитационное моделирование в настоящее время получает все большее распространение в исследовании сложных технических систем и технологических процессов. Имитационное моделирование **целесообразно** применять [7]:

- не существует законченной математической постановки задачи либо еще не разработаны аналитические методы решения сформулированной задачи;
- аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;
- кроме оценки определенных параметров, требуется осуществить наблюдение за ходом процесса функционирования системы в течение некоторого времени. При этом имитационное моделирование дает возможность полностью контролировать время изучения системы.

Важными **ограничениями** имитационного моделирования является то, что [7]:

- оно не предоставляет непосредственного решения математических задач, что характерно для аналитических методов. Оно служит в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором;
- разработка хорошей имитационной модели (ИМ) часто обходится дороже создания аналитической модели и требует наличия квалифицированных специалистов и больших затрат времени;

- при использовании ИМ применяются многочисленные методы статистического анализа данных, что усложняет исследование.

Имитационная модель (ИМ) – это формальное описание логики функционирования исследуемой системы во времени, учитывающее наиболее существенные взаимодействия ее элементов и обеспечивающее возможность проведения статистических экспериментов.

1.15.2 Технология построения и использования имитационных моделей.

1 Содержаниеное описание объекта моделирования

На первом этапе осуществляется постановка задачи и формулировка целей исследования: выбираются показатели эффективности функционирования исследуемой системы, отражающие цели моделирования; определяются управляющие параметры и контролируемые переменные.

2 Построение концептуальной модели

Концептуальная модель представляет собой упрощенное математическое или алгоритмическое описание исследуемой системы.

3 Формальное описание объекта моделирования

4 Составление модели на языке моделирования

5 Испытание имитационной модели

Испытание ИМ включает два этапа: *верификацию и проверку адекватности*. На этапе *верификации* необходимо убедиться в правильности алгоритма функционирования ИМ, его соответствии замыслу моделирования. Под *адекватностью* ИМ объекту исследования понимают совпадение с заданной точностью значений характеристик функционирования ИМ и реального объекта.

6 Исследование свойств имитационной модели

7 Планирование имитационного эксперимента

8 Анализ результатов моделирования

1.15.3 Имитационное моделирование в среде GPSS World

Пакет GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения) предназначен для имитационного моделирования дискретных систем и входит в число наиболее распространенных и используемых на практике средств автоматизации имитационного моделирования. Одна из последних версий пакета GPSS для персональных компьютеров, работающих под управлением операционной системы Windows, называется GPSS World. Система GPSS World позволяет моделировать СМО.

Для моделирования систем в GPSS выделяется конечное множество абстрактных компонентов, необходимых для описания элементов реальной системы (например, источников заявок на обслуживание, очередей, обслуживающих аппаратов и т. д.), и конечное множество стандартных операций, описывающих связи между элементами. Выделенным множествам элементов и операций ставится в соответствие множество объектов GPSS, основные типы которых рассмотрены ниже.

Основные объекты GPSS

Транзакты описывают единицы исследуемых потоков (заявки; требования на обслуживание; автомобили, требующие проведения ТО, ТР). Транзакты движутся от блока к блоку так, как движутся элементы, которые они представляют. Каждое продвижение

транзакта инициирует в модели некоторые события (например, занятие поста ТО). События обрабатываются GPSS в соответствующий момент модельного времени. Содержательное значение транзактов определяет разработчик модели. Именно он устанавливает аналогию между транзактами и реальными динамическими элементами моделируемой системы, например транзакт соответствует автомобилю, который обслуживается в зоне ТО АТП.

Блоки задают логику функционирования ИМ системы и определяют пути движения транзактов. Практически все изменения состояний ИМ (события) происходят в результате входа транзактов в блоки и выполнения блоками своих функций. Основные функции блоков следующие: создание (генерация) и уничтожение транзактов; задержка транзакта на определенный интервал времени; изменение маршрута движения транзакта.

Одноканальные устройства (Facility) описывают оборудование, которое в любой момент времени может быть занято только одним транзактом (например пост ТО, , на котором может обслуживаться только один автомобиль). Одноканальные устройства в GPSS обеспечивают сбор основной статистической информации о своем функционировании.

Многоканальные устройства (Storage) описывают оборудование, которое может использоваться несколькими транзактами одновременно (например, ими может моделироваться зона ТО, состоящая из нескольких постов; АЗС с несколькими колонками). Многоканальные устройства обеспечивают сбор статистической информации о своем функционировании.

Очереди (Queue) обеспечивают сбор основной статистической информации о времени задержки транзактов из-за занятости оборудования.

Пример имитационной модели на GPSS World представлен на рис. 1.16.

GENERATE	5, 2	;ПОСТУПЛЕНИЕ А/М НА АЗС СО СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ 5МИН ± 2 МИН
QUEUE	ZAPRAVKA	;ВХОД В ОЧЕРЕДЬ НА АЗС
SEIZE	KOLONKA	;ЗАНЯТИЕ А/М КОЛОНКИ
DEPART	ZAPRAVKA	;ВЫХОД ИЗ ОЧЕРЕДИ НА АЗС
ADVANCE	6, 3	;ЗАПРАВКА А/М СО СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ 6 МИН ± 3 МИН
RELEASE	KOLONKA	;ОСВОБОЖДЕНИЕ КОЛОНКИ
TERMINATE		;АВТОМОБИЛЬ ПОКИДАЕТ СИСТЕМУ
GENERATE	1440	;ЗАДАНИЕ ВРЕМЕНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ – 1440 МИН (1 СУТКИ)
*****	*****	*****
TERMINATE	1	;ОСТАНОВИТЬ МОДЕЛИРОВАНИЕ
START	1	;ЗАПУСК ПРОЦЕДУРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рисунок 1.16 – Имитационная модель функционирования АЗС с одной колонкой

В результате моделирования система GPSS World создает отчет, в котором содержатся статистические данные о функционировании имитационной модели. Например,

для *одноканального устройства (FACILITY)* указывается: количество транзактов, вошедших в устройство за время моделирования; коэффициент загрузки устройства (часть периода моделирования, в течение которого устройство было занято); среднее время занятости устройства и др. данные. Для *очереди (QUEUE)* указывается максимальная длина очереди за время моделирования; количество входов транзактов в очередь; среднее значение длины очереди; среднее время, проведенное транзактом в очереди.

Более подробно работа в системе GPSS World описана в [3, 6].

1.17 Транспортная задача линейного программирования

При формировании плана перевозок для АТП или группы предприятий на продолжительный период необходима его оптимизация, т.е. выполнение плана перевозок должно выполняться с минимум затрат или с минимальным общим пробегом либо транспортной работой.

В качестве исходных данных для составления плана используется: перечень поставщиков перевозимых продуктов, располагающих определенными запасами; перечень потребителей, требующих определенного количества продуктов; стоимость перемещения единицы продукции или расстояние между поставщиком и потребителем.

Задача формирования оптимального плана перевозок приводят к решению транспортной задачи, которая решается методами линейного программирования.

Математически **транспортная задача** линейного программирования формулируется следующим образом [3]. Пусть имеется некоторое количество поставщиков груза (n) и потребителей груза (m). Количество груза i -го поставщика обозначим a_i , а спрос j -го потребителя b_j . Расстояние от i -го поставщика до j -го потребителя обозначим l_{ij} . Определяемые размеры поставок груза i -м поставщиком j -му потребителю обозначим x_{ij} . С учетом принятых обозначений исходные данные можно представить в виде специальной таблицы (см. табл. 1.2).

Целевая функция (критерий оптимальности) – это минимум транспортной работы:

$$W = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n l_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

Оптимизируемые параметры: размеры поставок груза i -м поставщиком j -му потребителю x_{ij} .

Ограничения:

1. Расстояние между поставщика и потребителями – либо величина положительная либо равна нулю, т. е. $l_{ij} \geq 0$
2. Общее количество грузов у поставщиков равно спросу всех потребителей:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

3. Объем перевозок груза, осуществляемых i -м поставщиком, равен количеству имеющегося у него груза:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, (i = 1, 2, \dots, m)$$

4. Объем перевозок груза потребителю равен его спросу:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, (j = 1, 2, \dots, n)$$

5. Размер каждой поставки - число положительное либо равно нулю, т. е. $x_{ij} \geq 0$.

Таблица 1.2 – Транспортная таблица [3]

Потребители	Поставщики						Потребности
	A ₁	A ₂	....	A _i	....	A _m	
B ₁	l_{11} $\tilde{a}_{11}$	l_{12} x_{12}	....	l_{1i} x_{1i}	....	l_{1m} x_{1m}	b_1
B ₂	l_{21} x_{21}	l_{22} x_{22}	....	l_{2i} x_{2i}	....	l_{2m} x_{2m}	b_2
....							
B _j	l_{j1} x_{j1}	l_{j2} x_{j2}	....	l_{ji} x_{ji}	....	l_{jm} x_{jm}	b_j
....							
B _n	l_{n1} x_{n1}	l_{n2} x_{n2}	....	l_{ni} x_{ni}	....	l_{nm} x_{nm}	b_n
Запасы	a_1	a_2	....	a_i	....	a_n	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

Для решения задач линейного программирования используют следующие методы: *метод северо-западного угла, метод потенциалов, симплекс-метод* и др. Более подробно данные методы описаны в [3]. Представленную транспортную задачу легко решить с помощью функции MS Excel **Поиск решения**.

1.18 Решение задач материально-технического обеспечения

Материально-техническое обеспечение (МТО) на автомобильном транспорте предназначено для своевременного приобретения, транспортировки на АТП, хранения и выдачи запасных частей и агрегатов, шин, электротехнических, эксплуатационных и других материалов с целью нормального функционирования подвижного состава и снижения его простоев при ТО и ремонте, а также рационального использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов.

В связи с колебанием спроса на запасные части и материалы целесообразно иметь их резервные запасы. Если одновременно заказать все необходимые на год запасные части, то затраты на оформление заказа и его доставку будут минимальными, а затраты на хранение — максимальными. Если же в течение года осуществлять много заказов, то затраты на доставку запчастей и материалов будут максимальными, а затраты на хранение — минимальными. Поэтому возникает оптимизационная задача минимизации суммарных затрат на МТО реального автотранспортного предприятия.

Основные причины, приводящие к необходимости образования запасов:

1. Необходимо гарантировать бесперебойность обеспечения производственного процесса, чтобы не было его остановки из-за отсутствия требуемых материально-технических ресурсов.

2. Периодичность производства отдельных единиц требуемой номенклатуры материальных ресурсов у поставщиков может быть гораздо больше периодичности их поставок, что влечет за собой изменение объема единичной поставки.

3. Особенности транспортировки от поставщика до потребителя могут влиять на объем единичной поставки (в частности, несоответствие грузоподъемности транспортных средств и размеров потребления приведет к увеличению количества поставок).

4. Несовпадение ритма потребления запасов производством и ритма поставок требуемых производственных ресурсов способно привести к прекращению производства.

Решение задачи формирования запасов необходимо осуществлять на основе наиболее подходящей математической схемы.

Наиболее простой является **однопродуктовая детерминированная задача управления запасами**. Ее суть заключается в следующем. Пусть потребность предприятия на период его работы T в каком-либо материале (например, в бензине или в дизельном топливе) составляет Q условных единиц. Расход запасов во времени происходит равномерно. Необходимо определить, каким должен быть размер поставки материала, чтобы суммарные затраты на создание и хранение запаса были минимальными.

Обозначим через C_x затраты на хранение единицы запаса в единицу времени, а через C_d — затраты на доставку партии материалов. Предположим, что затраты C_d не зависят от объема материалов в поставляемой партии. Предполагается также, что все партии состоят из одинакового числа единиц материала, а S — размер каждой партии поставок [2].

Графически процесс движения запасов в течение времени T представлен на рис. 1.17. Обозначим через t промежуток времени (период) от момента поставки партии материала до момента ее израсходования. Количество необходимых поставок для удовлетворения потребности в запасах за время T можно определить по формуле

$$n = Q/S = T/t.$$

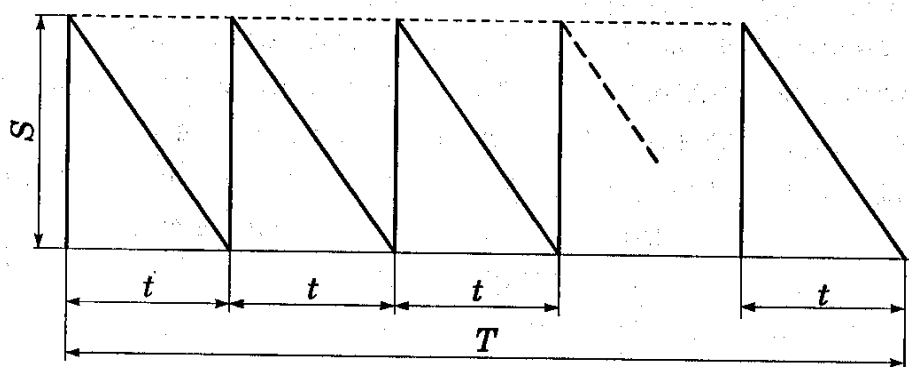


Рисунок 1.17 - График движения запасов при мгновенном времени их пополнения [3]

Так как затраты на доставку одной партии постоянны, то затраты на доставку n партий за период T будут равны

$$Y_d = n \cdot C_d = \frac{Q}{S} C_d$$

Затраты на хранение запасов за время t будут равны произведению удельных затрат на хранение единицы продукции в единицу времени (C_x) на среднее за время t количество хранимых единиц запаса ($S/2$) и на время хранения t :

$$Y_x(t) = C_x \cdot \frac{S}{2} \cdot t$$

За период T эти затраты на хранение составят

$$Y_x = Y_x(t) \cdot n = C_x \cdot \frac{S}{2} \cdot t \cdot n.$$

Поскольку $T = t \cdot n$, то получаем

$$Y_x = C_x \cdot \frac{S}{2} \cdot t \cdot n = C_x \cdot \frac{S \cdot T}{2}$$

В результате суммарные затраты на хранение и доставку запасов за период T определяются:

$$Y = \frac{S \cdot T}{2} \cdot C_x + \frac{Q}{S} \cdot C_d$$

Для достижения минимума затрат (экстремума функции Y) дифференцируем целевую функцию Y по S и, приравняв производную dY/dS нулю, получим

$$\frac{dY}{dS} = \frac{T}{2} \cdot C_x - \frac{Q}{S^2} \cdot C_d = 0$$

Отсюда определяем оптимальное значение разовой поставки материалов:

$$S_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2Q \cdot C_d}{T \cdot C_x}}.$$

Полученное выражение называется *формулой Вильсона*.

Зная $S_{\text{опт}}$, Q и T , можно определить и оптимальные моменты времени t пополнения запасов.

Существуют другие более сложные виды задач управления запасами, которые подробно рассмотрены в [3].

1.19. Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ.

Дисперсионный анализ предназначен для выявления степени влияния контролируемых факторов $X_1, X_2, \dots, X_n$ на отклик Y . При однофакторном дисперсионном анализе выявляется степень влияния одного фактора X на математическое ожидание отклика $M(Y)$. Фактор может быть количественным (пробег автомобиля) или качественным (марка моторного масла).

Задача корреляционного анализа – выявление наличия и тесноты (силы) связи между значениями различных случайных величин.

Примеры корреляционной связи: между величиной износа узла трения и пробегом автомобиля; между пределом прочности и пределом текучести стали; между твердостью и износостойкостью стали.

При выполнении корреляционного анализа по результатам эксперимента строят кор-

реляционное поле, по которому по тесноте группирования точек вокруг прямой или кривой линии можно визуально судить о наличии корреляционной зависимости (см. рис.1.18).

Силу линейной статистической связи между случайными величинами X и Y оценивают **коэффициентом корреляции** r_{XY} , 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. Силу нелинейной статистической связи между случайными величинами оценивают с помощью корреляционного отношения.

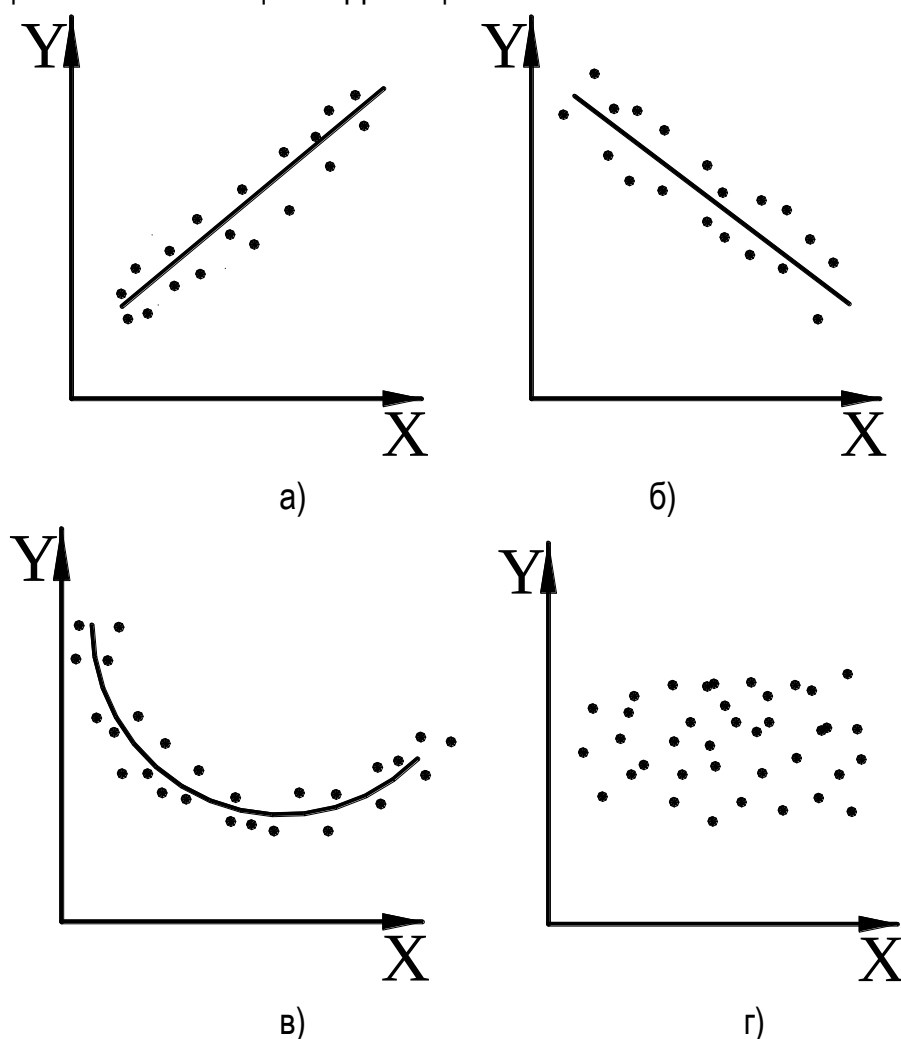


Рисунок 1.18 – Примеры корреляционных полей: а) прямая корреляционная зависимость, $r_{XY} \approx 1$; б) обратная корреляционная зависимость, $r_{XY} \approx -1$; в) нелинейная корреляционная зависимость, $r_{XY} = 0$; г) отсутствие корреляционной зависимости, $r_{XY} = 0$

Задача регрессионного анализа – установление вида и параметров зависимости отклика y от уровней одного или нескольких факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$, т.е. в результате регрессионного анализа определяют вид и параметры функции

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m),$$

Данную функцию называют **регрессионной моделью**, а ее параметры $b_0, b_1, \dots, b_m$ – **коэффициентами регрессии**.

Коэффициенты регрессии могут вычисляться с помощью *метода наименьших квадратов*, при котором коэффициенты модели определяются из условия: сумма S квадратов отклонений экспериментальных точек y_i от точек на теоретической кривой должна быть минимальной, т.е.

$$S = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m))^2 \rightarrow \min,$$

где N – количество экспериментальных точек.

Регрессионная модель позволяет определять значение отклика y по заданному значению факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$ не проводя эксперимент. Например, регрессионный анализ может использоваться для прогнозирования грузооборота или пассажирооборота автотранспортного предприятия на перспективу.

Регрессионные модели могут быть однофакторные и многофакторные, линейные и нелинейные. Примеры регрессионных моделей:

- 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 $y = b_0 + b_1 \cdot \ln x_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + b_3 \cdot \ln x_3$.

1.15 Планирование эксперимента

Планирование эксперимента – это выбор плана эксперимента, удовлетворяющего заданным требованиям. Основным требованием при планировании эксперимента является минимизация времени и числа опытов при сохранении требуемой достоверности результатов. При *активном эксперименте* уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем. **Уровень фактора** - фиксированное значение фактора относительно начала отсчета. Изменение уровней факторов происходит в соответствии с планом эксперимента. **План эксперимента** - совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов. Исследователь в каждом опыте изменяет *уровни управляемых факторов* $x_1, x_2, \dots, x_n$, воздействующих на объект исследования, и регистрирует *отклик (выходной параметр)* y . В результате проведения эксперимента необходимо определить **функцию отклика** y - зависимость математического ожидания отклика от факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m).$$

Функцию отклика называют также *моделью регрессионного анализа*.

Функция отклика должна иметь числовое выражение, четкий физический или экономический смысл, быть информативной (т.е. характеризовать свойства объекта) и измеряться с требуемой точностью. Факторы должны быть управляемыми, совместимыми, независимыми, однозначными и непосредственно влиять на отклик [3].

Планирование эксперимента обладает рядом *преимуществ* [5]:

- резко сокращается число испытаний;

- схема исследования объекта становится формализованной.
- проводится **последовательный эксперимент**, т.е. эксперимент, реализуемый в виде серий опытов, при этом условия проведения каждой последующей серии определяются результатами предыдущих
- процедура разработки математических моделей упрощается;
- точность математических моделей (их адекватность результатам эксперимента) повышается.

Планирование эксперимента в основном сводится к выбору числа уровней факторов и определению уровня каждого фактора в опыте. План, содержащий все возможные комбинации всех факторов на определенном числе уровней, называется **полным факторным планом**, а эксперимент, проводимый в соответствии с данным планом, – **полным факторным экспериментом (ПФЭ)**. 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**, т.е. преобразуют натуральные значения факторов в безразмерные. 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», среднее значение – «0». Нормализация факторов выполняется по следующей формуле

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

где x_i - нормализованное значение i -го фактора, X_i - натуральное значение i -го фактора; X_{CPI} - среднее значение i -го фактора, ΔX_i - интервал варьирования i -го фактора.

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

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

где X_1 и X_2 - два контролируемых фактора.

Для двух факторов количество опытов полного факторного плана равно $N = p^k = 2^2 = 4$. Составляют **матрицу плана** - стандартную форму записи условий проведения эксперимента в виде прямоугольной таблицы, строки которой отвечают опытам, столбцы – факторам (см. табл. 1.13).

Таблица 1.13 – Матрица полного факторного эксперимента для двух факторов

№ опыта	Нормализованные значения факторов		Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимента, y_u
	x_1	x_2	
1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	y_2
3	-1	-1	y_3
4	+1	-1	y_4

Графический план ПФЭ для двух факторов в факторном пространстве можно представить в виде квадрата (см. рис. 1.19).

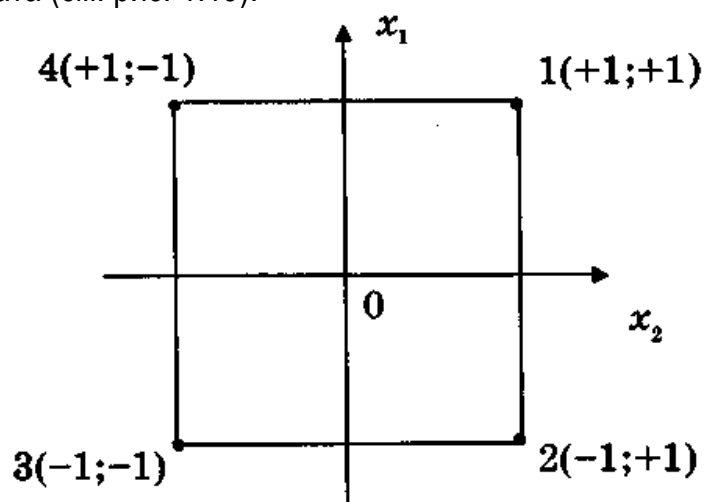


Рисунок 1.19 – Схема плана ПФЭ типа 2^2 [5]

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

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2,$$

т. е. учитывается эффект взаимодействия факторов X_1X_2 , вычисляют параметры модели и проверяют ее адекватность. Коэффициент b_{12} оценивает эффект парного взаимодействия факторов X_1 и X_2 , и показывает силу влияния одного фактора в зависимости от уровня другого. Матрица планирования эксперимента с учетом эффектов взаимодействия называется расширенной матрицей планирования (см. табл. 1.14).

Таблица 1.14 – Расширенная матрица полного факторного эксперимента для двух факторов

№ опыта u	Нормализованные значения факторов			Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимента, y_u
	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	
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 регрессионной модели определяются по формулам:

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

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

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

где N – число опытов; i, j – номера факторов; x_i, x_j – нормализованные значения факторов; Y_u – измеренное значение отклика в u -м опыте. Например, значение коэффициента b_1 определяется

$$b_1 = \frac{(+1) \cdot y_1 + (-1) \cdot y_2 + (-1) \cdot y_3 + (+1) \cdot y_4}{4}.$$

Если модель адекватна, то заканчивают эксперимент. Если модель не адекватна, то модель предполагается квадратичной в виде

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

Далее составляется план для определения параметров квадратичной модели, проводятся недостающие опыты, определяются параметры модели и проверяется ее адекватность.

Графическим представлением функции отклика является поверхность отклика (см. рис. 1.20).

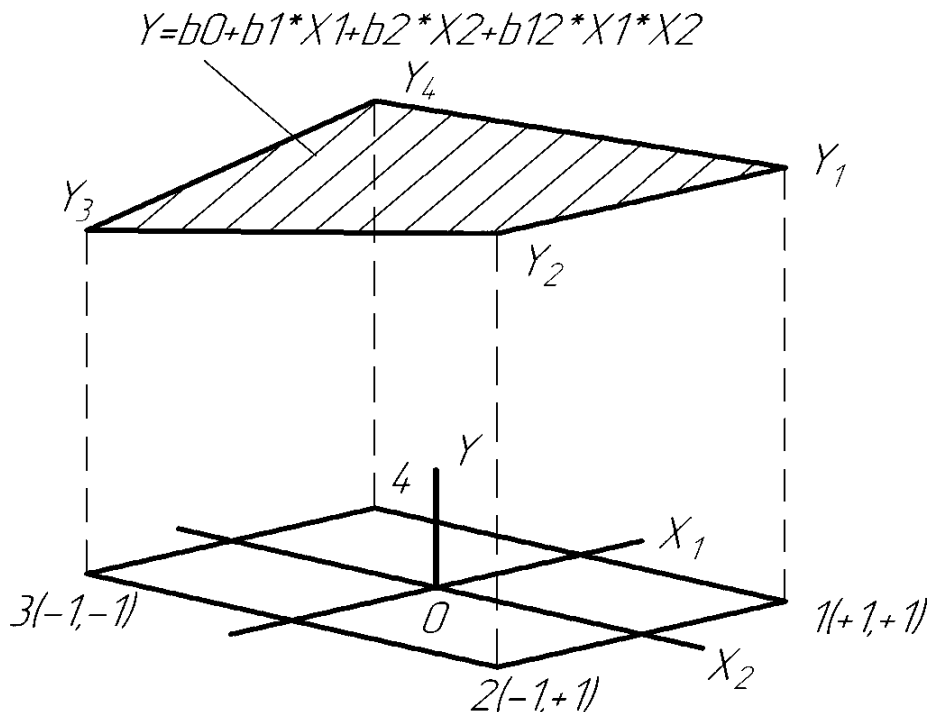


Рисунок 1.20 – Поверхность отклика $y = f(x_1, x_2)$ в факторном пространстве

После определения параметров нормализованной модели переходят к натуральной модели, с помощью которой можно определить значение отклика y по значениям факторов x_1, x_2 .

Для трех факторов количество опытов ПФЭ равно $N = 2^3 = 8$, линейная регрессионная модель имеет вид $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$, а матрица ПФЭ дана в табл. 1.15

Таблица 1.15 – Матрица полного факторного эксперимента для трех факторов

№ опыта, u	Нормализованные значения факторов			Значение отклика y_u
	x_1	x_2	x_3	
1	+1	+1	-1	y_1
2	-1	+1	-1	y_2
3	-1	-1	-1	y_3
4	+1	-1	-1	y_4
5	+1	+1	+1	y_5
6	-1	+1	+1	y_6
7	-1	-1	+1	y_7
8	+1	-1	+1	y_8

С увеличением количества факторов количество опытов полного факторного эксперимента резко возрастает. Например, для 5 факторов количество опытов ПФЭ равно $2^5=32$.

Для сокращения количества опытов при большом числе факторов используется **дробный факторный эксперимент (ДФЭ)** – это эксперимент, содержащий часть комбинаций полного факторного эксперимента.

Идея построения плана дробного факторного эксперимента заключается в замене в расширенной матрице планирования ПФЭ наиболее слабого эффекта парного взаимодействия (произведения факторов) новым фактором.

Рассмотри это на примере ДФЭ для 3 факторов. Необходимо найти по результатам активного эксперимента параметры линейной модели для 3 факторов:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3.$$

Для полного факторного эксперимента необходимое количество опытов составляет $N = 2^k = 2^3 = 8$. Для сокращения количества опытов используем дробный факторный эксперимент. Для построения плана ДФЭ в расширенной матрице планирования ПФЭ типа 2^2 (см. табл. 1.14) заменяем эффект парного взаимодействия $X_1 \cdot X_2$ новым фактором X_3 . Необходимое количество опытов ДФЭ составит $2^{3-1} = 4$ вместо 8 для ПФЭ (см. табл. 1.15). Параметры модели определяются как же, как и для ПФЭ.

Таблица 1.15 - Матрица планирования ДФЭ для 3 факторов (полуреплика 2^{3-1})

№ опыта, u	Нормализованные значения факторов			Значение отклика y_u
	x_1	x_2	x_3	
1	+1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	-1	y_2
3	-1	-1	+1	y_3
4	+1	-1	-1	y_4

При составлении плана ДФЭ наиболее распространены регулярные дробные реплики, которые получают делением числа опытов соответствующего ПФЭ на число, кратное двум. Составляю дробные реплики заменой некоторых эффектов взаимодействия новыми факторами. Минимальная дробная реплика для построения линейной модели должна включать $(k+1)$ опытов, где k – число факторов.

Раздел 2 Инновационная деятельность

2.1 Законом Республики Беларусь «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь».

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425-3 (ред. от 06.01.2022 № 152-3) «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь» направлен на определение правовых и организационных основ государственной инновационной политики и инновационной деятельности в Республике Беларусь.

В законе используются следующие основные термины

новшество – результат интеллектуальной деятельности (новое знание, техническое или иное решение, экспериментальный или опытный образец и др.), обладающий признаками новизны по сравнению с существующими аналогами для определенного сегмента рынка, практической применимости, способный принести положительный экономический или иной полезный эффект при создании на его основе новой или усовершенствованной продукции, новой или усовершенствованной технологии, новой услуги, нового организационно-технического решения;

инновация – введенные в гражданский оборот или используемые для собственных нужд новая или усовершенствованная продукция, новая или усовершенствованная технология, новая услуга, новое организационно-техническое решение производственного, административного, коммерческого или иного характера;

инновационная деятельность – деятельность по преобразованию новшества в инновацию;

инновационный проект – комплекс работ, направленных на преобразование новшества в инновацию;

научно-технологический парк (далее – технопарк) – субъект инновационной инфраструктуры, целью деятельности которого являются содействие развитию предпринимательства в научной, научно-технической, инновационной сферах и создание условий для осуществления юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, являющимися резидентами технопарка, инновационной деятельности;

национальная инновационная система – совокупность государственных органов, иных государственных организаций, регулирующих в пределах своей компетенции отношения в сфере инновационной деятельности, юридических и физических лиц, в том числе индивидуальных предпринимателей, осуществляющих и (или) обеспечивающих инновационную деятельность;

венчурная организация – коммерческая организация, являющаяся субъектом инновационной инфраструктуры, предмет деятельности которой состоит в финансировании инновационной деятельности;

венчурный проект – инновационный проект, финансирование которого осуществляет венчурная организация;

государственная инновационная политика – составная часть государственной социально-экономической политики, представляющая собой комплекс осуществляемых государством организационных, экономических и правовых мер, направленных на регулирование инновационной деятельности;

инновационная инфраструктура – совокупность субъектов инновационной инфраструктуры, осуществляющих материально-техническое, финансовое, организационно-методическое, информационное, консультационное и иное обеспечение инновационной деятельности;

трансфер технологий – комплекс мероприятий, направленных на передачу новшеств из сферы их получения (разработки) в сферу практического использования;

центр трансфера технологий – субъект инновационной инфраструктуры, целью деятельности которого является обеспечение трансфера технологий.

Целью государственной инновационной политики в Республике Беларусь является создание благоприятных социально-экономических, организационных и правовых условий для инновационного развития и повышения конкурентоспособности национальной экономики.

Основными задачами государственной инновационной политики являются:

- обеспечение экономического и социального развития Республики Беларусь за счет эффективного использования интеллектуальных ресурсов общества;
- обеспечение правового регулирования, стимулирующего инновационное развитие национальной экономики;
- формирование и комплексное развитие национальной инновационной системы, обеспечение ее интеграции в мировую инновационную систему с учетом национальных интересов;
- создание благоприятных условий для осуществления инновационной деятельности, в том числе для вложения инвестиций в данную сферу и др.

Компонентами **национальной инновационной системы** являются:

- республиканские органы государственного управления, иные государственные организации, регулирующие в пределах своей компетенции отношения в сфере инновационной деятельности;
- субъекты инновационной деятельности;
- субъекты инновационной инфраструктуры;
- учреждения образования, обеспечивающие подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров в сфере инновационной деятельности;
- иные юридические и физические лица, осуществляющие и (или) обеспечивающие инновационную деятельность.

Формирование и комплексное развитие национальной инновационной системы осуществляются на основании **государственной программы инновационного развития Республики Беларусь**.

Государственное регулирование инновационной деятельности осуществляется в форме:

- принятия (издания) нормативных правовых актов в сфере инновационной деятельности;
- подготовки и реализации программ инновационного развития;
- организации прогнозирования технологического развития;
- осуществления технического нормирования и стандартизации;
- в иных формах, предусмотренных законодательством.

Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь формируется сроком на пять лет и после утверждения Президентом Республики Беларусь является основным документом, обеспечивающим реализацию основных направлений государственной инновационной политики.

Инновационная деятельность может включать в себя:

- выполнение научно-исследовательских работ, необходимых для преобразования новшества в инновацию;
- разработку новой или усовершенствованной продукции, новой или усовершенствованной технологии, создание новых услуг, новых организационно-технических решений;
- выполнение работ по подготовке и освоению производства новой или усовершенствованной продукции, освоению новой или усовершенствованной технологии, подготовке применения новых организационно-технических решений;
- производство новой или усовершенствованной продукции, производство продукции на основе новой или усовершенствованной технологии;
- введение в гражданский оборот или использование для собственных нужд новой или усовершенствованной продукции, новой или усовершенствованной технологии, новых услуг, новых организационно-технических решений;
- иную деятельность, направленную на преобразование новшества в инновацию.

Инновационные проекты могут выполняться самостоятельно или быть составной частью программ инновационного развития, научно-технических программ, государственных, отраслевых, региональных и межгосударственных программ.

К субъектам инновационной инфраструктуры относятся:

- технопарки;
- центры трансфера технологий;
- венчурные организации;
- иные юридические лица в случаях, предусмотренных законодательными актами.

Финансирование инновационной деятельности может осуществляться за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, внешних государственных займов, кредитов, собственных средств юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, а также за счет иных источников в соответствии с законодательством.

2.2 Этапы инновационного процесса

Инновационный процесс включает следующие базовые этапы:

1. Фундаментальные исследования. *Фундаментальные исследования* не предполагают непосредственного внедрения полученных результатов в производство, а для своей конкретизации требуют проведения специализированных *прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР)*. Отличительной особенностью данной стадии также является то, что она достаточно редко выполняется са-

мими предприятиями-изготовителями новой продукции (исключение составляют только крупные промышленные компании), а в большинстве случаев реализуется силами специализированных исследовательских организаций – *научно-исследовательских институтов (НИИ)*.

2. Прикладные НИОКР. В рамках данной стадии инновационного процесса проводится детализация полученных ранее фундаментальных закономерностей и изучение возможностей их практического применения в конкретном производстве. Прикладные НИОКР могут выполняться как силами исследовательских подразделений самого предприятия (его лабораториями, опытно-конструкторскими службами и т.д.), так и специализированными НИИ и конструкторских бюро (КБ).

3. Маркетинговые исследования потенциального рынка. На данной стадии изучается возможность успешной коммерциализации результатов проведенных НИОКР. Реализация данной стадии может проводится как силами собственных маркетинговых служб предприятия, так и с помощью специализированных консалтинговых организаций.

4. Подготовка производства. Этап подготовки производства принято делить на три основные подэтапа:

- **конструкторская подготовка производства** - разработка рабочей документации на продукцию,
- **технологическую подготовку производства** – разработка технологической документации (технологических процессов производства новой продукции);
- **организационную подготовку производства**, целью которой является планирование и организация нового производственного процесса.

5. Освоение новой продукции. На данной стадии осуществляется апробация разработанной конструкции нового изделия и технологии его изготовления в опытном производстве, проводятся испытания, по результатам которых вносятся корректировки в исходную техническую документацию.

6. Производство и коммерциализация новой продукции. В рамках данной стадии производственные мощности предприятия загружаются под изготовление новой продукции, а также начинается его выведение на целевые сегменты рынка.

Жизненный цикл продукции представлен на рис. 2.2.

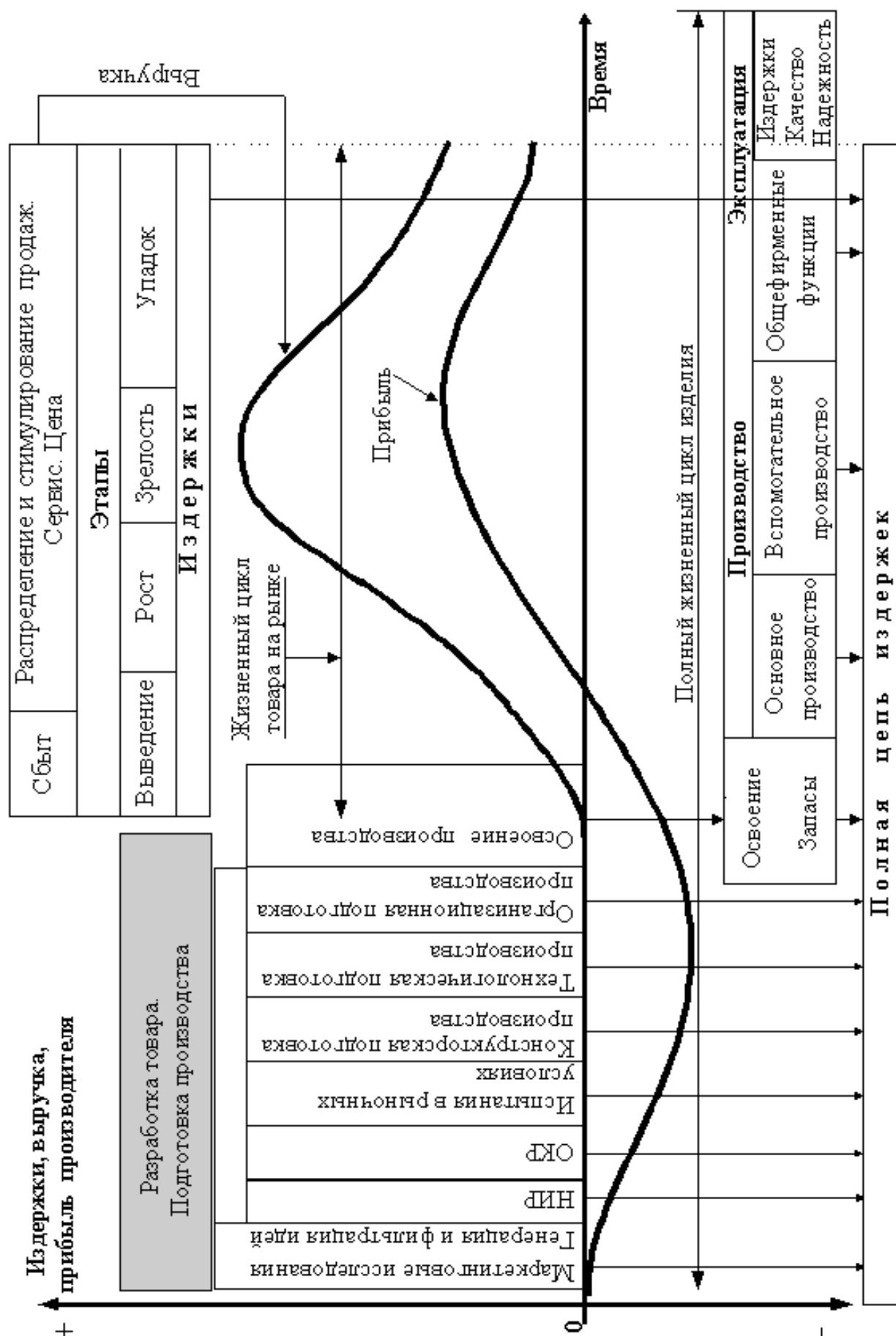


Рисунок 2.2 – Жизненный цикл изделия

2.3 Инновационные стратегии предприятия

Инновационная стратегия предприятия представляет собой укрупненный план его поведения в сфере инновационной деятельности.

В зависимости от своей направленности различают следующие инновационные стратегии.

Наступательные инновационные стратегии обеспечивают реализацию общей стратегии интенсивного роста и нацелены на увеличение присутствия предприятия в наиболее перспективных секторах рынка за счет вытеснения из этих секторов имеющихся конкурентов. Такие стратегии в большинстве случаев реализуются за счет крупномасштабных инновационных разработок, основывающихся на стратегически значимых НИОКР и приводящих к установлению технологического и (или) продуктового лидерства предприятия.

Защитные инновационные стратегии ориентированы на поддержание уже достигнутых позиций предприятия за счет упреждения действий конкурентов по расширению их рыночных долей. Основой данной стратегии являются периодически осуществляемые средне- и краткосрочные инновационные разработки, обеспечивающие сокращение затрат и (или) добавление новых потребительски значимых свойств уже выпускающимся видам продукции.

В зависимости от интенсивности инновационной деятельности различают следующие инновационные стратегии.

Активная инновационная стратегия предполагает, что на «максимуме» технологического уровня, достигнутого за счет базовой инновации, предприятие должно реализовать следующее стратегически значимое нововведение (развивающую инновацию), которое также, как и базисная инновация, приведет к существенному повышению технологического уровня производства или расширению рыночных позиций

Пассивные инновационные стратегии имеют защитный характер и предполагают периодическое (по мере необходимости) осуществление предприятием относительно небольших средне- и краткосрочных нововведений, обеспечивающих поддержание достигнутых конкурентных преимуществ.

Стагнационные стратегии используются предприятиями в сокращающихся отраслях, а также предприятиями, не располагающими значимым инновационным потенциалом и потому не способными систематически осваивать инновационные

разработки. Суть стратегии состоит в том, чтобы в максимальной степени использовать преимущества, предоставляемые базисной инновационной разработкой, после чего постепенно свернуть деятельность в рассматриваемой стратегической зоне хозяйствования (СЗХ).

В зависимости от способа своей реализации различают следующие инновационные стратегии.

Стратегия технологического (продуктового) лидерства основывается на систематическом осуществлении предприятием широкого спектра крупномасштабных инновационных разработок по освоению новых ключевых технологий или выведению на рынок принципиально новых видов продукции. Как правило, данная стратегия используется крупными промышленными компаниями, уже являющимися национальными отраслевыми лидерами и реализующими свою продукцию на международном рынке.

Стратегия технологической (продуктовой) ниши состоит в специализации инновационной деятельности предприятия на ограниченном количестве ключевых технологий или рыночных секторов с целью достижения конкурентных преимуществ за счет удовлетворения специфических потребностей целевых групп клиентов. Данная стратегия обычно используется предприятиями, располагающими достаточным инновационным потенциалом, однако имеющими относительно небольшие масштабы своей деятельности, в силу чего не способными эффективно конкурировать с общеотраслевыми лидерами в широком спектре рыночных секторов.

Стратегия имитации предполагает быстрое освоение предприятием отраслевых новинок в продуктовой или технологической областях без проведения собственных значительных НИОКР за счет копирования новаторских идей отраслевых лидеров. Данная стратегия обычно выбирается теми предприятиями, которые обладают гибкой хорошо развитой производственной базой и высококвалифицированным персоналом, однако не способными (ими не желающими) самостоятельно выполнять необходимый комплекс НИОКР. Важным условием эффективности данной стратегии является наличие у предприятия развитых маркетинговых подразделений, а также служб технологической разведки.

Стратегия создания совместных предприятий обычно используется теми предприятиями, которые в результате выполнения собственных НИОКР достигли значительного открытия (сильной технологической позиции), однако не имеют достаточных ресурсов для его успешной коммерциализации. Основными субъектами данной стратегии являются малые инновационные предприятия, а также различного рода научно-исследовательские организации. Их интеграция в СП совместно

с крупными промышленными компаниями обеспечивает возможность эффективно реализовать все стадии инновационного процесса.

Стратегия зависимости заключается в том, что предприятие отказывается от выполнения самостоятельных НИОКР и ограничивается внедрением новых технологий или видов продукции, разрабатываемых вне его самого и передаваемых ему на основе договоров **франчайзинга** или лицензионных соглашений. Как правило, данная стратегия используется предприятиями, не сумевшими самостоятельно обеспечить себе прочные рыночные позиции и не обладающими достаточным инновационным потенциалом. Основным внешним условием выбора данного типа инновационной стратегии является «зрелый» характер отрасли и стабильность ее основных технологий. **Франчайзинг, коммерческая концессия, франшиза** (от фр. franchir, «освобождать») — вид отношений между рыночными субъектами, когда одна сторона (франчайзер) передает другой стороне (франчайзи) за плату (роялти) право на определённый вид бизнеса, используя разработанную бизнес-модель его ведения.

Стратегия лицензирования обычно используется предприятиями, контролирующими значительную долю отраслевого рынка, обладающими потенциально эффективными новыми разработками, однако функционирующими в условиях сокращающегося рынка. В этом случае, основной доход от инновационной деятельности предприятия обеспечивается за счет реализации лицензии на новые разработки тем предприятиям отрасли, которые придерживаются стратегии зависимости.

2.4 Содержание и особенности технологического трансфера

Технологический трансфер - система экономических отношений, посредством которых осуществляется передача объектов нематериальных активов (НМА), связанных с результатами различных инновационных разработок, от одного субъекта рынка к другому.

Типовые стратегии технологического трансфера

Стратегия передачи/получения патентов на инновационную разработку — является наиболее радикальной и предполагает реализацию сделок по купле-продаже всех исключительных прав, устанавливаемых патентом.

Стратегия передачи/получения лицензий на патентуемые виды промышленной собственности — предполагает реализацию сделок по купле-продаже лицензий на право использования в производственно-хозяйственной деятельности

предприятия-реципиента изобретений, промышленных образцов, полезных моделей и т.д. предприятия-патентообладателя.

Стратегия передачи/получения лицензий на непатентуемые виды промышленной собственности (ноу-хау).

Стратегия передачи/получения технологий в материализованном виде — предполагает реализацию сделок по купле-продаже оборудования, агрегатов, средств технологического оснащения, в которых воплощены результаты выполненных предприятием-патентообладателем инновационных разработок.

Стратегия перекрестного лицензирования — основана на взаимном (бартерном) обмене предприятий-участников транзакции лицензиями на использование принадлежащих им запатентованных технологических разработок.

Стратегия технологического инвестирования — предполагает инвестирование объектов НМА в создаваемые филиалы материнской компании или совместные предприятия.

Стратегия научно-производственного кооперирования — предполагает участие предприятий в выполнении совместных НИОКР или в процессах некоммерческого технологического трансфера.

2.5 Оценка эффективности продуктовых инновационных проектов

Основные эффекты от инновационной деятельности можно разделить на следующие группы:

- 1) *Экономические эффекты* (прирост дохода от инновационного проекта; повышение конкурентоспособности продукции; улучшение рыночной позиции предприятия);
- 2) *Научно-технические эффекты* (прирост научно-технического и интеллектуального потенциала; повышение организационного уровня производства);
- 3) *Социальные эффекты* (рост доходов работников; увеличение числа рабочих мест; улучшение условий труда; повышение квалификации работников);
- 4) *Экологические эффекты* (повышение экологичности выпускаемой продукции; сокращение экологической опасности производства)

Продуктовые инновационные проекты способны напрямую порождать доходы от своей реализации, что дает возможность оценивать эффективность таких проектов путем сопоставления проектных доходов с величинами проектных затрат.

Статические методы (критерии) оценки экономической эффективности

Срок окупаемости T_o – это продолжительность периода времени, за который доходы по проекту $D(t)$ покроют затраты на реализацию проекта $З(t)$, т.е. срок окупаемости T_o – это минимальное значение T , для которого

$$\sum_{t=1}^T D(t) \geq \sum_{t=1}^T З(t).$$

Преимуществом этого метода является его простота, что позволяет более быстро оценивать проекты в условиях дефицита ресурсов. Часто этот показатель служит в качестве ограничения (срок окупаемости должен быть не больше определенного периода).

Рентабельность инвестиций ROI (return on investment) равна отношению суммы прибыли или убытков к сумме инвестиций за период T . При расчете рентабельности инвестиций в годовом исчислении используют формулу

$$ROI = \frac{\sum_{t=1}^T (D(t) - З(t))}{T \cdot \sum_{t=1}^T З(t)},$$

где $t = 1, 2, \dots, T$; T - год выхода проекта на полную производственную мощность.

Величина, рассчитанная по этому методу, показывает, какая часть инвестиционных затрат возмещается в виде прибыли в течение одного интервала планирования. Часто сопоставление этой величины со средним уровнем доходности капитала приводит к заключению о целесообразности реализации проекта.

Дисконтированные критерии экономической эффективности

Поскольку большинство продуктовых инноваций являются долгосрочными, то необходимо использовать *дисконтированные критерии экономической эффективности*. Дисконтированные критерии учитывают разную ценность денег во времени. *Дисконтирование* предполагает приведение стоимостных оценок возникающих в рамках проекта финансовых потоков к единой базе (обычно - моменту начала реализации проекта) с помощью специальных поправочных коэффициентов, называемых коэффициентами дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования определяется

$$K_d = \frac{1}{(1+r)^t},$$

где r – ставка дисконтирования (дисконта) по проекту, доли единиц; t – временной период реализации проекта ($t = 1, 2, \dots$).

В общем виде **ставка дисконта** r может быть представлена как

$$r = IR + MRR \cdot RI,$$

где **IR (inflation rate)** – темп инфляции, **MRR (minimal rate of return)** – минимальная реальная норма прибыли, т.е. минимальная норма прибыли, получаемая при альтернативном использовании денежных средств, **RI (risk of investments)** – коэффициент, учитывающий степень инвестиционного риска.

При разработке конкретных инвестиционных проектов ставка дисконта полагается равной кредитному проценту (альтернативной стоимости капитала). Многие фирмы определяют ставку дисконта, исходя из усредненных процентных ставок по долгосрочным банковским кредитам.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) NPV (net present value) – базовый показатель оценки эффективности долгосрочных инновационных проектов, показывающий общую сумму накопленной за весь период реализации проекта чистого дохода, приведенной к единой базе с помощью дисконтирования:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{D(t)}{(1-r)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{3(t)}{(1-r)^t},$$

где $t = 1, 2, \dots, T$; T - продолжительность жизненного цикла проекта; $D(t)$ – планируемый доход по проекту для периода t ; $3(t)$ - планируемые затраты по проекту для периода t .

Чем выше ставка дисконта r , тем отдаленные выгоды оказывают меньшее влияние на NPV. При принятии инвестиционного решения отдается предпочтение проектам, для которых значение ЧДД положительное, т.е. $NPV > 0$. При сравнении альтернативных проектов экономически более выгодным считается проект с наибольшей величиной ЧДД. Отрицательное значение этого показателя свидетельствует о неэффективности вложения денежных средств (норма доходности меньше необходимой).

Индекс рентабельности PI (profitability index) – относительный показатель, характеризующий уровень превышения дисконтированных доходов от реализации проекта над дисконтированными проектными расходами:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{D(t)}{(1-r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{3(t)}{(1-r)^t}}.$$

Принимаются проекты, для которых $PI > 1$.

Внутренняя норма доходности IRR (internal rate of return) - это процентная ставка, при которой чистый дисконтированный доход (NPV) равен 0.

IRR равно такому значению ставки дисконта r , при котором $NPV = 0$, т.е.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{D(t)}{(1-IRR)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{3(t)}{(1-IRR)^t} = 0.$$

При принятии инвестиционного решения *внутренняя норма доходности* позволяет инвестору оценить целесообразность вложения средств в данный проект. Если банковская ставка больше IRR, то положив деньги в банк, инвестор может получить большую прибыль. Экономический смысл IRR заключается в том, что он определяет темп роста капитала, инвестированного в данный проект.

Динамический срок окупаемости проекта равен периоду времени, за который накопленная величина дисконтированных доходов по проекту покрывает накопленную сумму его затрат и проект выходит в прибыльную зону своей реализации

Список использованных источников

1. Инновационный менеджмент: Учебник для вузов / Абрамешин А.Е., Воронина Т.П., Молчанова О.П., Тихонова Е.А., Шленов Ю.В.; Под редакцией д-ра экон. наук, проф. О.П. Молчановой. - М.: Вита-Пресс, 2001. - 272 с.: ил.
2. Карпенко, Е.М. Инновационный менеджмент: ответы на экзаменац. вопр. / Е.М. Карпенко, С.Ю. Комков. — Минск : ТетраСистемс, 2008. — 176 с.
3. Коваленко, Н. А. Научные исследования и решение инженерных задач в сфере автомобильного транспорта: учеб. пособие / Н. А. Коваленко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФА-М, 2011 – 271 с.: ил.
4. Кудрявцев Е. М. K88 GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил. (Серия «Проектирование»).
5. Научные исследования и решение инженерных задач: Учебн. пособие/ С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003.
6. 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.
7. Шевченко, Д. Н. Имитационное моделирование на GPSS : учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / Д. Н. Шевченко, И. Н. Кравченя ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 97 с.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«Брестский государственный технический университет»**

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»
Часть 1**



Брест 2012

УДК 629.331.08

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1- 37 01 07 «Автосервис», часть 1 содержат методику выполнения оптимизации средств обслуживания автомобилей с использованием системы имитационного моделирования GPSS Word.

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

Рецензент:

© Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет» 2012

Решение задач технической эксплуатации автомобилей методами имитационного моделирования

1 Основные понятия

Имитационное моделирование воспроизводит процесс функционирования объекта (системы) во времени, при этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Имитационное моделирование позволяет по исходным данным получить сведения о состоянии процесса в определенные моменты времени.

Имитационное моделирование на ЭВМ позволяет получать наглядную картину поведения системы, рассматривать различные варианты модели, отвечающие различным сторонам функционирования системы и возможным структурным преобразованиям, получать значения необходимых количественных характеристик. Поэтому имитационное моделирование в настоящее время получает все большее распространение в исследовании сложных технических систем и технологических процессов. Имитационное моделирование **целесообразно** применять [2]:

- не существует законченной математической постановки задачи либо еще не разработаны аналитические методы решения сформулированной задачи;
- аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;
- кроме оценки определенных параметров, требуется осуществить наблюдение за ходом процесса функционирования системы в течение некоторого времени. При этом имитационное моделирование дает возможность полностью контролировать время изучения системы.

Важными **ограничениями** имитационного моделирования является то, что [2]:

- оно не предоставляет непосредственного решения математических задач, что характерно для аналитических методов. Оно служит в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором;
- разработка хорошей имитационной модели (ИМ) часто обходится дороже создания аналитической модели и требует наличия квалифицированных специалистов и больших затрат времени;
- при использовании ИМ применяются многочисленные методы статистического анализа данных, что усложняет исследование.

Имитационная модель (ИМ) – это формальное описание логики функционирования исследуемой системы во времени, учитывающее наиболее существенные взаимодействия ее элементов и обеспечивающее возможность проведения статистических экспериментов.

2 Имитационное моделирование в среде GPSS World [1,2]

Пакет GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения) предназначен для имитационного моделирования дискретных систем и входит в число наиболее распространенных и используемых на практике средств автоматизации имитационного моделирования. Одна из последних версий пакета GPSS для персональных компьютеров, работающих под управлением операционной системы

Windows, называется GPSS World. Система GPSS World позволяет моделировать *системы массового обслуживания* (СМО).

Система массового обслуживания – это совокупность последовательно связанных между собой входящих потоков требований на обслуживание (автомобилей, заявок, пользователей и т.д.), очередей, каналов обслуживания (станций технического обслуживания, зон технического обслуживания, текущего ремонта автотранспортных предприятий и т.д.) и выходящих потоков требований после обслуживания (обслуженные или отремонтированные автомобили).

Входящий поток требований – это последовательность входящих требований, нуждающихся в обслуживании в системе и подчиняющихся определенному закону.

Выходящий поток требований – это последовательность выходящих требований, обслуженных в системе и подчиняющихся определенному закону.

Требование (транзакт) – это объект, поступающий в систему и нуждающийся в определенном обслуживании в данной системе. Требование является активным элементом в моделируемой системе. Под требованием можно понимать сообщение, автомобиль, изделие, информацию и т.д.

Канал обслуживания (или обслуживающий аппарат) – устройство, в котором выполняется обслуживание требования. Основным параметром канала обслуживания является время обслуживания, которое, как правило, является случайной величиной. Могут быть одно- и многоканальные устройства.

Имитационная модель СМО – это модель, отражающая поведение системы и изменения ее состояния во времени при заданных потоках требований, поступающих на входы системы. Параметры входных потоков требований – внешние параметры СМО. Выходными параметрами являются величины, характеризующие свойства системы – качество ее функционирования, – например такие, как:

- коэффициенты использования каналов обслуживания;
- максимальная и средняя длина очередей в системе;
- время нахождения требований в очередях и каналах обслуживания и т.д.

Имитационное моделирование позволяет исследовать СМО при различных типах входных потоков и разной интенсивности поступления требований в систему, а также различных дисциплинах обслуживания требований.

При имитационном моделировании выделяют три представления времени: реальное, модельное (системное) и машинное время.

Реальное время – это время, в котором происходит функционирование моделируемой системы в реальной жизни, например час, смена, год.

Модельное (системное) время – это время, в котором происходит функционирование моделируемой системы при проведении имитационного моделирования на ЭВМ. В системном времени выполняются следующие действия:

- осуществляется переход моделируемой системы из одного состояния в другое;
- выполняется синхронизация работы всех компонент имитационной модели;
- обеспечивается управление ходом имитационных экспериментов;
- обеспечивается параллельная реализация событий в моделируемой системе.

Машинное время – это время, отражающее затраты времени ЭВМ на проведение имитационного моделирования.

Система моделирования GPSS World основана на переходе требований (транзактов) от блока к блоку (от оператора к оператору) в определенные моменты времени, что называется событием. *Событие* – это нечто, меняющее статус связанных с ним состояний системы. События соответствуют конкретным изменениям в реальной системе: требование появилось, требование вошло в очередь, требование обслуживается и т.д.

Основные объекты GPSS

Транзакты описывают единицы исследуемых потоков (заявки; требования на обслуживание; автомобили, требующие проведения ТО, ТР). Транзакты движутся от блока к блоку так, как движутся элементы, которые они представляют. Каждое продвижение транзакта инициирует в модели некоторые события (например, занятие поста ТО). События обрабатываются GPSS в соответствующий момент модельного времени. Содержательное значение транзактов определяет разработчик модели. Именно он устанавливает аналогию между транзактами и реальными динамическими элементами моделируемой системы, например транзакт соответствует автомобилю, который обслуживается в зоне технического обслуживания (ТО) автотранспортного предприятия (АТП).

Блоки задают логику функционирования ИМ системы и определяют пути движения транзактов. Практически все изменения состояний ИМ (события) происходят в результате входа транзактов в блоки и выполнения блоками своих функций. Основные функции блоков следующие: создание (генерация) и уничтожение транзактов; задержка транзакта на определенный интервал времени; изменение маршрута движения транзакта.

Одноканальные устройства (Facility) описывают оборудование, которое в любой момент времени может быть занято только одним транзактом (например, пост ТО, на котором может обслуживаться только один автомобиль). Одноканальные устройства в GPSS обеспечивают сбор основной статистической информации о своем функционировании.

Многоканальные устройства (Storage) описывают оборудование, которое может использоваться несколькими транзактами одновременно (например, ими может моделироваться зона ТО, состоящая из нескольких постов; АЗС с несколькими колонками). Многоканальные устройства обеспечивают сбор статистической информации о своем функционировании.

Очереди (Queue) обеспечивают сбор основной статистической информации о времени задержки транзактов из-за занятости оборудования.

Все объекты в GPSS имеют свойства, называемые **стандартными числовыми атрибутами (СЧА)**. А свойства ИМ в целом в GPSS называются **системными числовыми атрибутами**. Каждый объект GPSS имеет свой набор СЧА.

Логические ключи используются для блокировки или изменения направления движения транзактов в зависимости от ранее наступивших в модели событий.

Арифметические переменные позволяют вычислять арифметические выражения, в том числе с числовыми атрибутами объектов. В выражениях могут быть использованы функции.

Логические переменные позволяют проверять несколько условий, исходя из состояний или значений СЧА объектов, например, для описания условий, определяющих движение транзактов.

Функции позволяют задавать функциональные зависимости между несколькими переменными, а также переменной и СЧА объектов.

Таблицы предназначены для сбора статистической информации о случайных величинах, заданных пользователем. Таблица состоит из частотных групп, в которые заносится число попаданий заданной случайной величины (переменной или СЧА). Для каждой таблицы автоматически вычисляется математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение значений.

Ячейки и матрицы сохраняемых величин используются для сохранения некоторой числовой информации.

2.1 Создание имитационной модели на языке GPSS

Операторы GPSS. Правила записи операторов языка GPSS

Программа имитационного моделирования на языке GPSS представляет собой последовательность операторов – текстовых строк описания:

- объектов исследуемой системы;
- блоков модели, которые имитируют функционирование элементов системы;
- команд управления моделированием.

Строка оператора GPSS состоит из следующих полей, разделяемых знаком «пробел»:

Номер строки	Поле метки	Поле операции	Поле операндов	Поле комментариев
			A, B, C, D, E, F, G, H	;

Поле «**номер строки**» необязательное. Содержимым поля может быть любое десятичное число из семи символов, в том числе и дробное.

Содержимое **поля метки** зависит от типа оператора. В операторах описания объектов содержимым поля является *имя объекта*, в операторах блоков – *метка*, в управляющих операторах поле *метки пусто*.

Поле операции содержит символическое обозначение оператора.

Содержимое **поля операндов** для разных операторов отличается количеством (от 0 до 8) и назначением операндов. Если при записи оператора пропускаются необязательные параметры, то их отсутствие отмечается запятой.

Поле комментариев (необязательное) содержит информацию, поясняющую назначение оператора, отделяется от прочих полей точкой с запятой.

Команды управления моделированием

Для задания условий моделирования, таких как продолжительность моделирования, число повторных прогонов ИМ, порядок и условия сбора статистики в GPSS World используются управляющие команды: **SIMULATE, START, RESET, CLEAR, HALT, CONTINUE, STEP, STOP**. Команды могут быть включены в текст ИМ или выбраны в пункте **Command** главного меню GPSS. Поступившие команды выстраиваются в очередь и выполняются одна за другой, пока этот процесс не будет приостановлен или пока не будут выполнены все команды.

Команды **SIMULATE** и **START** указывают условия завершения процесса моделирования (моделирование в течение заданного интервала реального времени, или в течение заданного интервала модельного времени, или по окончании обслуживания заданного числа транзактов) и имеют следующий вид:

SIMULATE [A]

A – число минут реального времени, по истечении которого моделирование будет завершено и на экран будет выведена накопленная к данному моменту статистическая информация. Если команда отсутствует или поле A пусто, то завершение моделирования определяется другими условиями.

START A

A – начальное значение счетчика завершений. Моделирование завершается, когда счетчик завершений примет нулевое или отрицательное значение. Значение счетчика завершений уменьшается при поступлении транзактов в блок **TERMINATE** на величину, указанную в блоке **TERMINATE**.

Работа с транзактами

Для создания транзактов и моделирования их поступления в модель предназначен блок **GENERATE**, который имеет следующий формат:

GENERATE A,[B],[C],[D],[E],[F],[G],[H],[I]

A – среднее значение интервала времени между моделируемыми транзактами (по умолчанию – 0); B – величина разброса возможных значений времени; C – модельное время генерации первого транзакта; D – максимальное количество моделируемых транзактов; E – приоритет транзактов (по умолчанию – 0, т.е. самый низкий приоритет); F,..., I – количество и формат параметров транзактов.

Если транзакт начал свое движение, он передвигается от блока к блоку по пути, указанному блок-схемой (логикой работы модели). В тот момент, когда транзакт входит в блок, вызывается соответствующая этому блоку подпрограмма. Далее транзакт пытается войти в следующий блок.

Для задержки транзактов в течение заданного интервала модельного времени используется блок **ADVANCE**.

Формат блока: **ADVANCE A, [B]**

Операнды A и B аналогичны соответствующим операндам блока **GENERATE**.

Для удаления транзактов из модели используется блок **TERMINATE**, который имеет следующий вид:

TERMINATE [A]

Операнд A указывает число (по умолчанию – 0), на которое уменьшается содержимое счетчика завершений, значение которого задается командой **START**.

Работа с обслуживающими устройствами

Для моделирования работы *одноканальных устройств* систем массового обслуживания в GPSS предназначены блоки **SEIZE**, **RELEASE**. Занятие транзактом одноканального устройства моделируется блоком **SEIZE**, а его освобождение – блоком **RELEASE**:

SEIZE A

RELEASE A

A – имя устройства, занимаемого (освобождаемого) транзактом;

Пара блоков **SEIZE**–**RELEASE** могут работать с одними и теми же устройствами.

Для моделирования *многоканальных устройств* систем массового обслуживания в GPSS предназначены блоки **ENTER** и **LEAVE**. Занятие транзактом одного из приборов многоканального устройства моделируется блоком **ENTER**, а его освобождение – блоком **LEAVE**:

ENTER A,[B]

LEAVE A,[B]

А – имя многоканального устройства, занимаемого (освобождаемого) транзактом; В – число занимаемых (освобождаемых) приборов многоканального устройства (по умолчанию – 1).

При работе с многоканальными устройствами необходимо предварительно указать количество приборов устройства с помощью оператора

A STORAGE B

А – имя многоканального устройства; В – количество приборов многоканального устройства.

Работа с очередями

Для сбора и обработки статистики по очередям используются блоки **QUEUE** и **DEPART**. Блок может быть установлен в любой точке программы, в котором предполагается возникновение очереди, и имеет следующий формат:

QUEUE A,[B]

А – имя очереди, в которую заносится транзакт; В – число мест в очереди, занимаемых транзактом.

Блок **DEPART** освобождает требуемое число мест в очереди при вхождении в него транзакта. Формат блока:

DEPART A,[B]

Операнды А и В определяются аналогично блоку **QUEUE**.

Управление перемещением транзактов. Работа с логическими ключами

Блок **TRANSFER** изменяет маршрут движения транзактов в зависимости от значения первого операнда (в основном или альтернативном направлении) при определенном состоянии оборудования: обслуживающих устройств, очереди, логических ключей и т.п.:

TRANSFER [A],B,[C],[D]

А – режим перехода; В – метка первого альтернативного блока; С – метка второго альтернативного блока; D – константа, используемая для относительной переадресации транзактов.

Если операнд А блока **TRANSFER** отсутствует, то транзакт, поступивший в блок **TRANSFER**, безусловно отправляется в блок с меткой, указанной в операнде В.

Если операнд А – число от 0 до 1, то он определяет вероятность перехода транзакта по адресу С. При этом операнд В определяет альтернативный адрес.

Если операнд А равен «BOTH», то транзакт делает попытку перемещения в блок с меткой В. При невозможности войти в блок с адресом В, транзакт перемещается в блок с меткой, указанной в операнде С.

Если операнд А равен «ALL», то транзакт делает попытку перемещения в блок с меткой В. При невозможности войти в данный блок, транзакт делает попытку перемещения в блок, следующий за блоком с адресом В через D блоков, если и эта попытка безуспешна – то в блок, следующий за блоком с адресом В через 2D блоков. Адрес последнего блока, в который может перемещаться транзакт, записывается в операнде С.

Блок **TEST** определяет направление движения транзакта в зависимости от выполнения условия, заданного алгебраическим соотношением:

TEST XX A,B,[C]

XX – знак логической операции: L – меньше, G – больше, E – равно, LE – меньше или равно, GE – больше или равно, NE – не равно; A, B – сравниваемые значения или СЧА; C – метка блока, куда перемещается транзакт в случае невыполнения заданного условия.

При выполнении условия, записанного в блоке TEST, транзакт переходит в следующий блок. В противном случае он направляется в блок с меткой, содержащейся в операнде C. Если операнд C не задан, то транзакт задерживается в блоке TEST до выполнения условия.

Работа с переменными и функциями

Переменные и функции, используемые в ИМ на GPSS, должны быть предварительно определены. Определение переменных выполняется операторами:

N VARIABLE A определение арифметических переменных

N FVARIABLE A определение арифметических переменных с плавающей точкой

N BVARIABLE A определение логических переменных

N – имя или номер переменной;

A – арифметическое или логическое выражение.

Выражениями, используемыми в арифметических и логических переменных, являются комбинации математических операторов, стандартных функций, СЧА и констант, составленные по правилам математики. В таблице 1 представлены операторы и стандартные функции, используемые в выражениях, в порядке приоритетов их вычисления.

Таблица 1 – Операции и стандартные функции GPSS

Обозначение	Содержание	Обозначение	Содержание
Операции отношения		Логические операции	
'G'	Больше	'NOT'	Логическое отрицание
'L'	Меньше	'AND'	Логическое умножение
'E'	Равно	'OR'	Логическое сложение
'NE'	Не равно	Стандартные функции	
'LE'	Меньше или равно	ABS(.)	Абсолютное значение
'GE'	Больше или равно	ATN(.)	Арктангенс в радианах
Арифметические операции		COS(.)	Косинус в радианах
^	Возведение в степень	INT(.)	Целая часть
#	Умножение	EXP(.)	Экспонента
/	Деление	LOG(.)	Натуральный логарифм
\	Деление нацело	SIN(.)	Синус в радианах
@	Деление по модулю	SQR(.)	Квадратный корень
+	Сложение	TAN(.)	Тангенс в радианах
–	Вычитание		

Определение функций выполняется в GPSS с помощью оператора

N FUNCTION A,B

N – имя или номер функции; A – аргумент функции;

В – указатель типа функции (в частности, D – для дискретной, C – для непрерывной) и числа точек табуляции. За оператором описания функции следует описание множества значений аргумента и функции, которые отделяются друг от друга символом «/».

Определение значения функции выполняется чтением ее СЧА с именем FN.

Значения переменных и функций вычисляются автоматически (уточняются) GPSS всякий раз при поступлении транзактов в блоки, использующие данные переменные или функции.

Работа с константами, ячейками, сохраняемых величин и таблицами

Для удобства отладки программы ИМ на GPSS допускает принудительное присвоение числовых значений строковым переменным или именам объектов с помощью оператора

N EQU A

N – имя объекта GPSS или константы; A – порядковый номер объекта GPSS или числовое значение константы.

GPSS позволяет использовать пользовательские переменные (ячейки и матрицы ячеек), значения которых сохраняются или изменяются в процессе моделирования.

Значения ячеек, необходимо проинициализировать в начале текста модели оператором

INITIAL A,B

A – СЧА ячейки; B – начальное значение.

Например: Initial X\$Time,10; определение ячейки Time и присваивание ей начального значения 10

Для изменения значений ячеек используется оператор

SAVEVALUE A[+,-],B

A – номер или имя ячейки с указанием режима изменения: накопление (+), вычитание (–), замещение (без дополнительных символов); B – величина, используемая для модификации значения ячейки.

Для накопления выборочных значений случайной величины и статистической обработки выборки используется объект GPSS-таблица, который является аналогом сгруппированного статистического ряда распределения (гистограммы) и описывается оператором

N TABLE A,B,C,D

N – имя таблицы; A – СЧА, значение которого учитывается в таблице; B – значение правой границы первого интервала сгруппированного статистического ряда распределения; C – ширина интервала сгруппированного статистического ряда распределения (целое число); D – количество интервалов сгруппированного статистического ряда распределения.

Выборочные значения попадают в таблицу при входе транзактов в блок TABULATE, формат которого следующий:

TABULATE A

A - имя таблицы, в которой табулируется СЧА, соответствующий оператору TABLE.

По результатам моделирования предоставляются частоты попадания значений исследуемого СЧА объекта в каждый интервал таблицы, а также основные числовые ха-

рактические выборки (объем, среднее арифметическое значение и т. д.). Числовые характеристики выборок, записанных в таблицы, доступны и в процессе моделирования.

Оператор **QTABLE** определяет таблицу для очереди

N QTABLE A,B,C,D

N – имя таблицы, A – имя очереди, B – значение правой границы первого интервала сгруппированного статистического ряда распределения; C – ширина интервала сгруппированного статистического ряда распределения (целое число); D – количество интервалов сгруппированного статистического ряда распределения.

Моделирование случайных величин в GPSS

Для моделирования случайных величин с заданными законами распределения в GPSS возможно использование библиотечных функций или задание требуемой функции распределения в табличном виде путем аппроксимации непрерывными функциями.

Встроенная библиотека GPSS содержит функции для моделирования случайных величин, имеющих следующие законы распределения: равномерное (Uniform) ; экспоненциальное (Exponential); гамма (Gamma); Вейбулла (Weibull); нормальное (Normal); логарифмическое нормальное (LogNormal); биномиальное (Binomial); геометрическое (Geometric); дискретное равномерное (Discrete Uniform); пуассоновское (Poisson); логистическое (Logistic); логлапласово (LogLaplace); треугольное (Triangular).

Для моделирования случайной величины, имеющей экспоненциальное распределение, используется библиотечная функция

EXPONENTIAL(Stream,Locate,Scale)

Stream – номер генератора случайных чисел (от 1 до 7); Locate – величина сдвига (константа, добавляемая к значению моделируемой величины); Scale – параметр формы распределения (математическое ожидание случайной величины при Locate =0).

Для моделирования случайной величины, имеющей распределение Вейбулла, используется библиотечная функция

WEIBULL(Stream,Locate,Scale,Shape)

Stream – номер генератора случайных чисел (от 1 до 7); Locate – величина сдвига (константа, добавляемая к значению моделируемой величины); Scale – параметр масштаба функции распределения; Shape – параметр, определяющий форму распределения.

Для моделирования случайной величины, подчиняющейся нормальному закону распределения, используется библиотечная функция

NORMAL(Stream,Mean,StdDev)

Stream – номер генератора случайных чисел (от 1 до 7); Mean – математическое ожидание; StdDev – среднеквадратическое отклонение.

2.2 Работа в системе GPSS World

Создание, сохранение и открытие файлов имитационных моделей

Для создания новой ИМ необходимо в главном меню GPSS World выбрать пункт «File → New», затем в диалоговом окне выбрать режим создания новой модели. В рабочем окне GPSS World появится новое текстовое окно с заголовком «Untitled Model 1», в котором записывается текст создаваемой ИМ.

Для сохранения текста создаваемой ИМ необходимо в главном меню GPSS World выбрать пункт «File → Save» или «File → Save As». Во втором случае пользователю бу-

дет предложено задать новое имя для файла с текстом ИМ. Файл с текстом модели в GPSS имеет расширение «**gps**».

Для открытия уже существующего файла с текстом ИМ необходимо в главном меню GPSS World выбрать пункт «**File → Open**».

Трансляция и запуск имитационной модели в GPSS

Подробную информацию о назначении блоков и примеры их использования можно получить в разделе справки GPSS (пункт «**Help → Help Topics**» главного меню) или при вставке блоков с помощью пункта главного меню «**Edit → Insert GPSS Blocks...**». В данном режиме пользователю предоставляется возможность указывать значения параметров блоков в диалоговом окне.

После написания текста ИМ на языке GPSS модель необходимо оттранслировать, т.е. преобразовать последовательность текстовых операторов в последовательность команд, написанную в машинных кодах компьютера. Для этого необходимо выбрать пункт создания модели «**Command → Create Simulation**» главного меню.

Если при трансляции в тексте ИМ будут обнаружены некорректные директивы, значения параметров или синтаксические ошибки, то в появившемся окне документирования событий («**JOURNAL**») GPSS приведет список ошибочных строк. Для повторной трансляции модели после исправления ошибок используется пункт главного меню «**Command → Retranslate**».

После успешной трансляции GPSS сообщит о готовности модели к работе строкой «**Ready**», и станут доступны команды управления моделированием главного меню «**Command**».

Для запуска процедуры моделирования в конце текста ИМ следует задать команду «**START A**» или выбрать пункт главного меню «**Command → START**» и в диалоговом окне указать начальное значение счетчика завершений.

Средства отладки имитационных моделей

GPSS имеет в своем составе развитые средства отладки ИМ, доступ к которым осуществляется из пункта главного меню «**Window → Simulation Window**».

GPSS реализует пошаговую отладку модели с одновременным отображением процесса перемещения транзактов между блоками ИМ в окне «**BLOCK ENTITIES**». Для этого в главном меню необходимо выбрать пункт «**Window → Simulation Window → Block Window**».

Для отображения в динамике значений некоторых выражений или СЧА объектов следует выбрать пункт построения временных диаграмм «**Window → Simulation Window → Plot Window**» главного меню GPSS. В появившемся диалоговом окне «**Edit Plot Window**» следует указать комментарий (поле «**Label**») и интересующее арифметическое или логическое выражение (поле «**Expression**»), затем добавить его в список кнопкой «**Plot**». В поле «**Title**» следует задать имя временной диаграммы, в поле «**Time Range**» – величину отображаемого модельного времени, в полях «**Min Value**» и «**Max Value**» – минимальное и максимальное значения отображаемой величины. По завершении нажать кнопку «**OK**».

Для отображения гистограммы частот значений случайной величины, накопленной в одной из таблиц ИМ, в главном меню GPSS следует выбрать пункт «**Window → Simulation Window → Table Window**». Затем в диалоговом окне выбрать имя нужной табли-

цы. Аналогично с помощью команды главного меню «Window → Simulation Window» можно получить доступ к текущим значениям ячеек матриц, таблиц и сохраняемых величин, к характеристикам очередей, одно- и многоканальных обслуживающих устройств.

2.3 Анализ результатов моделирования в GPSS

После завершения процедуры моделирования GPSS автоматически открывает окно отчета «**REPORT**», содержащее стандартную выходную информацию о результатах моделирования.

Выходной файл статистики состоит из подразделов, содержащих стандартную статистику об объектах GPSS, используемых в данной модели (устройствах, очередях и т. д.). Начинается файл статистики с заголовка, который содержит имя модели, дату и время моделирования. Далее следует выходная информация, содержащая следующие основные сегменты вывода:

Информацию о результатах работы модели

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
------------	----------	--------	------------	----------

Обозначения: START TIME – абсолютное модельное время в момент начала моделирования; END TIME – абсолютное время или момент, когда счетчик завершений принял значение 0; BLOCKS – количество блоков, использованных в текущей модели, к моменту завершения моделирования; FACILITIES – количество одноканальных устройств, использованных в модели к моменту завершения моделирования; STORAGES – количество многоканальных устройств, использованных в текущей модели к моменту завершения моделирования.

Информация об именах

NAME	VALUE
------	-------

Обозначения: NAME - содержит имена, используемые в программе модели; VALUE – определяет числовое значение (номер), соответствующее имени, устанавливает начальный номер GPSS равным 10000.

Информация о блоках текущей модели

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
-------	-----	------------	-------------	---------------	-------

Обозначения: LABEL – метка оператора, связанного с блоком GPSS; LOC – номер строки модели, связанной с блоком; BLOCK TYPE – тип блока GPSS; ENTRY COUNT – количество транзактов, вошедших в данный блок после последнего выполнения команд с начала процедуры моделирования; CURRENT COUNT – количество транзактов, находящихся в данном блоке и ожидающих выполнения некоторых условий; RETRY – количество транзактов, ожидающих выполнения некоторых условий.

Информация об одноканальных устройствах

FACILITY	ENTRIES	UTIL	AVE. TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
----------	---------	------	-----------	-----------	-------	------	-------	-------	-------

Обозначения: FACILITY – номер или имя одноканального устройства; ENTRIES – количество транзактов, вошедших в устройство после начала работы программы; UTIL. – часть периода моделирования, в течение которого устройство было занято (коэффициент загрузки); AVE. TIME – среднее время занятости устройства одним транзактом в течение процедуры моделирования; AVAILABLE – состояние готовности устройства в кон-

це периода моделирования; OWNER – номер последнего транзакта, занимавшего устройство (0 означает, что устройство не занималось); PEND – количество транзактов, ожидающих устройство; INTER – количество транзактов, обработка которых прервана на устройстве в данный момент модельного времени; RETRY – количество транзактов, ожидающих выполнения некоторых условий; DELAY – количество транзактов, ожидающих занятия устройства (включая транзакты, ожидающие освобождение устройства).

Информация об очередях

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRIES	ENTRIES(0)	AVE.CONT	AVE.TIME	AVE.(–0)	RETRY
-------	-----	-------	---------	------------	----------	----------	----------	-------

Обозначения: QUEUE – имя или номер объекта типа «очередь»; MAX – максимальное содержимое объекта типа «очередь» в течение периода моделирования; CONT – текущее содержимое объекта типа «очередь» в момент завершения моделирования; ENTRIES – общее количество входов в очередь в течение периода моделирования; ENTRIES(0) – общее количество входов в очередь с нулевым временем ожидания; AVE.CONT – среднее значение длины очереди; AVE.TIME – среднее время, проведенное транзактом в очереди с учетом всех входов в очередь; AVE.(–0) – среднее время, проведенное транзактом в очереди без учета «нулевых» входов в очередь; RETRY – количество транзактов, ожидающих специальных условий, зависящих от состояния объекта типа «очередь».

Информация о многоканальных устройствах

STORAGE	CAP.	REMAIN	MIN	MAX	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
---------	------	--------	-----	-----	---------	------	--------	-------	-------	-------

Обозначения: STORAGE – имя или номер многоканального устройства; CAP. – количество каналов, заданное оператором STORAGE; REMAIN – число свободных каналов в конце периода моделирования; MIN – минимальное количество использовавшихся каналов за период моделирования; MAX – максимальное количество использовавшихся каналов за период моделирования; ENTRIES – количество входов в многоканальное устройство за период моделирования; AVL. – состояние готовности многоканального устройства в конце периода моделирования; AVE.C. – среднее число занятых каналов в устройстве за весь период моделирования; UTIL. – часть периода моделирования, в течение которого многоканальное устройство использовалось; RETRY – количество транзактов, ожидающих специальные условия, зависящие от состояния устройства; DELAY – количество транзактов, ожидающих возможность входа в блок ENTER.

Информация о ячейках памяти

SAVEVALUE	VALUE	VALUE
-----------	-------	-------

Обозначение: SAVEVALUE – имя или номер ячейки; VALUE – значение ячейки в конце моделирования; RETRY – количество транзактов, ожидающих наступления специальных условий, зависящих от состояния ячейки.

Более подробная информация о работе с системой GPSS World представлена в [1, 2].

3 Лабораторные работы

3.1 Создание имитационной модели функционирования автозаправочной станции (АЗС) и изучение характеристик ее работы

Задание: создайте в системе GPSS World Student Version имитационную модель функционирования АЗС и равномерным распределением времени поступления автомобилей на заправку и времени заправки автомобилей. Количество топливозаправочных колонок принимайте равным 1, 2, 3. По созданной имитационной модели выполните анализ работы АЗС и определите оптимальное количество колонок. Данные по вариантам даны в таблице А.1.

Создание имитационной модели

Имитационная модель АЗС представляет собой одноканальную незамкнутую СМО. Определим основные элементы СМО при моделировании АЗС.

Входящий поток образуется автомобилями, требующими заправки топливом, и характеризуется интервалами времени поступления требований на заправку. Автомобили моделируются *транзактами*. В соответствии с заданием интервалы времени поступления автомобилей имеют равномерное распределение, для которого задано среднее значение и возможный разброс значений времени.

Каналом обслуживания являются АЗС, которые характеризуются количеством топливозаправочных колонок и временем обслуживания одного требования (временем заправки одного автомобиля), которое распределено по равномерному закону в соответствии с заданием. АЗС моделируется одноканальным устройством **FACILITY** (если одна колонка) или многоканальным устройством **STORAGE**, для которого задают количество каналов обслуживания соответственно 2, 3 (по количеству топливозаправочных колонок АЗС).

Очередь образуется автомобилями, требующими заправки, если все колонки заняты и характеризуется средней и максимальной длиной очереди, средним временем нахождения требования в очереди. Очередь моделируется объектом **QUEUE**.

Выходящий поток образуется заправленными автомобилями (обслуженные требования).

Функциональная схема полученной имитационной модели АЗС представлена на рис. 1. Пример имитационной модели в GPSS World и пояснения даны в таблицах 2, 3. Время моделирования работы АЗС равно времени одних суток (в минутах): $24 \text{ ч.} \times 60 \text{ мин.} = 1440 \text{ мин.}$

Порядок выполнения

1. Создайте имитационные модели АЗС с 1, 2, 3 колонками (примеры моделей см. ранее). Для создания ИМ АЗС с 3 колонками в операторе STORAGE укажите количество колонок 3. Создание и трансляция модели описано в п. 2.2.
2. Сохраните имитационные модели на диске R с именами A3C1.gps; A3C2.gps; A3C3.gps и распечатайте их. Выполните трансляцию моделей и сохраните отчеты REPORT по результатам моделирования с именами A3C1.gpr; A3C2.gpr; A3C3.gpr и распечатайте их.
3. Выполните анализ работы АЗС. Для этого из полученных отчетов выберите необходимые данные и заполните таблицу 4.

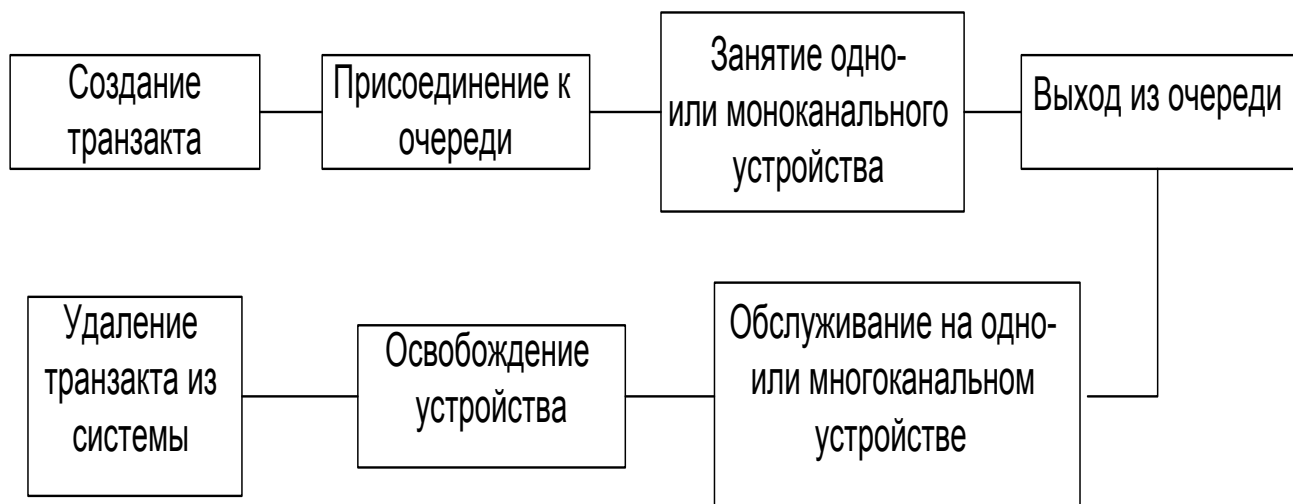


Рисунок 1 - Функциональная схема полученной имитационной модели АЗС

Таблица 2 - Имитационная модель АЗС с 1 колонкой в GPSS World

*** Имитационная модель АЗС с 1 колонкой ***

GENERATE	5.2,2.0	; создание транзактов и моделирование их поступления в модель (т.е. моделирование поступления автомобилей на АЗС) со средним временем $5,2 \pm 2,0$ мин.
QUEUE	ZAPRAVKA	; Постановка автомобиля в очередь на АЗС, имя очереди ZAPRAVKA
SEIZE	KOLONKA	; Занятие транзактом одноканального устройства KOLONKA (занятие автомобилем колонки)
DEPART	ZAPRAVKA	; Выход транзакта (автомобиля) из очереди ZAPRAVKA
ADVANS	6.3,3.4	; задержка транзакта (выполнение заправки автомобиля) в течение заданного интервала времени $6,3 \pm 3,4$ мин.
RELEASE	KOLONKA	; Освобождение транзактом одноканального устройства KOLONKA (освобождение автомобилем колонки)
TERMINATE		; Удаление транзакта из модели (автомобиль покидает систему)
GENERATE	1440	; Задание времени моделирования; 1440 мин (1 сутки)

TERMINATE	1	; Остановить моделирование
START	1	; Запуск процедуры моделирования

Таблица 3 – Имитационная модель АЗС с 2 колонками в GPSS World

KOLONKA	STORAGE 2	; АЗС С 2 КОЛОНКАМИ
GENERATE	5.2,2.0	; ПОСТУПЛЕНИЕ А/М НА АЗС

; СО СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ $5,2 \pm 2,0$ мин
QUEUE ZAPRAVKA ; ВХОД В ОЧЕРЕДЬ НА АЗС
ENTER KOLONKA ; ЗАНЯТИЕ АВТОМОБИЛЕМ КОЛОНКИ
DEPART ZAPRAVKA ; ВЫХОД ИЗ ОЧЕРЕДИ НА АЗС
ADVANCE 6.3,3.4 ; ЗАПРАВКА А/М НА КОЛОНКЕ
 ; СО СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ $6,3 \pm 3,4$ мин
LEAVE KOLONKA ; ОСВОБОЖДЕНИЕ АВТОМОБИЛЕМ
 ; КОЛОНКИ
TERMINATE ; АВТОМОБИЛЬ ПОКИДАЕТ СИСТЕМУ
GENERATE 1440 ; ЗАДАНИЕ ВРЕМЕНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
 ; 1440 МИН

TERMINATE 1 ; ОСТАНОВИТЬ МОДЕЛИРОВАНИЕ
START 1 ; ЗАПУСК ПРОЦЕДУРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Таблица 4 –Результаты моделирования АЗС

Количество топливоза- правочных колонок на АЗС $n_{\text{пост}}$	Очередь QUEUE		Одноканальное FACILITY или многока- нальное STORAGE устройство		
	Средняя длина очере- ди AVE.CONT.	Среднее время нахождения ав- томобиля в очереди Тср.оч, мин; AVE.TIME	Количество выполненных заправок за время моде- лирования $N_{\text{запр}}$, ENTRIES	Коэффи- циент ис- пользова- ния (за- грузки) ко- лонки Кисп, UTIL.	Среднее число за- нятых ко- лонок AVE.C.
	1	2	3	4	5
1					для АЗС с 1 колонкой AVE.C.= UTIL.
2					
3					

Примечание – Расшифровка обозначений в отчете REPORT дана в п. 2.3

- На основании анализа таблицы 4 сделайте вывод об оптимальном количестве колонок на АЗС, исходя из следующих критериев: коэффициент использования (загрузки) **UTIL.** колонки находится в пределах от 0,5 до 0,9; среднее число автомобилей одновременно находящихся на АЗС (т. е. заправок и находящихся в очереди **AVE.C.+ AVE.CONT.**) не должно превышать 5; среднее время ожидания заправки **AVE.TIME** не должно превышать среднее время заправки [2] (критерии могут изменяться преподавателем)
- Письменно ответьте на контрольные вопросы.

Содержание отчета

Тема, задание, исходные данные, основные элементы СМО при моделировании АЗС, функциональная схема полученной имитационной модели АЗС, распечатка (либо сохранение на диске R) файлов имитационных моделей (АЗС1.gps; АЗС2.gps; АЗС3.gps) и файлов отчетов (АЗС1.gpr; АЗС2.gpr; АЗС3.gpr); таблица 4; вывод об оптимальном количестве колонок на АЗС; ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение и формат блоков GENERATE, TERMINATE, SEIZE, RELEASE, QUEUE, DEPART, ADVANCE, ENTER, LEAVE, поясните задаваемые параметры.
2. Какая информация содержится об одноканальных устройствах в выходном файле статистики «REPORT» системы GPSS Word?
3. Какая информация содержится об очередях в выходном файле статистики «REPORT» системы GPSS Word?
4. Какая информация содержится об одноканальных устройствах в выходном файле статистики «REPORT» системы GPSS Word?

3.2 Оптимизация зоны технического обслуживания (ТО) автомобилей автомобильного транспортного предприятия (АТП) с использованием имитационного моделирования

Задание: Определить оптимальное количество постов первого технического обслуживания (ТО-1) по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание. При этом необходимо рассмотреть зону ТО-1 с 1, 2, 3 и более постами.

Исходные данные: Исходные данные принимаются в зависимости от номера варианта (см. таблицу А.2).

Порядок выполнения

1. Подготовка данных для моделирования. Технологический расчет зоны ТО

1.1 Корректировка нормативных значений пробегов и трудоемкостей.

Нормативные значения пробегов до ТО-1 $L_{ТО-1}^H$, до ТО-2 $L_{ТО-2}^H$, до списания $L_{СП}^H$, трудоемкости ТО-1 приводим к заданным условиям эксплуатации в соответствии с ТКП 248-2010 с помощью формул [4]:

$$L_{ТО-1} = L_{ТО-1}^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км};$$

$$L_{ТО-2} = L_{ТО-2}^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км};$$

$$L_{СП} = L_{СП}^H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ км};$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий категорию условий эксплуатации; K_2 – коэффициент, учитывающий модификацию ПС и организацию его работы; K_3 – коэффициент, учитывающий климатический район. Коэффициенты принимаем по [4]: $K_1 = 0,8$; $K_2 = 1$ (для базовых автомобилей или автобусов) или $K_2 = 0,85$ (для самосвалов); $K_{ТО3} = 1$; $K_{СП3} = 1,1$.

Нормативное значение трудоемкости ТО-1 $t_{ТО-1}^H$ приводим к заданным условиям эксплуатации с помощью формул [4]:

$$t_{ТО-1} = t_{ТО-1}^H \cdot K_2 \cdot K_4^2 \cdot K_5 \cdot K_6, \text{ чел.-ч};$$

где K_4^2 – коэффициент, учитывающий пробег с начала эксплуатации; K_5 – коэффициент, учитывающий число автомобилей обслуживаемых и ремонтируемых на АТП и число

технологически совместимых групп ПС; K_6 – коэффициент, учитывающий период эксплуатации.

По [4] принимаем: $K_2 = 1$ (для базовых автомобилей или автобусов) или $K_2 = 1,15$ (для самосвалов); $K_4^2 = 1$; $K_5 = 1$; $K_6 = 1$.

1.2 Определяем годовую производственную программу по ТО-1 (количество воздействий ТО-1 за год)

Для этого определяем коэффициент технической готовности по формуле [3]:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + L_{CC} \cdot \left(\frac{D_{ТО-ТР} \cdot K_4^1}{1000} \right)}$$

где L_{CC} – среднесуточный пробег, км; $D_{ТО-ТР}$ – нормативный простой ПС в ТО и ТР, дн./1000 км., для автобусов принимаем $D_{ТО-ТР} = 0,50$ дн./1000 км, для грузовых автомобилей $D_{ТО-ТР} = 0,60$ дн./1000 км; K_4 – коэффициент корректирования простоев ПС в ТО и ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации, для заданного пробега $K_4^1 = 0,7$.

Рассчитываем годовой пробег автомобиля по формуле [3]:

$$L_T = A_{И} \cdot D_{РАБ.Г.} \cdot L_{CC} \cdot \alpha_T, \text{ км.};$$

где $D_{РАБ.Г.}$ – количество дней работы в году, дн.(см. исходные данные), $A_{И}$ – количество автомобилей на автотранспортном предприятии (АТП).

Определяем количество воздействий ТО за год по формулам [3]:

$$N_{СП}^T = \frac{L_T}{L_{СП}},$$

$$N_2^T = \frac{L_T}{L_{ТО-2}} - N_{СП}^T,$$

$$N_1^T = \frac{L_T}{L_{ТО-1}} - N_{СП}^T - N_2^T.$$

1.3 Определяем такт поста и ритм производства

Такт поста ТО-1 определяются

$$\tau_{П} = \frac{t_{ТО-1}}{P_{П}} + t_{П},$$

где $t_{ТО-1}$ – трудоемкость ТО-1, чел.-ч; $P_{П}$ – количество рабочих, одновременно работающих на посту, $P_{П} = 3$ чел. по [3]; $t_{П}$ – время на перемещение автомобиля на пост и съезда с поста, $t_{П} = 0,03 \dots 0,05$ часа.

Ритм производства

$$R_{П} = \frac{T_{СМ} \cdot C}{N_{С} \cdot \varphi},$$

где $T_{СМ}$ – длительность смены, $T_{СМ} = 8$ ч.; $N_{С}$ – суточная программа работ по техническому обслуживанию, φ – коэффициент резервирования постов, принимаем $\varphi = 1,25$ по [3], $C = 1$ – количество смен работы зоны ТО-1.

Суточная программа по ТО-1 определяется

$$N_{C_TO-1} = \frac{N_1^r}{D_{РАБ,ЗОНЫ_ТО}},$$

где $D_{РАБ,ЗОНЫ_ТО}$ - число дней работы зоны ТО в году, в соответствии с исходными данными $D_{РАБ,ЗОНЫ_ТО} = 252$ дня.

Требуемое количество универсальных постов ТО по детерминированной типовой методике технологического расчета определяется [3]

$$X_{TO-1} = \frac{\tau_{п}}{R_{п}}.$$

2. Создание имитационной модели зоны ТО-1 с использованием СМО, расчет ее параметров

Определим основные элементы СМО при моделировании зоны ТО-1 АТП.

Входящий поток образуется автомобилями, требующими технического обслуживания ТО-1, и характеризуется интервалами времени поступления требований на обслуживание $T_{ТО-ТО}$, час. Автомобили моделируются *транзактами*.

Для моделирования простейшего потока требований интервал времени между соседними событиями должен иметь экспоненциальное распределение, поэтому интервалы времени поступления автомобилей на ТО распределялись по экспоненциальному закону.

Каналами обслуживания (обслуживающими аппаратами) являются посты ТО-1, которые характеризуются количеством постов n и временем обслуживания одного требования, которое равно такту поста $\tau_{п}$, час. Зона ТО моделируется одноканальным устройством FACILITY (если один пост в зоне ТО) и многоканальным устройством STORAGE, для которого задают количество каналов обслуживания соответственно 2, 3 и 4 (по количеству постов зоны ТО). Интервалы времени на обслуживание одного автомобиля задавались также по экспоненциальному закону с математическим ожиданием равным такту поста.

Очередь образуется автомобилями, требующими технического обслуживания, если все посты ТО-1 заняты. Очередь характеризуется средней и максимальной длиной очереди, средним временем нахождения требования в очереди. Очередь моделируется объектом QUEUE.

Выходящий поток образуется автомобилями, которые прошли техническое обслуживание (обслуженные требования).

СМО является замкнутой, т.к. обслуживаются автомобили только своего АТП, при этом автомобили, прошедшие ТО, возвращаются к выполнению транспортной работы, а затем после определенного пробега вновь проходят ТО, процесс повторяется в цикле.

2.3 Расчет показателей СМО

Определяем математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТО-1, через которые автомобиль поступит на ТО-1 - $T_{ТО-ТО}$, час.

Для этого находим количество дней, через которые производится ТО-1 автомобиля

$$N_{дней} = \frac{L_{ТО-1}}{L_{CC}}.$$

Количество дней округляется до целых.

Математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТО-1, через которые автомобиль поступит на ТО-1

$$T_{\text{ТО-ТО}} = N_{\text{дней}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot C, \text{ час}$$

Принимаем время моделирования равным 1 год. Тогда время моделирования в часах определяется

$$T_{\text{МОД}} = T_{\text{СМ}} \cdot C \cdot D_{\text{РАБ.Г.}},$$

где длительность смены $T_{\text{СМ}}=8$ часов, количество смен $C=1$, количество дней работы зоны ТО-1 в год $D_{\text{РАБ.Г.}}=252$ дня.

$$T_{\text{МОД}} = 8 \cdot 1 \cdot 252 = 2016 \text{ ч.}$$

2.2 Составление имитационной модели замкнутой СМО и моделирование.

Одноканальная замкнутая СМО моделирует зону ТО-1 с одним постом. Зона ТО-1 моделируется одноканальным устройством FACILITY. Пример имитационной модели представлен ниже. Выделенные цифры необходимо заменить на рассчитанные выше значения. В имитационной модели используются следующие переменные: **AVTO** -- количество заданных автомобилей A_i , ед; **TIME_DO_TO** - среднее время, через которое автомобиль требует ремонта и поступает в зону ТО $T_{\text{ТО-ТО}}$, час; **OBSL** - среднее время выполнения одного технического обслуживания $t_{\text{ТО-1}}$, час; **TIME_MODEL** - время моделирования работы зоны ТО $T_{\text{МОД}}$, час, которое соответствует времени работы зоны ТО в течение одного года.

* Модель одноканальной замкнутой СМО с простейшим потоком требований*

INITIAL	X\$AVTO,100	; задание количества а/м = 100 ед.
INITIAL	X\$TIME_DO_TO,320	; задание среднего времени, через которое ; выполняется ТО-1 =320 ч.
INITIAL	X\$OBSL,1.81	; задание среднего времени ; на выполнение ТО-1 =1.81 ч.
INITIAL	X\$TIME_MODEL,2016	; задание времени моделирования ; работы зоны ТО-1 2016 ч.

INFORM	QTABLE ON_TO,0,2,100	; сбор статистических данных для таблицы ; INFORM об очереди ON_TO
	GENERATE ,,X\$AVTO	; генерация транзактов, соответствующих ; количеству автомобилей
WORK	ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X\$TIME_DO_TO))	; задержка автомобиля ; на время выполнение транспортной работы, распредел. по экспоненциальному закону
	QUEUE ON_TO	; поступление а/м в ОЧЕРЕДЬ на пост ТО ; (имя очереди ON_TO)
	SEIZE POST_TO	; занятие поста ТО (имя поста POST_TO)
	DEPART ON_TO	; выход а/м из очереди
	ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X\$OBSL))	; задержка а/м на время ; выполнения

	ТО-1, которое
	;распределено по экспоненц. закону
RELEASE POST_TO	; освобождение а/м поста ТО
TRANSFER ,WORK	; переход на блок с меткой Work

GENERATE X\$TIME_MODEL	; задание времени моделирования
	;зоны ТО
TERMINATE 1	;остановить моделирование
START 1	;запуск процедуры моделирования

Многоканальная замкнутая СМО моделирует зону ТО-1 с 2 и более постами. Зона ТО-1 моделируется многоканальным устройством STORAGE, для которого задают количество каналов обслуживания равное количеству постов ТО-1 в зоне. Пример имитационной модели представлен ниже. Выделенные цифры необходимо заменить на рассчитанные выше значения. Количество постов в зоне ТО задается цифрой в операторе STORAGE.

Максимальное количество постов в зоне ТО задается из следующего условия: расчетное требуемое количество постов $X_{ТО-1}$ округленное до целых в большую сторону плюс три поста. Максимальное количество постов зоны ТО не должно быть меньше четырех.

*Моделирование зоны ТО-1 с помощью двухканальной замкнутой СМО

с простейшим потоком требований

INITIAL X\$AVTO,100	; задание количества а/м = 100 ед.
INITIAL X\$TIME_DO_TO,320	; задание среднего времени, через которое
	; выполняется ТО-1 =320 ч.
INITIAL X\$OBSL,1.81	;задание среднего времени
	; на выполнение ТО-1 =1.81 ч.
INITIAL X\$TIME_MODEL,2016	; задание времени моделирования
	; работы зоны ТО-1 2016 ч.

ZONA_TO	STORAGE 2	;создание зоны ТО с 2 постами
INFORM	QTABLE ON_TO,0,2,100	;сбор статистических данных для таблицы
		;INFORM об очереди ON_TO
	GENERATE ,,X\$AVTO	;генерация транзактов, соответствующих
		;количеству автомобилей
WORK	ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X\$TIME_DO_TO))	; задержка автомобиля
		;на время выполнение транспортной работы, распр.
		; по экспоненциальному закону
	QUEUE ON_TO	; поступление а/м в ОЧЕРЕДЬ на пост ТО
		; (имя очереди ON_TO)
	ENTER ZONA_TO	; занятие зоны ТО автомобилем

TERMINATE 1

START 1

3. Анализ результатов моделирования

Таблица 5 –Результаты моделирования зоны ТО-1

для зоны
ТО с 1 по-
стом
AVE.C.=
UTIL.

23

3.3 Определите оптимальное количество постов ТО-1 по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 (постов, оборудования, ремонтных рабочих) в ожидании требований на обслуживание.

Для этого определяем суммарное время простоя автомобилей $\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}}$ в ожидании ТО-1 за время моделирования, а также затраты от простоя автомобилей $З_{\text{ПР.АВТО}}$ за время моделирования и заполняем таблицу 6:

$$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}} = N_{\text{ТО1Г}} \cdot T_{\text{СР.ОЧ}}, \text{ час};$$

$$З_{\text{ПР.АВТО}} = \sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}} \cdot C_{\text{ПР.АВТО}}, \text{ д.е.},$$

где $C_{\text{ПР.АВТО}} = 40$ денежных единиц/час – потери прибыли за один автомобиле-час из-за простоя в ожидании ТО.

Определяем суммарное время простоя постов ТО-1 $\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}}$ в ожидании поступления автомобилей на ТО-1 за время моделирования, а также затраты от простоя постов ТО $З_{\text{ПР.ПОСТ}}$ за время моделирования и заполняем таблицу 6:

$$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}} = n_{\text{ПОСТ}} \cdot T_{\text{МОД}} \cdot (1 - K_{\text{ИСП}}), \text{ час};$$

$$З_{\text{ПР.ПОСТ}} = \sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}} \cdot C_{\text{ПР.ПОСТ}}, \text{ д.е.},$$

где $C_{\text{ПР.АВТО}} = 20$ денежных единиц/час – потери прибыли из-за простоя одного поста в ожидании поступления автомобиля на ТО; $T_{\text{МОД}} = 2016$ ч. – время моделирования зоны ТО-1.

Суммарные затраты от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание определяются

$$З_{\Sigma} = З_{\text{ПР.ПОСТ}} + З_{\text{ПР.АВТО}}, \text{ д.е.}$$

Данные заносим в таблицу 6 для каждого варианта зоны ТО-1.

Таблица 6 – Результаты расчета суммарного времени простоя автомобилей, постов ТО, суммарных издержек

Зона ТО с к-вом по- стов $n_{\text{ПОСТ}}$	$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}}$, час	$З_{\text{ПР.АВТО}}$, д.е.	$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}}$, час	$З_{\text{ПР.ПОСТ}}$, д.е.	$З_{\Sigma}$, д.е.
1					
2					
3					
4					
.....					
Nmax					

По данным таблицы 6 стройте на одной точечной диаграмме 3 графика зависимостей затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания, затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание и суммарных затрат от количества постов зоны ТО-1.

Сделайте вывод о том, какое количество постов зоны ТО-1 является оптимальным по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание. Сравните найденное оптимальное количество постов с рассчитанным $X_{ТО-1}$.

Содержание отчета

Тема, задание, таблица с исходными данными, технологический расчет зоны ТО, расчет показателей СМО, сохраненные и распечатанные файлы моделей и отчетов по ним для каждого варианта зоны ТО, таблица 5 и графики по ней, расчет затрат, таблица 6 и графики по ней, вывод об оптимальном количестве постов ТО-1, ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каким видом СМО моделируется зона ТО?
2. Назовите основные элементы СМО при моделировании зоны ТО-1. Что они моделируют, каким объектам имитационной модели соответствуют, какими параметрами характеризуются?

3.3 Оптимизация зоны текущего ремонта (ТР) автомобилей АТП с использованием имитационного моделирования

Задание: Определить оптимальное количество регулировочных и разборочно-сборочных постов ТР по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР и затрат от простоя постов ТР в ожидании требований на обслуживание. При этом необходимо рассмотреть зону ТР с 1, 2, 3 и более постами.

Исходные данные: Исходные данные принимаются в зависимости от номера варианта (см. таблицу А.2).

Порядок выполнения

1. Подготовка данных для моделирования

1 Определяем *годовой объем работ ТР* определяется по формуле:

$$T_{ТР}^Г = L_Г \cdot A_{и} \cdot t_{ТР} / 1000, \text{ чел.-ч.}$$

где $L_Г$ - *годовой пробег автомобилей*, км (принимается по данным предыдущей лабораторной работы); $A_{и}$ - *списочное количество ПС*; $t_{ТР}$ - *удельная скорректированная трудоемкость ТР*, чел.-ч/1000км.

2 Определяем *годовой объем постовых регулировочных и разборочно-сборочных работ ТР*. Для грузовых автомобилей он составляет $b = 34\%$, а для автобусов $b = 35\%$ от *годовой объем работ ТР*:

$$T_{РРСБ}^Г = \frac{T_{ТР}^Г \cdot b}{100}, \text{ чел.-ч.}$$

3 Определяем *количество отказов $N_{ОТК}$ за год для заданного количества автомобилей*

$$N_{ОТК} = L_Г \cdot \omega,$$

где ω - *параметр потока отказов*, отк./1000 км.

4 Определяем *годовой фонд времени работы зоны ТР $\Phi_{ЗОНЫ_ТР}$* (равен времени моделирования зоны ТР $\Phi_{МОД}$)

$$\Phi_{\text{МОД}} = \Phi_{\text{ЗОНЫ_ТР}} = C \cdot D_{\text{РАБ.ТР}} \cdot T_{\text{СМ}}, \text{ час},$$

где $C=2$ – количество смен работы, $D_{\text{РАБ.ТР}} = 302$ – количество дней работы зоны ТР в году, $T_{\text{СМ}}=8$ ч - длительность смены постов регулировочных и разборочно-сборочных работ зоны ТР.

5 Определяем среднее время, через которое автомобиль требует ремонта и поступает в зону ТР.

Пробег, через который возникнет отказ у автомобиля, определяется

$$L_{\text{ОТКАЗ}} = \frac{1000}{\omega}, \text{ км}$$

Определяем математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТР, через которые автомобиль поступит на ТР – $T_{\text{ТРЕБ-ТР}}$, час.

Для этого находим количество дней, через которые возникает отказ автомобиля

$$N_{\text{дней}} = \frac{L_{\text{ОТКАЗ}}}{L_{\text{СС}}}$$

Количество дней округляется до целых.

Математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТР, через которые автомобиль поступит в ТР

$$T_{\text{ТРЕБ_ТР}} = N_{\text{дней}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot C, \text{ час.}$$

6 Среднее время выполнения одного текущего ремонта

$$T_{\text{ВЫП_ТР}} = \frac{T_{\text{РРСБ}}^{\Gamma}}{N_{\text{ОТК}} \cdot P_{\text{РАБ}} \cdot \eta}, \text{ час},$$

где численность рабочих, одновременно работающих на посту ТР $P_{\text{РАБ}} = 1.5$ чел; коэффициент использования рабочего времени поста $\eta=0,97$ [3].

7 Определяем требуемое количество регулировочных и разборочно-сборочных постов ТР $X_{\text{ТР}}$ по типовой методике технологического расчета:

$$X_{\text{ТР}} = \frac{T_{\text{РРСБ}}^{\Gamma} \cdot \varphi}{D_{\text{РАБ.ТР}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot C \cdot P_{\text{РАБ}} \cdot \eta};$$

где $T_{\text{РРСБ}}^{\Gamma}$ - годовой объем работ на регулировочных и разборочно-сборочных постах ТР, чел.-ч.; $D_{\text{РАБ.ТР}} = 302$ - число рабочих дней в году постов ТР; φ - коэффициент неравномерности загрузки (резервирования) постов, $\varphi = 1,25$.

2. Создание имитационной модели зоны ТР с использованием СМО

Для моделирования зоны ТР используются одно- и многоканальные замкнутые СМО. Элементы СМО при моделировании зоны ТР аналогичны элементам СМО при моделировании зоны ТО-1 (см. предыдущую лабораторную работу), за исключением того, что *входящий поток* и *очередь* образуется автомобилями, требующими ТР, *каналами обслуживания* являются посты ТР, *выходящий поток* образуется отремонтированными автомобилями.

Имитационные модели зоны ТР совпадают по виду с имитационными моделями зоны ТО (см. предыдущую лабораторную работу), при этом в них нужно внести следующие изменения в используемые переменные:

АВТО - количество заданных автомобилей A_i , ед

TIME_DO_TO - среднее время, через которое автомобиль требует ремонта и поступает в зону ТР $T_{\text{ТРЕБ_ТР}}$, час.

OBSL - среднее время выполнения одного текущего ремонта $T_{\text{вып_ТР}}$, час

TIME_MODEL - время моделирования работы зоны ТР $T_{\text{мод}}$, час, которое соответствует времени работы зоны ТР в течение одного года.

Максимальное количество постов в зоне ТР задается из следующего условия: расчетное требуемое количество постов $X_{\text{ТР}}$ округленное до целых в большую сторону плюс три поста. Максимальное количество постов зоны ТР не должно быть меньше четырех.

Сохраните созданные имитационные модели на диске R с именами **ЗонаТР_1пост.gps**; **ЗонаТР_2пост.gps** и т.д. и распечатайте их. Выполните трансляцию моделей и сохраните отчеты REPORT по результатам моделирования с именами **ЗонаТР_1пост.gpr**; **ЗонаТР_2пост**; и т.д. и распечатайте их.

3. Анализ результатов моделирования

Анализ результатов моделирования выполняется как в предыдущей лабораторной работе.

3.1 Из каждого отчета по моделированию зоны ТР выберите и запишите в таблицу 5 необходимые данные, при этом внесите необходимые изменения в обозначения столбцов таблицы.

3.2 Постройте 5 графиков зависимостей показателей работы зоны ТР (столбцы под номерами 1-5) от количества постов в зоне ТР

3.3 Определите оптимальное количество постов ТР по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР и затрат от простоя постов ТР (постов, оборудования, ремонтных рабочих) в ожидании требований на ТР.

Расчеты выполняются аналогично предыдущей лабораторной работе, заполняется таблица 6, в которую вносятся необходимые изменения в обозначениях.

По данным таблицы 6 строите на одной точечной диаграмме 3 графика зависимостей затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР, затрат от простоя постов ТР в ожидании требований на ТР и суммарных затрат от количества постов зоны ТР.

Сделайте вывод о том, какое количество постов зоны ТР является оптимальным по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР и затрат от простоя постов ТР в ожидании требований на ТР. Сравните найденной оптимальное количество постов с рассчитанным $X_{\text{ТР}}$.

Содержание отчета

Тема, задание, таблица с исходными данными, расчет данных для моделирования зоны ТР, сохраненные и распечатанные файлы моделей и отчетов по ним для каждого варианта зоны ТР, таблица 5 и графики по ней, расчет затрат, таблица 6 и графики по ней, вывод об оптимальном количестве постов ТР, ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каким видом СМО моделируется зона ТР?
2. Назовите основные элементы СМО при моделировании зоны ТР. Что они моделируют, каким объектам имитационной модели соответствуют, какими параметрами характеризуются?

Список используемых источников

1. Кудрявцев Е. М. K88 GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил. (Серия «Проектирование»).
2. Шевченко, Д. Н. Имитационное моделирование на GPSS : учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / Д. Н. Шевченко, И. Н. Кравченя ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 97 с.
3. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: Учебник/ М.М.Болбас, Н.М.Капустин, А.С.Савич и др; Под ред. М. М. Болбаса - Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. - 528 с.
4. Технический кодекс установившейся практики ТКП 248-2010 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения». – Мн.: Изд-во РУП «Транстехника», 2010. – 44 с.

Приложение А

Таблица А.1 – Исходные данные для задания № 1.

Вар №	Время между поступлениями автомобилей на АЗС Тпост, мин		Время на выполнение заправки автомобиля, Тзапр, мин	
	Среднее значение	Величина разброса	Среднее значение	Величина разброса
1	2,5	0,8	5	1,5
2	3	1,2	6	2,4
3	3,5	1,8	7	3,5
4	4	2,0	8	4
5	4,5	2,7	9	5,4
6	5	1,5	10	3
7	5,5	2,2	11	4,4
8	5	2,5	10	5
9	4,5	2,3	9	4,5
10	4	2,4	8	4,8
11	3,5	1,1	7	2,1
12	3	1,2	6	2,4
13	2,5	1,3	5	2,5
14	5	2,5	10	5
15	6	3,6	12	7,2

Таблица А.2 - Исходные данные для задания № 2, 3

Вар №	Модель транс- портного средства	$L^{H_{TO1}}$, тыс. км	$L^{H_{TO2}}$, тыс. км	$L^{H_{СП}}$, тыс. км	$t^{H_{TO1}}$, чел.-ч	$t_{ТР}$, чел.-ч/1000км	$L_{СС}$, км	Аи, ед.	ω , отк./1000км
1	ПА3-3206	3	12	320	5,5	5,3	220	100	0,080
2	ЛА3-695Н	3,5	14	400	5,8	6,5	225	105	0,069
3	РАДЗІМІЧ А092	10	20	400	8,99	7	230	110	0,049
4	ПА3-4230	4	16	400	9,63	8	235	115	0,060
5	МАЗ-256	5	20	500	11,43	6,9	240	120	0,048
6	НЕМАН-5201	5	20	500	11,72	7,9	245	125	0,047
7	МАЗ-103	7,5	25	600	13,17	12,5	250	130	0,039
8	МАЗ-103С	5	20	600	13,17	12,5	230	135	0,047
9	МАЗ-104	6	25	600	13,03	12,5	235	140	0,038
10	МАЗ-152	7,5	30	600	14,33	12,5	240	145	0,030
11	МАЗ-203	10	30	600	17,03	13	245	150	0,032
12	МАЗ-53371	8	24	600	4,6	5,2	250	145	0,041
13	МАЗ-53362	8	24	600	3,2	5,8	255	140	0,040
14	МАЗ-534005	15	30	600	6	6	260	135	0,031
15	КАМАЗ-55102	4	12	380	1,91	6,7	190	130	0,081
16	МАЗ-555102	5	20	380	4,51	7	195	125	0,046
17	МАЗ-555402	4	16	250	5,31	6,7	200	120	0,062
18	КРАЗ-256Б1	2,5	12,5	160	3,7	6,4	205	115	0,078
19	КАМАЗ-55111	4	12	380	1,91	6,7	210	110	0,083
20	КАМАЗ-65111	4	16	380	1,91	6,9	215	105	0,060
21	МАЗ-5516	5	20	380	5	6,8	220	100	0,048
22	ГАЗ-СА3-3701-01	2,5	12,5	250	2,2	3,8	225	105	0,078
23	МАЗ-457041	5	20	300	4,8	4,1	230	110	0,047
24	ГАЗ-3309	5	20	300	2,7	3,3	235	115	0,050
25	ГАЗ-33021	10	20	300	6,82	3,6	240	120	0,049

Примечания

1 Категория условий эксплуатации – III; климатический район – умеренно-теплый влажный; пробег с начала эксплуатации в долях от нормативного пробега – до 0,25; количество дней работы в году: для автомобилей– 302 дня, для автобусов – 365 дней; режим работы зоны ТО-1 : 252 дня в году, 1 смена, продолжительность смены 8 часов, режим работы зоны ТР: 302 дня в году. 2 смены, продолжительность смены 8 часов.

Учебное издание

Составитель: Монтик Сергей Владимирович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»
Часть 1
В 2 частях.

Ответственный за выпуск Монтик С.В.
Редактор

Подписано к печати .2012 г. Формат 60x84/16 Бумага писчая N 1. Усл. п.л. _____. Уч. изд. л. . Заказ N . Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»
Часть 2



Брест 2013

УДК 629.331.08

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1- 37 01 07 «Автосервис», часть 2, содержат методики решения транспортной задачи с использованием табличного процессора MS Excel, оптимизации зоны текущего ремонта автомобилей с использованием теории игр, применения дробного факторного эксперимента при исследовании процессов технической эксплуатации автомобилей.

Составители: С.В. Монтик, зав. кафедрой ТЭА, доцент, к.т.н.
О.Е. Кондратенко, ассистент кафедры ТЭА.

Рецензент: С.А. Мирошниченко, начальник отдела сервиса ООО «Трансконсалт-Брест»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Методы формирования плана перевозок. Транспортная задача, ее решение с использованием табличного процессора MS Excel

При формировании плана автомобильных перевозок для автотранспортного предприятия или группы предприятий на достаточно продолжительный период времени очень важно, чтобы его параметры были близки к оптимальному. Другими словами, выполнение плана перевозок должно осуществляться с минимумом затрат или (что практически одно и то же) с минимальным общим пробегом либо транспортной работой.

В качестве исходных данных для составления плана используется:

- перечень поставщиков перевозимых продуктов, располагающих определенными запасами;
- перечень потребителей, требующих определенного количества продуктов;
- стоимость перемещения единицы продукта (или расстояние между поставщиками и потребителями).

Реальный план перевозок включает большую номенклатуру поставщиков и потребителей, а соответственно и большое количество связывающих их маршрутов. Как правило, на автотранспортных предприятиях (АТП) эксплуатируется разномарочный подвижной состав, который и будет выполнять эти перевозки, поэтому затраты на перемещение единицы продукта будут разными (затраты на перевозку единицы продукта автомобилем малой или большой грузоподъемности могут различаться в несколько раз). Точно спрогнозировать, каким автомобилем будет осуществлена перевозка, заранее достаточно сложно. Существуют и другие факторы, влияющие на эффективность выполнения плана перевозок: изменение природно-климатических и сезонных условий, дорожная обстановка на маршрутах, большая номенклатура перевозимых грузов, необходимость использования специального подвижного состава, наличие и эффективность работы погрузочно-разгрузочных устройств в пунктах погрузки и выгрузки, объемы минимальных партий перевозок и т.д. Вследствие этого корректно решить поставленную задачу разработки оптимального плана перевозок с использованием аналитических методов расчета не представляется возможным, поскольку таких методов в настоящее время не существует. Поэтому для получения хотя бы приемлемого плана перевозок необходимо упростить поставленную задачу, чтобы можно было применить для ее решения известные математические схемы. В качестве принимаемых допущений используют следующие: перемещается однородный продукт, требующий одного и того же подвижного состава; затраты на перемещение единицы продукта постоянны и не зависят ни от каких реально действующих факторов.

Таким образом, задачу формирования оптимального плана перевозок приводят к решению транспортной задачи, которая решается с использованием математической схемы задачи линейного программирования [1].

Математическая формулировка транспортной задачи линейного программирования

Математически **транспортная задача** линейного программирования формулируется следующим образом [1]. Пусть имеется некоторое количество поставщиков груза (n) и

потребителей груза (m). Количество груза i -го поставщика обозначим a_i , а спрос j -го потребителя b_j . Расстояние от i -го поставщика до j -го потребителя обозначим l_{ij} . Определяемые размеры поставок груза i -м поставщиком j -му потребителю обозначим x_{ij} . С учетом принятых обозначений исходные данные можно представить в виде специальной таблицы (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Транспортная таблица [1]

Потребители	Поставщики						Потребности
	A_1	A_2	....	A_i	....	A_m	
B_1	$l_{11} x_{11}$	$l_{12} x_{12}$	....	$l_{1i} x_{1i}$	....	$l_{1m} x_{1m}$	b_1
B_2	$l_{21} x_{21}$	$l_{22} x_{22}$	....	$l_{2i} x_{2i}$	....	$l_{2m} x_{2m}$	b_2
....							
B_j	$l_{j1} x_{j1}$	$l_{j2} x_{j2}$	....	$l_{ji} x_{ji}$	....	$l_{jm} x_{jm}$	b_j
....							
B_n	$l_{n1} x_{n1}$	$l_{n2} x_{n2}$	....	$l_{ni} x_{ni}$	....	$l_{nm} x_{nm}$	b_n
Запасы	a_1	a_2	....	a_i	....	a_n	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

Целевая функция (критерий оптимальности) – это минимум транспортной работы:

$$W = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n l_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

Оптимизируемые параметры: размеры поставок груза i -м поставщиком j -му потребителю x_{ij} .

Ограничения:

1. Расстояние между поставщиками и потребителями – либо величина положительная, либо равна нулю, т. е. $l_{ij} \geq 0$
2. Общее количество грузов у поставщиков равно спросу всех потребителей:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Иногда возникают ситуации, когда запасы превышают потребности, т.е.

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j ,$$

или когда потребности превышают запасы:

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j .$$

В случае превышения запасов над потребностями вводят фиктивного потребителя $(n+1)$ с потребностью $\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$ и полагают транспортные расходы (расстояние пе-

ревозок до него) равным нулю. В случае превышения потребностей над запасами потребность не может быть ничем перекрыта, поэтому начальные условия необходимо изменить так, чтобы потребность в продукции была обеспечена.

3. Объем перевозок груза, осуществляемых i -м поставщиком, равен количеству имеющегося у него груза:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, (i = 1, 2, \dots, m)$$

4. Объем перевозок груза потребителю равен его спросу:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, (j = 1, 2, \dots, n)$$

5. Размер каждой поставки - число положительное либо равно нулю, т. е. $x_{ij} \geq 0$.

Для решения задач линейного программирования используют следующие методы: *метод северо-западного угла, метод потенциалов, симплекс-метод* и др. Более подробно данные методы описаны в [1]. Представленную транспортную задачу легко решить с помощью процедуры MS Excel **Поиск решения**.

Пример формирования транспортной задачи и ее решения с использованием табличного процессора MS Excel

Имеются пять складов с определенной продукцией и четыре магазина, куда эту продукцию необходимо доставить. Потребность каждого магазина в продукции различна, запасы на каждом складе также различны и ограничены. Требуется определить размеры поставок продукции (в тоннах) с каждого склада в каждый магазин для минимизации общего объема транспортной работы (грузооборота).

Имеются следующие исходные данные (см. табл. 1.2, 1.3, 1.4). В скобках указаны обозначения из приведенной выше математической формулировки транспортной задачи.

Таблица 1.2 - Наличие продукции на складах

Склады	Запасы продукции, т.
Склад №1 (A_1)	12 (a_1)
Склад №2 (A_2)	19 (a_2)
Склад №3 (A_3)	21 (a_3)
Склад №4 (A_4)	15 (a_4)
Склад №5 (A_5)	23 (a_5)
Всего	$90 (\sum_{i=1}^m a_i)$

Таблица 1.3 - Потребность магазинов в продукции

Магазины	Потребность в продукции, т
Магазин №1 (B_1)	20 (b_1)
Магазин №2 (B_2)	15 (b_2)
Магазин №3 (B_3)	22 (b_3)

Магазины	Потребность в продукции, т
Магазин №4 (B ₄)	33 (b ₄)
Всего	$90 (\sum_{j=1}^n b_j)$

Таблица 1.4 – Расстояния между магазинами и складами l_{ij} , км

	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5
Магазин №1	6 (l_{11})	4 (l_{12})	5 (l_{13})	11 (l_{14})	3 (l_{15})
Магазин №2	12 (l_{21})	6 (l_{22})	4 (l_{23})	9 (l_{24})	7 (l_{25})
Магазин №3	15 (l_{31})	7 (l_{32})	10 (l_{33})	4 (l_{34})	12 (l_{35})
Магазин №4	9 (l_{41})	5 (l_{42})	12 (l_{43})	5 (l_{44})	11 (l_{45})

На пересечении строки конкретного магазина со столбцом конкретного склада находится информация о расстояниях между ними.

В данном примере общее количество грузов у поставщиков равно спросу всех потребителей: суммарные запасы продукции на всех складах равны суммарной потребности продукции всех магазинов, т. е. выполняется ограничение

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Запишем в математическом виде другие ограничения и целевую функцию для данного примера:

1. Объем перевозок продукции, осуществляемых с i -го склада, равен запасам имеющейся на нем продукции:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 12 \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 19 \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 21 \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 15 \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} = 23 \end{cases}$$

2. Объем перевозок продукции магазину равен его потребности:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 20 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} = 15 \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} = 22 \\ x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} = 33 \end{cases}$$

3. Целевая функция - минимум транспортной работы - имеет вид:

$$\begin{aligned} \min W = & 6x_{11} + 4x_{12} + 5x_{13} + 11x_{14} + 3x_{15} + 12x_{21} + 6x_{22} + 4x_{23} + 9x_{24} \\ & + 7x_{25} + 15x_{31} + 7x_{32} + 10x_{33} + 4x_{34} + 12x_{35} + 9x_{41} + 5x_{42} \\ & + 12x_{43} + 5x_{44} + 11x_{45} \end{aligned}$$

Для решения транспортной задачи в табличном процессоре MS Excel подготовим необходимые таблицы: план перевозок грузов с указанием расстояния перевозок и распределение поставок продукции (табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Таблицы для решения транспортной задачи в табличном процессоре MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G
1	План перевозок грузов с указанием расстояний перевозок, км						
2	Магазины	Склады					Потребности, т
3		Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
4	Магазин №1	6	4	5	11	3	20
5	Магазин №2	12	6	4	9	7	15
6	Магазин №3	15	7	10	4	12	22
7	Магазин №4	9	5	12	5	11	33
8	Запасы, т	12	19	21	15	23	=ЕСЛИ(СУММ(B7:F7)=СУММ(G3:G6); "Запасы =Потребности"; "Запасы <> Потребностям")
9							
10	Распределение поставок продукции, т						
11	Магазины	Склады					Потребности
12		Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
13	Магазин №1	0	0	0	0	0	=СУММ(B13:F13)
14	Магазин №2	0	0	0	0	0	=СУММ(B14:F14)
15	Магазин №3	0	0	0	0	0	=СУММ(B15:F15)
16	Магазин №4	0	0	0	0	0	=СУММ(B16:F16)
17	Запасы	=СУММ(B13:B16)	=СУММ(C13:C16)	=СУММ(D13:D16)	=СУММ(E13:E16)	=СУММ(F13:F16)	
18	Транспортная работа, т.-км	=СУММПРОИЗВ(B4:F7;B13:F16)					

Далее используем процедуру **Поиск решения** (см. рис. 1.1). В диалоговом окне задаем **целевую ячейку** – это ячейка, в которой вычисляется значение транспортной работы (в табл. 1.5 выделена жирным курсивом). Т.к. целевая функция – это минимум транспортной работы (грузооборота), то целевую ячейку устанавливаем равной **минимальному значению**. Далее задаем изменяемые ячейки, т.е. ячейки, значения которых в ходе оптимизации будут изменяться, - это размеры поставок продукции (в тоннах) с каждого склада в каждый магазин (в табл. 1.5 обведены жирной рамкой, первоначально равны 0).

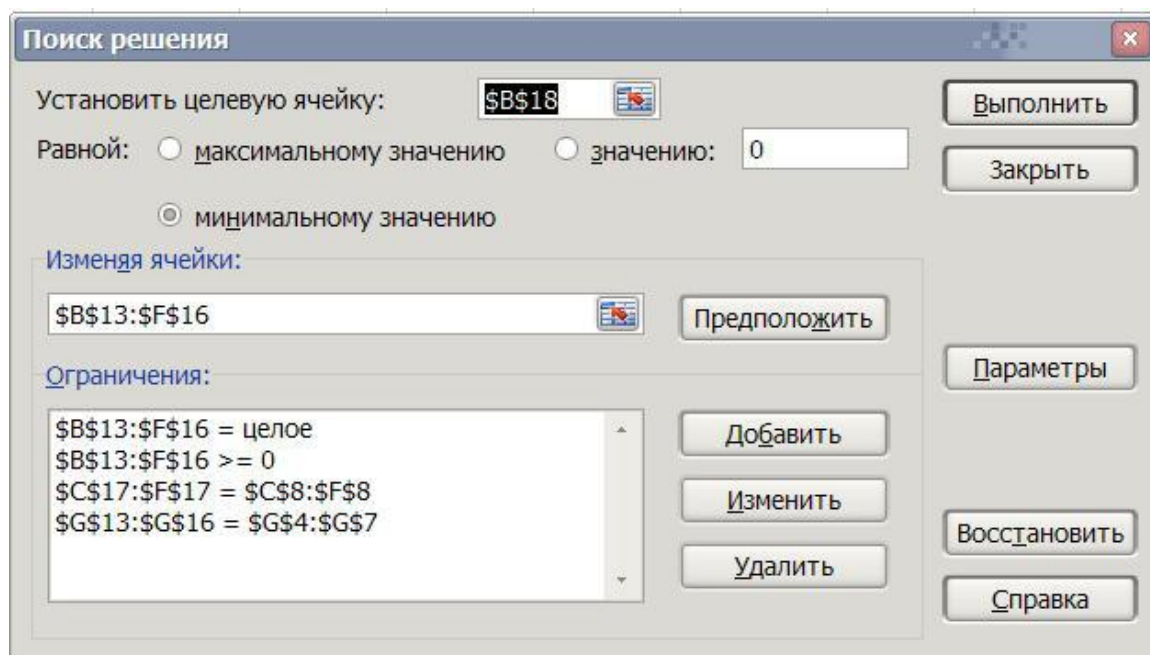


Рисунок 1.1 – Диалоговое окно **Поиск решения**

Затем используя диалоговое окно **Добавление ограничений** (см. рис. 1.2) задаем ограничения: 1) размеры поставок должны быть положительные величины; 2) размер поставки продукции должен быть кратным одной тонне (т.е. размер поставки - целое число); 3) объем перевозок продукции, осуществляемых с *i*-го склада, равен запасам имеющейся на нем продукции; 4) объем перевозок продукции магазину равен его потребности (в табл. 1.5 данные ячейки обведены пунктирной рамкой).

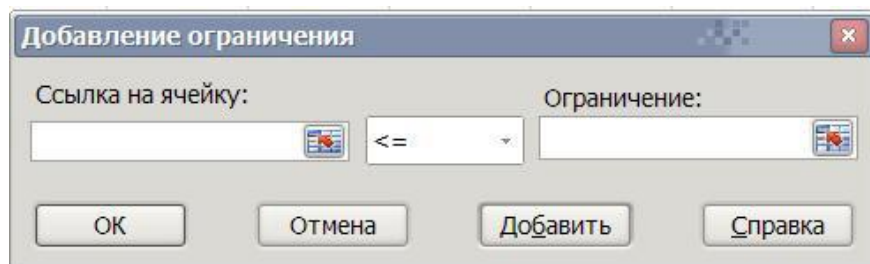


Рисунок 1.2 – Диалоговое окно **Добавление ограничений**

Далее нажимаем кнопку **Выполнить** и в диалоговом окне **Результаты поиска решения** (см. рис. 1.3) указываем **Тип отчета – Результаты** и нажимаем **ОК**.

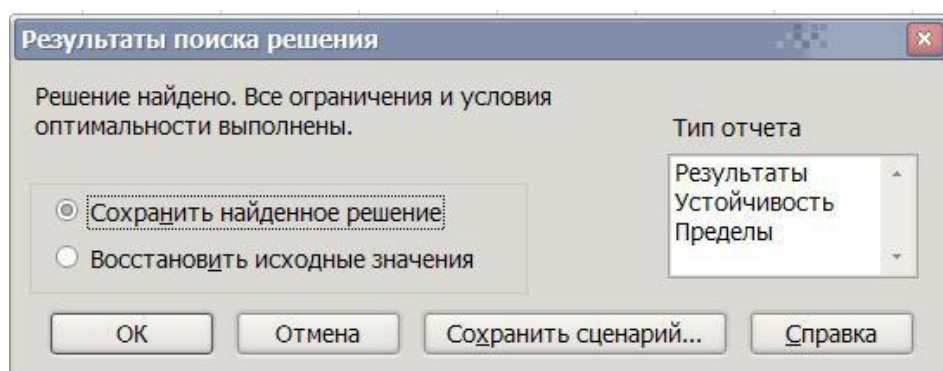


Рисунок 1.3 – Диалоговое окно **Результаты поиска решения**

В целевой ячейке и в изменяемых ячейках будут сохранены найденные оптимальные значения: минимальная транспортная работа и размеры поставок с *i*-го склада в *j*-й магазин, при которых обеспечивается минимум транспортной работы. Также в книге **Excel** на листе **Отчет по результатам** будут представлены полученные значения и др. информация по созданной модели оптимизации.

В результате оптимизации для заданных исходных данных (см. табл. 1.5) минимальное значение транспортной работы (грузооборота) составило 477 т-км, а распределение поставок продукции (оптимизируемые параметры) между складами и магазинами имеет следующий вид (см. табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Распределение поставок продукции между складами и магазинами, т

Магазины	Склады				
	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5
Магазин №1	0	0	0	0	20
Магазин №2	0	0	15	0	0
Магазин №3	0	0	6	15	1
Магазин №4	12	19	0	0	2

Задание: Имеются несколько складов с продукцией и несколько магазинов, куда эту продукцию необходимо доставить. Заданы: потребность каждого магазина в продукции, запасы на каждом складе, расстояния между магазинами и складами. Требуется определить размеры поставок продукции (в тоннах) с каждого склада в каждый магазин для минимизации общего объема транспортной работы (грузооборота).

Исходные данные: принимаются по табл. А.1 в зависимости от номера варианта.

Порядок выполнения: по своим исходным данным создайте таблицы для решения транспортной задачи в табличном процессоре MS Excel, далее используем процедуру **Поиск решения** выполните решение транспортной задачи, сохраните отчет по результатам, оформите отчет по лабораторной работе, ответьте на контрольные вопросы.

Содержание отчета: тема, задание, таблицы с исходными данными (в форме таблиц 1.2,1.3,1.4), распечатка таблиц для решения транспортной задачи после проведения оп-

тимизации (см. табл. 1.5) и отчета по результатам из табличного процессора MS Excel, вывод о размерах поставок и минимуме транспортной работы (см. пример и табл. 1.6), письменные ответы на контрольные вопросы 1-5.

Контрольные вопросы

1. Приведите пример формулировки транспортной задачи.
2. Что является целевой функцией (критерием оптимальности) в транспортной задаче? Запишите целевую функцию, приведите ее размерность, расшифруйте обозначения.
3. Что является оптимизируемыми параметрами при решении транспортной задачи?
4. Какие исходные данные необходимы для решения транспортной задачи? Запишите их в общем виде в таблице, расшифруйте используемые обозначения.
5. Какие ограничения задаются в транспортной задаче линейного программирования? Запишите их формулировку, математические формулы, расшифруйте обозначения.
6. Укажите в MS Excel в созданных таблицах ячейки, в которых содержатся: целевая функция; оптимизируемые параметры. Покажите, как создавали математическую модель для решения транспортной задачи с помощью процедуры **Поиск решения**, вводили ограничения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Принятие решений в условиях риска и неопределенности. Оптимизация зоны текущего ремонта (ТР) с использованием теории игр

Теоретические сведения

Для получения объективных и точных результатов в условиях риска и неопределенности может быть использована **теория игр**, при которых воспроизводятся различные варианты поведения систем и дается оценка их эффективности. Исходными данными для этих методов являются варианты систем, возможные воздействия на нее и соответствующие им вероятности, методика подсчета затрат или дохода при различных вариантах воздействий.

В условиях риска (поскольку процессы вероятностные) решение формируется следующим образом: при заданных внешних воздействиях и вероятностях их появления находят возможные решения и выбирают из них оптимальное.

Предположим, что на систему может оказываться конечное множество воздействий, причем вероятности их появления известны. Для оптимизации структуры системы целесообразно рассмотреть (сформировать) конечное множество вариантов ее структур и оценить для каждого варианта доход при различных внешних воздействиях. Для решения этой задачи необходимо иметь методику расчета (или правила игры).

Для оценки вариантов структур системы строится платежная матрица (табл. 2.1), в ячейках которой записывается доход при различных сочетаниях внешних воздействий и вариантов структур системы.

Таблица 2.1 – Платежная матрица

Варианты структур системы	Внешние воздействия					
	1-е	2-е	...	j-е	...	m-е
1-й	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1m}
2-й	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2m}
...	...	...	...	...	...	...
i-й	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{im}
...	...	...	...	...	...	...
n-й	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nm}

Однако по этой матрице невозможно оценить, какой из вариантов структур будет оптимальным, поскольку в ней отсутствует комплексный показатель эффективности. Для его получения рассчитанные доходы a_{ij} умножают на вероятности внешних воздействий q_j и находят суммарный доход для различных вариантов структур системы:

$$D_{1\Sigma} = \sum_{j=1}^m a_{1j} \cdot q_j;$$

$$D_{2\Sigma} = \sum_{j=1}^m a_{2j} \cdot q_j; \dots;$$

$$D_{i\Sigma} = \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot q_j; \dots;$$

$$D_{n\Sigma} = \sum_{j=1}^m a_{nj} \cdot q_j.$$

Полученные результаты записываются в виде матрицы выигрышей (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Матрица выигрышей

Варианты структур системы	Внешние воздействия						Суммарный доход
	1-е	2-е	...	j-е	...	m-е	
1-й	$a_{11}q_1$	$a_{12}q_2$	...	$a_{1j}q_j$	...	$a_{1m}q_m$	$D_{1\Sigma}$
2-й	$a_{21}q_1$	$a_{22}q_2$	...	$a_{2j}q_j$	...	$a_{2m}q_m$	$D_{2\Sigma}$
...	...	...	...	...	...	...	...
i-й	$a_{i1}q_1$	$a_{i2}q_2$	...	$a_{ij}q_j$	...	$a_{im}q_m$	$D_{i\Sigma}$
...	...	...	...	...	...	...	...
n-й	$a_{n1}q_1$	$a_{n2}q_2$	...	$a_{nj}q_j$	...	$a_{nm}q_m$	$D_{n\Sigma}$

Структура системы будет оптимальной в случае максимального дохода.

Иногда вероятности поступления заявок априорно неизвестны. В этом случае применяют принцип недостаточного основания Лапласа. Согласно этому принципу ни одному состоянию не отдается предпочтение, т. е.

$$q_1 = q_2 = \dots = q_i = \dots q_n = 1/n$$

В этом случае можно ограничиться созданием платежной матрицы и вычислить для нее суммарный доход D_{Σ} .

Пример оптимизации зоны текущего ремонта (ТР) с использованием теории игр

Необходимо определить оптимальное количество постов зоны ТР при заданных доходе за выполнение текущего ремонта, убытке из-за простоя поста ТР и убытке из-за простоя автомобиля. Для упрощения расчетов примем следующие допущения: длительность ремонта равна длительности рабочей смены, вероятность поступления в зоны ТР определяется законом Пуассона:

$$P_k = \frac{A^k}{k!} e^{-A}, \quad (2.1)$$

где A – среднее количество поступлений автомобилей в ремонт за смену, ед./смена;

k – количество отказов (поступлений) автомобилей в зону ТР за смену.

Режим работы зоны ТР – односменный.

Выполним оптимизацию зоны текущего ремонта (ТР) с использованием теории игр для следующих исходных данных (см. табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Исходные данные для оптимизации зоны ТР

Доход за выполнение ремонта $C_{\text{РЕМ}}$, денежные единицы (д. е.)	38
Убыток из-за простоя поста $C_{\text{ПР.ПОСТ}}$, д. е.	19
Убыток из-за простоя автомобиля $C_{\text{ПР.АВТ}}$, д. е.	40
Среднее количество поступлений автомобилей в ремонт за смену A , ед./смена	3

Порядок расчета

1. Определяем вероятность возможных поступлений автомобилей за смену по закону Пуассона (2.1) и заполняем таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Вероятность возможных поступлений автомобилей в смену

Суточное поступление автомобилей в ремонт k_i , шт	0	1	2	3	4	5
Вероятность поступления автомобиля P_{kj}	0,050	0,149	0,224	0,224	0,168	0,101

2. Строим платежную матрицу системы.

В платежной матрице системы рассмотрены варианты зоны ТР с количеством постов от нуля до пяти. В ячейки платежной матрицы записывается доход a_{ij} для рассматриваемой комбинации поступления автомобилей и наличия постов в зоне ТР.

Используем следующие правила заполнения платежной матрицы:

- 1) Если количество постов Π_i равно количеству поступивших автомобилей k_j ($\Pi_i = k_j$), то доход (элемент платежной матрицы) определяется $a_{ij} = \Pi_i \cdot C_{РЕМ}$
- 2) Если количество постов Π_i больше количества поступивших автомобилей k_i ($\Pi_i > k_j$), то доход (элемент платежной матрицы) определяется

$$a_{ij} = k_i \cdot C_{РЕМ} - (\Pi_i - k_j) \cdot C_{ПР.ПОСТ.}$$
- 3) Если количество постов Π_i меньше количества поступивших автомобилей k_i ($\Pi_i < k_j$), то доход (элемент платежной матрицы) определяется

$$a_{ij} = \Pi_i \cdot C_{РЕМ} - (k_i - \Pi_j) \cdot C_{ПР.АВТ.}$$

По результатам расчета заполняем платежную матрицу (см. табл. 2.5).

Поясним данные правила. Сначала подсчитаем возможный доход от работы зоны, имеющей нуль постов. Если за день не придет ни один автомобиль, зона будет иметь нулевой доход. Если за день придет один автомобиль, он простоит, так как в зоне нет постов, а доход от этого простоя составит минус 40 д.е. (т.е. убыток 40 д. е). Если придет два автомобиля, то они тоже простоят, а доход составит минус 80 д. е. Соответственно, если придет три автомобиля, то доход составит минус 120 д.е. и т. д.

Так же рассчитаем доходы от работы однопостовой зоны ремонта за день для тех же вариантов поступления автомобилей. Если за день не придет ни один автомобиль, тогда пост простоит, а доход от этого составит минус 19 д.е. (т.е. убыток 19 д.е). Если за день придет один автомобиль, он будет отремонтирован на посту зоны ТР, а доход составит 38 д.е. Если придет два автомобиля, то один будет отремонтирован, а второй простоит. Доход от выполнения ремонта одного автомобиля составит 38 д. е., а от простоя другого — минус 40 д.е.; суммарный доход составит: $38 - 40 = -2$ д.е. (т.е. убыток 2 д.е.). Аналогично и для других вариантов зоны ТР и количества поступлений автомобилей.

Таблица 2.5 – Платежная матрица системы, д.е.

Количество постов Π_i	Количество поступивших автомобилей k_i					
	0	1	2	3	4	5
0	0	-40	-80	-120	-160	-200
1	-19	38	-2	-42	-82	-122
2	-38	19	76	36	-4	-44
3	-57	0	57	114	74	34
4	-76	-19	38	95	152	112
5	-95	-38	19	76	133	190

3. Строим матрицу выигрышей и определяем оптимальный вариант зоны ТР

Каждый элемент матрицы выигрышей равен произведению дохода a_{ij} (элемента платежной матрицы) на вероятность поступления k автомобилей P_k в зону ТР, т.е.:

$$a_{ij} \cdot P_k.$$

Суммарный доход равен сумме элементов в строке:

$$D_{i\Sigma} = \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot P_{kj}.$$

Далее определяем оптимальный вариант зоны ТР. Оптимальным является то количество постов зоны ТР, при котором суммарный доход будет максимальным.

По результатам расчета строим матрицу выигрышей (см. табл. 2.6).

Таблица 2.6 – Матрица выигрышей, д.е.

Количество постов P_j	Количество поступивших автомобилей k_i						Суммарный средний доход от работы зоны ТР за день $D_{i\Sigma}$
	0	1	2	3	4	5	
0	0,00	-5,97	-17,92	-26,89	-26,89	-20,16	-97,83
1	-0,95	5,68	-0,45	-9,41	-13,78	-12,30	-30,21
2	-1,89	2,84	17,03	8,07	-0,67	-4,44	22,93
3	-2,84	0,00	12,77	25,54	12,43	3,43	54,34
4	-3,78	-2,84	8,51	21,28	25,54	11,29	64,01
5	-4,73	-5,68	4,26	17,03	22,35	19,16	57,38

Из таблицы 2.6 следует, что оптимальной является зона ТР с 4 постами, т.к. для данного количества постов суммарный средний доход от работы зоны ТР за день $D_{i\Sigma}$ будет максимальным.

Задание: Необходимо определить оптимальное количество постов зоны ТР при заданных: доходе за выполнение текущего ремонта, убытке из-за простоя поста ТР и убытке из-за простоя автомобиля. Длительность ремонта равна длительности рабочей смены, вероятность поступления в зоны ТР определяется законом Пуассона.

Исходные данные: принимаются по табл. А.2 в зависимости от номера варианта.

Порядок выполнения: используя файл **ОНИ_теория игр.xls** по своим исходным данным заполните необходимые данные, запрограммируйте необходимые формулы, оформите отчет по лабораторной работе, ответьте на контрольные вопросы. При этом анализируемое количество постов зоны ТР и количество поступающих автомобилей в зону ТР должно быть не менее чем на 2 больше, чем среднее количество поступлений автомобилей в ремонт за смену **А**.

Содержание отчета: тема, задание, таблица с исходными данными, распечатка файла **ОНИ_теория игр.xls** со своими результатами расчета, вывод об оптимальном количестве постов зоны ТР, письменные ответы на контрольные вопросы 1-6.

Контрольные вопросы

1. Какой математический метод может использоваться для принятия решения в условиях риска и неопределенности?
2. Какие исходные данные необходимы для использования теории игр?
3. Какие данные записываются в ячейки платежной матрицы?
4. Как определяются элементы матрицы выигрышей? Запишите формулу, поясните.
5. Как определяются суммарный доход для различных вариантов структуры системы в матрице выигрышей? Запишите формулу, поясните. Какой вариант структуры является оптимальным?
6. Запишите правила заполнения платежной матрицы для зоны ТР, расшифруйте обозначения. Поясните, как формируются данные правила.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Планирование эксперимента. Полный и дробный факторный эксперимент

Теоретические сведения

Эксперимент - это система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях. Эксперимент состоит из опытов.

Опыт - это воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов. Условия опытов определяются **уровнями (значениями) факторов**.

Фактор - это переменная величина, по предположению влияющая на результаты эксперимента.

Уровень фактора - это фиксированное значение фактора относительно начала отсчета.

Отклик - это наблюдаемая случайная переменная, по предположению, зависящая от факторов.

Пассивный эксперимент – это эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются. Пример пассивного эксперимента - это **подконтрольная эксплуатация автомобилей**. В этом случае в автотранспортном предприятии (АТП) выделяется специальная группа подконтрольных автомобилей (выборка), выполняющая обычную транспортную работу. На каждый автомобиль заводится специальный журнал, где фиксируется и накапливается информация о всех отказах и неисправностях, на каком пробеге они произошли или выявлены, данные о нагрузках, виде перевозимого груза, среднесуточных пробегах, пробегах до ТО и между ремонтами и т.п. Основной недостаток пассивного эксперимента: информация слишком «запаздывает», т.е. время обратной связи очень значительно. Например, от разработки

какого-либо узла до момента поступления информации о его надежности из сферы эксплуатации проходит несколько лет.

Активный эксперимент - это эксперимент, в котором уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем. Активный эксперимент проводится в соответствии с планом эксперимента.

Этапы проведения экспериментальных исследований

1. Формирование целей исследований
2. Выдвижение гипотезы об исследуемом объекте
3. Планирование эксперимента
4. Проведение эксперимента
5. Обработка и анализ результатов
6. Проверка правильности выдвинутой гипотезы
7. Выдвижение новой гипотезы, если необходимо
8. Проверка условий окончания эксперимента
9. Планирование нового эксперимента (при необходимости)

Планирование эксперимента – это выбор плана эксперимента, удовлетворяющего заданным требованиям. Основным требованием при планировании эксперимента является минимизация времени и числа опытов при сохранении требуемой достоверности результатов. Изменение уровней факторов происходит в соответствии с планом эксперимента.

План эксперимента - совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов. Исследователь в каждом опыте изменяет *уровни управляемых факторов* $x_1, x_2, \dots, x_n$, воздействующих на объект исследования, и регистрирует *отклик (выходной параметр)* y . В результате проведения эксперимента необходимо определить **функцию отклика** y - зависимость математического ожидания отклика от факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m).$$

где $b_0, b_1, \dots, b_m$ – параметры модели.

Функцию отклика называют также *моделью регрессионного анализа или регрессионной моделью*, а $b_0, b_1, \dots, b_m$ – коэффициентами регрессии.

Функция отклика должна иметь числовое выражение, четкий физический или экономический смысл, быть информативной (т.е. характеризовать свойства объекта) и измеряться с требуемой точностью. Факторы должны быть управляемыми, совместимыми, независимыми, однозначными и непосредственно влиять на отклик [1,2].

Планирование эксперимента обладает рядом *преимуществ* [2]:

- резко сокращается число испытаний;
- схема исследования объекта становится формализованной.
- проводится **последовательный эксперимент**, т.е. эксперимент, реализуемый в виде серий опытов, при этом условия проведения каждой последующей серии определяются результатами предыдущих
- процедура разработки математических моделей упрощается;
- точность математических моделей (их адекватность результатам эксперимента) повышается.

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

План, содержащий все возможные комбинации всех факторов на определенном числе уровней, называется **полным факторным планом**, а эксперимент, проводимый в соответствии с данным планом, – **полным факторным экспериментом (ПФЭ)**. 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**, т.е. преобразуют натуральные значения факторов в безразмерные. 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», среднее значение – «0». Нормализация факторов выполняется по следующей формуле

$$x_i = \frac{X_i - X_{CPI}}{\Delta X_i}, \Delta X_i = \frac{X_{MAXi} - X_{MINi}}{2}, X_{CPI} = \frac{X_{MAXi} + X_{MINi}}{2}, \quad (3.1)$$

где x_i - нормализованное значение i -го фактора;

X_i - натуральное значение i -го фактора;

X_{CPI} - среднее значение i -го фактора;

ΔX_i - интервал варьирования i -го фактора.

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

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2, \quad (3.2)$$

где X_1 и X_2 – два контролируемых фактора;

b_0, b_1, b_2 – параметры модели (коэффициенты регрессии).

Для двух факторов количество опытов полного факторного плана равно $N = p^k = 2^2 = 4$. Составляют **матрицу плана** – стандартную форму записи условий проведения эксперимента в виде прямоугольной таблицы, строки которой отвечают опытам, столбцы – факторам (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Матрица полного факторного эксперимента для двух факторов

№ опыта u	Нормализованные значения факторов		Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимен- та, y_u
	x_1	x_2	
1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	y_2
3	-1	-1	y_3
4	+1	-1	y_4

Графический план ПФЭ для двух факторов в факторном пространстве можно представить в виде квадрата (см. рис. 3.1).

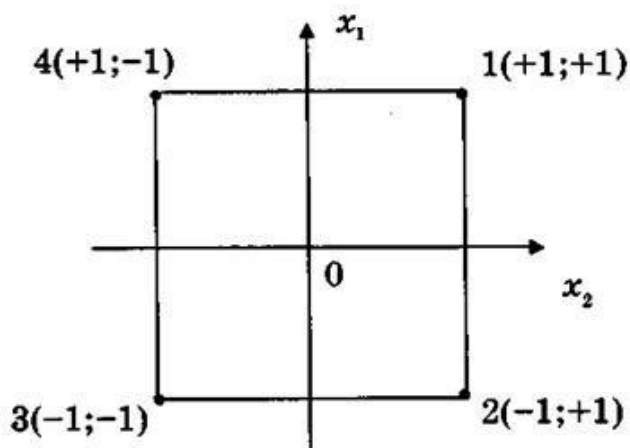


Рисунок 3.1 – Схема плана ПФЭ типа 2^2 [2]

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

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2, \quad (3.3)$$

т. е. учитывается эффект взаимодействия факторов X_1X_2 , вычисляют параметры модели и проверяют ее адекватность. Коэффициент b_{12} оценивает эффект парного взаимодействия факторов X_1 и X_2 , и показывает силу влияния одного фактора в зависимости от уровня другого. Матрица планирования эксперимента с учетом эффектов взаимодействия называется расширенной матрицей планирования (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Расширенная матрица полного факторного эксперимента для двух факторов

№ опыта u	Нормализованные значения факторов			Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимента, y_u
	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	
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 регрессионной модели определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u, \\
 b_i &= \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (x_i Y)_u, \\
 b_{ij} &= \frac{1}{N} \sum (x_i x_j Y)_u,
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

где N – число опытов;

i, j – номера факторов;

x_i, x_j – нормализованные значения факторов;

Y_u – измеренное значение отклика в u -м опыте.

Например, значение коэффициента b_1 определяется:

$$b_1 = \frac{(+1) \cdot y_1 + (-1) \cdot y_2 + (-1) \cdot y_3 + (+1) \cdot y_4}{4}.$$

Если модель адекватна, то заканчивают эксперимент. Если модель не адекватна, то модель предполагается квадратичной в виде:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 \tag{3.5}$$

Далее составляется план для определения параметров квадратичной модели, проводятся недостающие опыты, определяются параметры модели и проверяется ее адекватность.

Графическим представлением функции отклика является поверхность отклика (см. рис. 3.2).

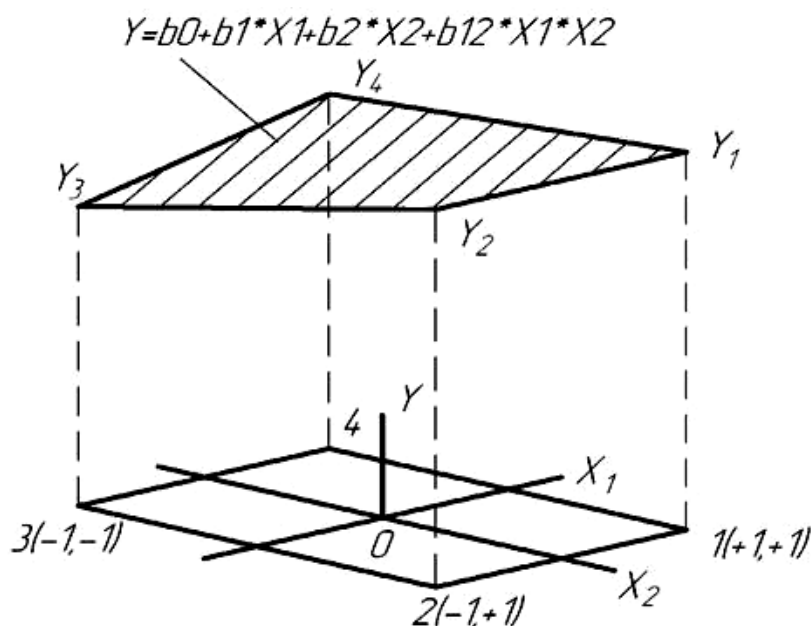


Рисунок 3.2 – Поверхность отклика $y = f(x_1, x_2)$ в факторном пространстве

После определения параметров нормализованное модели переходят к натуральной модели, с помощью которой можно определить значение отклика y по значениям факторов x_1, x_2 .

Для трех факторов количество опытов ПФЭ равно $N = 2^3 = 8$, линейная регрессионная модель имеет вид $Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$, а матрица ПФЭ дана в табл. 3.3

Таблица 3.3 – Матрица полного факторного эксперимента для трех факторов

№ опыта, u	Нормализованные значения факторов			Значение отклика y_u
	x_1	x_2	x_3	
1	+1	+1	-1	y_1
2	-1	+1	-1	y_2
3	-1	-1	-1	y_3
4	+1	-1	-1	y_4
5	+1	+1	+1	y_5
6	-1	+1	+1	y_6
7	-1	-1	+1	y_7
8	+1	-1	+1	y_8

С увеличением количества факторов количество опытов полного факторного эксперимента резко возрастает. Например, для 5 факторов количество опытов ПФЭ равно $2^5=32$.

Для сокращения количества опытов при большом числе факторов используется **дробный факторный эксперимент (ДФЭ)** – это эксперимент, содержащий часть комбинаций полного факторного эксперимента.

Идея построения плана дробного факторного эксперимента заключается в замене в расширенной матрице планирования ПФЭ наиболее слабого эффекта парного взаимодействия (произведения факторов) новым фактором.

Рассмотрим это на примере ДФЭ для 3 факторов. Необходимо найти по результатам активного эксперимента параметры линейной модели для 3 факторов:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3. \quad (3.6)$$

Для полного факторного эксперимента необходимое количество опытов составляет $N=p^k=2^3=8$. Для сокращения количества опытов используем дробный факторный эксперимент. Для построения плана ДФЭ в расширенной матрице планирования ПФЭ типа 2^2 заменяем эффект парного взаимодействия $X_1 \cdot X_2$ новым фактором X_3 . Необходимое количество опытов ДФЭ составит $2^{3-1}=4$ вместо 8 для ПФЭ (см. табл. 3.4). Параметры модели определяется как же, как и для ПФЭ.

Таблица 3.4 - Матрица планирования ДФЭ для 3 факторов (полуреплика 2^{3-1})

№ опыта, u	Нормализованные значения факторов			Значение отклика y_u
	x_1	x_2	x_3	
1	+1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	-1	y_2
3	-1	-1	+1	y_3
4	+1	-1	-1	y_4

При составлении плана ДФЭ наиболее распространены регулярные дробные реплики, которые получают делением числа опытов соответствующего ПФЭ на число, кратное двум. Составляют дробные реплики заменой некоторых эффектов взаимодействия новыми факторами. Минимальная дробная реплика для построения линейной модели должна включать $(k+1)$ опытов, где k – число факторов.

Пример построения регрессионной модели с использованием дробного факторного эксперимента

Для оценки влияния различных неисправностей двигателя ЗИЛ-138А, работающего на сжатом природном газе (СПГ) на мощностные показатели его работы необходимо спланировать и провести дробный факторный эксперимент, а затем по его результатам определить зависимость эффективной мощности двигателя N_e , кВт, (отклик Y) от следующих управляемых факторов: коэффициент избытка воздуха (фактор X_1), угол опережения зажигания (фактор X_2 , градусы), зазор между электродами свечей зажигания (фактор X_3 , мм).

Также задаются значения угла замкнутого состояния контактов прерывателя-распределителя и величины теплового зазора в механизме газораспределения. Двигатель испытывается на стенде при частоте каленчатого вала 2000 мин^{-1} на трех режимах: холостой ход, частичная нагрузка (разрежение за дроссельной заслонкой $\Delta P_{др} = 20 \text{ кПа}$) и полные нагрузки (полное открытие дроссельной заслонки).

Предварительно принимаем гипотезу, что связь между факторами и откликом можно аппроксимировать с помощью линейной регрессионной модели вида:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3.$$

Таблица 3.5 – Исходные данные

Коэффициент избытка воздуха (фактор X_1)		Угол опережения зажигания (фактор X_2), градусы		Зазор между электродами свечей зажигания (фактор X_3), мм		Угол замкнутого состояния контактов прерывателя-распределителя, градусы	Величина теплового зазора в механизме газораспределения, мм
MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
0,85	1,10	30	50	0,5	1,4	38	0,5

Порядок расчета

1. Нормализуем натуральные значения факторов по формулам (3.1) и сводим в таблицу 3.6

Для фактора X_1 (коэффициент избытка воздуха):

$$X_{CP1} = \frac{X_{MAX1} + X_{MIN1}}{2} = \frac{1,10 + 0,85}{2} = 0,975$$

$$\Delta X_1 = \frac{X_{MAX1} - X_{MIN1}}{2} = \frac{1,10 - 0,85}{2} = 0,125$$

$$X_{1MIN} = \frac{X_{1MIN} - X_{CP1}}{\Delta X_1} = \frac{0,85 - 0,975}{0,125} = -1$$

$$X_{1MAX} = \frac{X_{1MAX} - X_{CP1}}{\Delta X_1} = \frac{1,10 - 0,975}{0,125} = 1$$

Таблица 3.6 – Натуральные значения факторов

Обо- значе- ние факто- ра	Минимальное значе- ние фактора		Максимальное зна- чение фактора		Среднее значение фактора		Интервал варьи- рования фактора ΔX (натур альное значе- ние)
	Нату- ральное	Нормали- зованное	Нату- ральное	Нормали- зованное	Нату- ральное	Нор- мали- зован- ное	
X_1	0,85	-1	1,10	+1	0,975	0	0,125
X_2	30	-1	50	+1	40	0	10
X_3	0,5	-1	1,4	+1	0,95	0	0,45

2. Составляем матрицу планирования дробного факторного эксперимента (ДФЭ) для 3 факторов (по аналогии с табл. 3.4).

После составления матрицы планирования ДФЭ по составленному плану проводится эксперимент, при этом в каждом опыте фактор фиксируется на заданном уровне (минимальном или максимальном). Например, в опыте № 1 у фактора X_1 (коэффициент избытка воздуха) нормализованное значение равно «+1», а натуральное значение, которое устанавливается при проведении опыта, равно 1,1. Аналогично и для других опытов и факторов. В результате проведения каждого опыта определяется значение отклика Y , т.е. значение эффективной мощности двигателя N_e , кВт. Данные значения также заносятся в матрицу планирования.

Таблица 3.7 - Матрица планирования ДФЭ для 3 факторов

№ опы- та, и	Фактор X_1 (Коэффициент из- бытка воздуха)		Фактор X_2 (Угол опереже- ния зажигания)		Фактор X_3 (Зазор между электродами све- чей зажигания)		Значение откли- ка Y (эффективная мощность двига- теля N_e , кВт), полученное в ре- зультате опыта
	Нату- ральное значе- ние	Норма- лизо- ванное значе- ние	Нату- ральное значе- ние, градусы	Нор- мали- зован- ное значе- ние	Нату- раль- ное значе- ние, мм	Норма- лизован- ное зна- чение	
1	1,1	+1	50	+1	1,4	+1	52,492
2	0,85	-1	50	+1	0,5	-1	57,234
3	1,1	-1	30	-1	1,4	+1	45,900
4	0,85	+1	30	-1	0,5	-1	45,094

3. Определяем коэффициенты регрессии (параметры регрессионной модели) b_0, b_1, b_2, b_3 по формулам (3.4) и их значимость.

Для коэффициента b_0 :

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u = \frac{52,492+57,234+45,900+45,094}{4} = 50,180$$

Для коэффициента b_1 :

$$b_1 = \frac{1}{4} \sum_{u=1}^4 (x_1 Y)_u = \frac{(+1) \cdot y_1 + (-1) \cdot y_2 + (-1) \cdot y_3 + (+1) \cdot y_4}{4} =$$

$$= \frac{(+1) \cdot 52,492 + (-1) \cdot 57,234 + (-1) \cdot 45,900 + (+1) \cdot 45,094}{4} = -1,387.$$

Аналогично определяем значения для b_2, b_3 : $b_2 = 4,683$; $b_3 = -0,984$.

Статистическая оценка значимости коэффициентов регрессии предназначена для исключения второстепенных факторов, не влияющих на функцию отклика.

Для оценки коэффициентов регрессии сначала определяют *дисперсию воспроизводимости* эксперимента, которая характеризует разброс значений отклика при проведении параллельных (дублирующих) опытов:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2,$$

где N - количество основных опытов (серий);

S_u^2 - дисперсия, полученная при проведении параллельных опытов в каждой серии:

$$S_u^2 = \frac{\sum_{k=1}^m y_{uk} - \bar{y}_u^2}{m-1}, (k = 1, 2, \dots, m);$$

где y_{uk} - значение отклика в k -м опыте; $\bar{y}_u$ - среднее значение отклика в u -ой серии; количество параллельных опытов в серии ($m=3$).

В каждом проводимом основном опыте (серии) опыт повторялся 3 раза, а затем вычислялась дисперсия воспроизводимости. По данным эксперимента дисперсия воспроизводимости равна:

$$S_y^2 = 0,5943.$$

Далее находим дисперсию оценок коэффициентов регрессии

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{N \cdot m},$$

где N - количество опытов, m – количество параллельных опытов ($m=3$).

Для проводимого эксперимента дисперсия оценок коэффициентов регрессии:

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{N \cdot m} = \frac{0,5943}{4 \cdot 3} = 0,0495.$$

Доверительный интервал рассеяния коэффициентов уравнения регрессии определяют:

$$\delta = S_b \cdot t(\alpha, k_2),$$

где $t(\alpha, k_2)$ - критерий Стьюдента, его принимают исходя из заданного уровня значимости $\alpha=0,05$ (т.е. вероятность ошибки 5%) и числу степеней свободы $k_2 = N \cdot (m - 1)$.

Для проводимого эксперимента $k_2 = 4 \cdot (3 - 1) = 8$, а критерий Стьюдента $t(0,05; 8) = 2,306$.

Доверительный интервал рассеяния коэффициентов уравнения регрессии :

$$\delta = t(\alpha, k_2) \cdot S_b = t(\alpha, k_2) \cdot \sqrt{S_b^2} = 2,306 \cdot \sqrt{0,0495} = 0,513$$

Если $|b_j| \geq \delta$, то коэффициент регрессии значим. Если $|b_j| < \delta$, то коэффициент регрессии не значим, т.е. $b_j = 0$.

По результатам эксперимента все коэффициенты значимы:

$$|50,180| > 0,513$$

$$|-1,387| > 0,513$$

$$|4,683| > 0,513$$

$$|-0,984| > 0,513.$$

Нормализованная регрессионная модель имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 = 50,180 - 1,387 \cdot x_1 + 4,683 \cdot x_2 - 0,984 \cdot x_3.$$

4. Проверяем полученную регрессионную модель на адекватность для того, чтобы определить насколько расчетные значения соответствуют эмпирическим и можно ли использовать полученную регрессионную модель для расчета и прогнозирования значений отклика.

Находим опытное значение критерия Фишера $F_{оп}$, если $F_{оп} < F_{теор}$, то модель адекватна, и наоборот. Критерий Фишера вычисляется [1]:

$$F_{оп} = \frac{S_{yHA}^2}{S_y^2},$$

где S_{yHA}^2 - дисперсия неадекватности:

$$S_{yHA}^2 = \frac{m \sum_{u=1}^N y_{uPACЧ} - \overline{y_{uOПЫТ}}^2}{N - n},$$

где $y_{uPACЧ}$ - значение отклика, рассчитанное по регрессионной модели для u -й комбинации факторов; $\overline{y_{uOПЫТ}}$ - среднее значение отклика, полученное в u -м опыте, n - количество факторов.

Теоретическое значение критерия Фишера F_{TEOP} определяется по справочным таблицам [1, 2] в зависимости от уровня значимости α и числа степеней свободы $k_1 = N - n$ и k_2 .

Для расчета критерия Фишера сведем в табл. 3.8 значения отклика, полученные по регрессионной модели и полученные в ходе эксперимента. Из данной таблицы видно, что значения совпадают, поэтому считаем, что модель адекватна и расчет критерия Фишера не выполняем.

Таблица 3.8 – Сравнение значений экспериментальных и расчетных значений отклика

№ опыта, u	Значение отклика $\overline{y_{uOПЫТ}}$ (эффективная мощность двигателя N_e , кВт), полученное в результате опыта	Значение отклика $y_{uPACЧ}$ (эффективная мощность двигателя N_e , кВт), рассчитанное по регрессионной модели
1	52,492	52,492
2	57,234	57,234
3	45,900	45,900
4	45,094	45,094

5. Переходим к натуральной модели и выполняем прогнозирование значения отклика для заданных значений факторов, которые лежат в области экспериментирования.

Для перехода к натуральной модели в нормализованной модели нормализованные факторы заменяем на натуральные с помощью формул (3.1):

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 = b_0 + b_1 \cdot \frac{X_1 - X_{CP1}}{\Delta X_1} + b_2 \cdot \frac{X_2 - X_{CP2}}{\Delta X_2} + b_3 \cdot \frac{X_3 - X_{CP3}}{\Delta X_3}$$

$$Y = b_0 + b_1 \cdot \frac{X_1 - X_{CP1}}{\Delta X_1} + b_2 \cdot \frac{X_2 - X_{CP2}}{\Delta X_2} + b_3 \cdot \frac{X_3 - X_{CP3}}{\Delta X_3}$$

Для примера натуральная модель имеет вид:

$$Y = 50,180 - 1,387 \cdot x_1 + 4,683 \cdot x_2 - 0,984 \cdot x_3 =$$

$$= 50,180 - 1,387 \cdot \frac{X_1 - 0,975}{0,125} + 4,683 \cdot \frac{X_2 - 40}{10} - 0,984 \cdot \frac{X_3 - 0,95}{0,45}$$

Выполняем прогнозирование значения отклика Y (эффективной мощности двигателя N_e , кВт) для факторов X_1 , X_2 , X_3 , нормализованные значения которых равны 0,5. Формулы для расчета натуральных значений факторов выражаем из (3.1), результаты сводим в табл. 3.9

Таблица 3.9 – Нормализованные и натуральные значения факторов

Фактор X_1 (Коэффициент избытка воздуха)		Фактор X_2 (Угол опережения зажига- ния)		Фактор X_3 (Зазор между электродами свечей зажигания)	
Натураль- ное зна- чение	Нормализо- ванное значе- ние	Натураль- ное зна- чение, градусы	Нормализо- ванное значе- ние	Натураль- ное зна- чение, мм	Нормализо- ванное значе- ние
1,0375	0,5	45	0,5	1,175	0,5

Выполняем расчет с использованием натуральной модели

$$Y = 50,180 - 1,387 \cdot \frac{X_1 - 0,975}{0,125} + 4,683 \cdot \frac{X_2 - 40}{10} - 0,984 \cdot \frac{X_3 - 0,95}{0,45} =$$

$$= 50,180 - 1,387 \cdot \frac{1,0375 - 0,975}{0,125} + 4,683 \cdot \frac{45 - 40}{10} - 0,984 \cdot \frac{1,175 - 0,95}{0,45} = 51,336 \text{ кВт}.$$

Аналогичный расчет можно выполнить с использованием нормализованной модели:

$$Y = 50,180 - 1,387 \cdot x_1 + 4,683 \cdot x_2 - 0,984 \cdot x_3 =$$

$$= 50,180 - 1,387 \cdot 0,5 + 4,683 \cdot 0,5 - 0,984 \cdot 0,5 = 51,336 \text{ кВт}$$

Задание: Необходимо спланировать и провести дробный факторный эксперимент для оценки влияния различных неисправностей двигателя ЗИЛ-138А, работающего на сжатом природном газе (СПГ) на мощностные показатели его работы, а затем по результатам эксперимента определить зависимость эффективной мощности двигателя N_e , кВт, (отклик Y) от следующих управляемых факторов: коэффициент избытка воздуха (фактор X_1), угол опережения зажигания (фактор X_2 , градусы), зазор между электродами свечей зажигания (фактор X_3 , мм).

Исходные данные: принимаются по табл. А.3 в зависимости от номера варианта.

Порядок выполнения: используя файл **ОНИ_ДФЭ.xls** по своим исходным данным заполните необходимые данные, запрограммируйте необходимые формулы и выполните необходимые расчеты (последовательность расчета приведена выше в примере), оформите отчет по лабораторной работе, ответьте на контрольные вопросы.

Содержание отчета: тема, задание, таблица с исходными данными, распечатка файла **ОНИ_ДФЭ.xls** со своими результатами расчета, письменные ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий: эксперимент, опыт, фактор, отклик, уровень фактора, план эксперимента, активный эксперимент, полный факторный эксперимент, матрица плана эксперимента.
2. Что определяется в ходе эксперимента?
3. Назовите основные требования при планировании эксперимента?
4. В чем заключается нормализация факторов при планировании эксперимента? С какой целью она проводится?
5. Запишите расширенную матрицу полного факторного эксперимента для двух факторов и регрессионную модель, параметры которой определяются по данной матрице.
6. Изобразите схему плана ПФЭ для 2-х факторов и для 3-х факторов в факторном пространстве.
7. Запишите матрицу полного факторного эксперимента для трех факторов и регрессионную модель, параметры которой определяются по данной матрице.
8. Укажите назначение дробного факторного эксперимента?
9. В чем заключается идея дробного факторного эксперимента?
10. Запишите матрицу ДФЭ для линейной трехфакторной регрессионной модели
11. Какое минимальное количество опытов должен содержать план ДФЭ для определения параметров линейной модели с k факторами?

Список используемых источников

1. Коваленко, Н. А. Научные исследования и решение инженерных задач в сфере автомобильного транспорта: учеб. пособие / Н. А. Коваленко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФА-М, 2011 – 271 с.: ил.
2. Научные исследования и решение инженерных задач: Учебн. пособие/ С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003.

Приложение А

Таблица А.1 – Исходные данные для решения транспортной задачи.

Вариант №1

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	10	4	5	11	3	35
Магазин №2	12	6	4	9	7	25
Магазин №3	15	7	10	4	12	29
Магазин №4	9	5	12	5	11	33
Запасы, т	12	19	21	15	55	

Вариант №2

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	16	10	11	17	9	24
Магазин №2	18	12	10	15	13	31
Магазин №3	21	13	16	10	18	29
Магазин №4	15	11	18	11	17	24
Запасы, т	10	18	19	12	49	

Вариант №3

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	19	13	14	20	12	19
Магазин №2	21	15	13	18	16	41
Магазин №3	24	16	19	13	21	22
Магазин №4	18	14	21	14	20	37
Запасы, т	18	16	24	19	42	

Вариант №4

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	8	2	3	9	1	29
Магазин №2	10	4	2	7	5	18
Магазин №3	13	5	8	2	10	21
Магазин №4	7	3	10	3	9	30
Запасы, т	13	8	26	18	33	

Вариант №5

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	14	8	9	15	7	20
Магазин №2	16	10	8	13	11	39
Магазин №3	19	11	14	8	16	31
Магазин №4	13	9	16	9	15	37
Запасы, т	30	9	41	19	28	

Вариант №6

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	17	11	12	18	10	61
Магазин №2	19	13	11	16	14	18
Магазин №3	22	14	17	11	19	44
Магазин №4	16	12	19	12	18	15
Запасы, т	42	14	35	19	28	

Вариант №7

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	12	6	7	13	5	92
Магазин №2	14	8	6	11	9	27
Магазин №3	17	9	12	6	14	17
Магазин №4	11	7	14	7	13	64
Запасы, т	81	43	16	22	38	

Вариант №8

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	11	5	6	12	4	45
Магазин №2	13	7	5	10	8	36
Магазин №3	16	8	11	5	13	29
Магазин №4	10	6	13	6	12	48
Запасы, т	32	19	54	43	10	

Вариант №9

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	13	7	8	14	6	38
Магазин №2	15	9	7	12	10	49
Магазин №3	18	10	13	7	15	45
Магазин №4	12	8	15	8	14	50
Запасы, т	61	19	52	36	14	

Вариант №10

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	15	9	10	16	8	24
Магазин №2	17	11	9	14	12	20
Магазин №3	20	12	15	9	17	37
Магазин №4	14	10	17	10	16	58
Запасы, т	19	31	16	47	26	

Вариант №11

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	18	12	13	19	11	36
Магазин №2	20	14	12	17	15	24
Магазин №3	23	15	18	12	20	28
Магазин №4	17	13	20	13	19	33
Запасы, т	9	18	35	28	31	

Вариант №12

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	21	15	16	22	14	42
Магазин №2	23	17	15	20	18	86
Магазин №3	26	18	21	15	23	27
Магазин №4	20	16	23	16	22	49
Запасы, т	17	46	85	15	41	

Вариант №13

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	20	14	15	21	13	36
Магазин №2	22	16	14	19	17	72
Магазин №3	25	17	20	14	22	28
Магазин №4	19	15	22	15	21	26
Запасы, т	42	15	34	19	52	

Вариант №14

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	22	16	17	23	15	19
Магазин №2	24	18	16	21	19	53
Магазин №3	27	19	22	16	24	62
Магазин №4	21	17	24	17	23	24
Запасы, т	36	18	41	46	17	

Вариант №15

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	26	20	21	27	19	35
Магазин №2	28	22	20	25	23	82
Магазин №3	31	23	26	20	28	46
Магазин №4	25	21	28	21	27	33
Запасы, т	28	46	29	71	22	

Вариант №16

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	29	23	24	30	22	66
Магазин №2	31	25	23	28	26	56
Магазин №3	34	26	29	23	31	31
Магазин №4	28	24	31	24	30	83
Запасы, т	62	46	18	67	43	

Вариант №17

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	32	26	27	33	25	22
Магазин №2	34	28	26	31	29	38
Магазин №3	37	29	32	26	34	49
Магазин №4	31	27	34	27	33	23
Запасы, т	8	46	25	11	42	

Вариант №18

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	11	12	18	10	40	33
Магазин №2	13	11	16	14	34	27
Магазин №3	14	17	11	19	26	19
Магазин №4	12	19	12	18	48	41
Запасы, т	44	21	7	12	36	

Вариант №19

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	21	22	28	20	43	26
Магазин №2	23	21	26	24	74	57
Магазин №3	24	27	21	29	116	99
Магазин №4	22	29	22	28	57	40
Запасы, т	33	26	52	41	70	

Вариант №20

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	27	28	34	26	66	43
Магазин №2	29	27	32	30	75	52
Магазин №3	30	33	27	35	64	41
Магазин №4	28	35	28	34	40	17
Запасы, т	63	12	14	35	29	

Вариант №21

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	12	13	19	11	81	73
Магазин №2	14	12	17	15	20	12
Магазин №3	15	18	12	20	42	34
Магазин №4	13	20	13	19	49	41
Запасы, т	49	34	16	24	37	

Вариант №22

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	23	24	30	22	72	53
Магазин №2	25	23	28	26	47	28
Магазин №3	26	29	23	31	65	46
Магазин №4	24	31	24	30	103	84
Запасы, т	16	43	25	46	81	

Вариант №23

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	3	4	10	2	64	65
Магазин №2	5	3	8	6	22	23
Магазин №3	6	9	3	11	62	63
Магазин №4	4	11	4	10	12	13
Запасы, т	36	15	42	16	55	

Вариант №24

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	28	29	35	27	28	4
Магазин №2	30	28	33	31	42	18
Магазин №3	31	34	28	36	77	53
Магазин №4	29	36	29	35	65	41
Запасы, т	19	36	25	7	29	

Вариант №25

	Расстояние перевозок, км					Потребности, т
Магазины	Склад №1	Склад №2	Склад №3	Склад №4	Склад №5	
Магазин №1	20	14	15	21	13	36
Магазин №2	22	16	14	19	17	72
Магазин №3	25	17	20	14	22	28
Магазин №4	19	15	22	15	21	26
Запасы, т	42	15	34	19	52	

Таблица А.2 – Исходные данные для оптимизации зоны ТР с использованием теории игр

Вар. №	Доход за выполнение ремонта Срем , денежные единицы (д.е.)	Убыток из-за простоя поста Спр.пост , д.е.	Убыток из-за простоя автомобиля Спр. авто , д.е.	Среднее количество поступлений автомобилей в ремонт за смену А , ед/смена
1	40	15	40	3
2	45	20	45	4
3	50	25	50	5
4	55	30	35	3
5	60	35	55	3
6	65	40	65	5
7	60	45	65	4
8	55	50	70	5
9	50	45	65	4
10	45	40	60	3
11	40	35	55	2
12	48	30	50	3
13	56	25	45	4
14	64	20	40	5
15	50	15	35	4
16	52	25	30	5
17	64	40	45	3
18	48	30	35	4
19	59	20	25	5
20	43	35	40	2
21	41	15	25	4
22	56	25	35	3
23	61	30	40	5
24	68	45	50	2
25	70	40	45	4

Таблица А.3 – Исходные данные для выполнения планирования эксперимента

Вар №	Коэффициент избытка воздуха X1		Угол опережения зажигания X2, градусы		Зазор между электродами свечей зажигания X3, мм		Угол замкнутого состояния контактов прерывателя-распределителя, градусы	Величина теплового зазора в механизме газораспределения, мм
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
1	0,80	1,10	25	65	0,4	1,4	12	0,1
2	0,85	1,10	27	65	0,5	1	25	0,2
3	0,90	1,10	29	65	0,6	1,3	38	0,3
4	0,95	1,10	31	60	0,9	1,4	12	0,4
5	0,80	1,05	33	60	0,4	1	25	0,5
6	0,85	1,05	35	65	0,5	1,1	38	0,6
7	0,90	1,05	40	65	0,6	1,2	15	0,3
8	0,95	1,05	45	65	0,7	1,3	20	0,4
9	0,95	1,10	40	60	0,8	1,4	28	0,5
10	0,90	1,10	35	55	0,9	1,4	35	0,6
11	0,85	1,10	30	50	0,5	1,3	38	0,5
12	0,80	1,05	29	55	0,7	1,3	15	0,4
13	0,90	1,05	31	60	0,4	1,1	25	0,2
14	0,85	1,10	27	50	0,9	1,4	35	0,3
15	0,95	1,05	25	65	0,8	1,3	38	0,6
16	0,90	1,10	40	60	0,5	1,1	12	0,5
17	0,80	1,10	33	55	0,9	1,3	20	0,1
18	0,80	1,05	29	50	0,6	1,2	35	0,4
19	0,95	1,05	45	65	0,4	1,2	38	0,2
20	0,85	1,10	27	60	0,8	1,4	28	0,6
21	0,80	1,05	35	50	0,4	1	15	0,3
22	0,90	1,10	45	55	0,6	1,4	35	0,4

Вар №	Коэффициент избытка воздуха X1		Угол опережения зажигания X2, градусы		Зазор между электродами свечей зажигания X3, мм		Угол замкнутого состояния контактов прерывателя-распределителя, градусы	Величина теплового зазора в механизме газораспределения, мм
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
23	0,80	1,05	30	60	0,5	1,1	12	0,1
24	0,85	1,05	29	65	0,7	1,2	28	0,5
25	0,90	1,10	25	55	0,9	1,4	15	0,3

Учебное издание

Составители: Монтик Сергей Владимирович
Кондратенко Олег Евгеньевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»
Часть 2
В 2 частях.

Ответственный за выпуск Монтик С.В.
Редактор

Подписано к печати .2013 г. Формат 60x84/16 Бумага писчая N 1. Усл. п.л. _____. Уч. изд. л. . Заказ N . Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ.
ОПТИМИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»



Брест 2015

УДК 629.331.08

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Основы научный исследований и инновационной деятельности» для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1- 37 01 07 «Автосервис» содержат методики расчета показателей надежности автомобилей, выбора теоретического закона распределения показателей надежности, а так же оптимизации средств обслуживания автомобилей на основе систем массового обслуживания и могут использоваться при выполнении лабораторных работ и дипломного проекта по вышеназванным специальностям.

Составители: С.В. Монтик, зав. кафедрой ТЭА, доцент, к.т.н.
П.С. Концевич, ст. преподаватель кафедры ТЭА, м.т.н.
С.О. Березуцкая, ассистент кафедры ТЭА

Рецензент: Н.М. Пекун, директор Совместного белорусско-голландского предприятия «СоТЖер»

© Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет» 2015

Лабораторная работа РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

Цель: освоить методику расчета показателей надежности автомобилей

Порядок выполнения работы

Используя изложенную ниже методику расчета показателей надежности и табличный процессор MS Excel выполнить задания № 1 и № 2 (см. ниже). Письменно ответить на контрольные вопросы. Исходные данные и шаблон отчета по лабораторной работе содержатся в файле **Лаб_раб_ОНИИИД.xls**.

Содержание отчета по лабораторной работе

Тема, цель, исходные данные, распечатка отчета по лабораторной работе (файл **Лаб_раб_ОНИИИД.xls**), письменные ответы на контрольные вопросы.

1 Основные показатели надежности

1.1 Основные определения

Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать **безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость** или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Безотказность и долговечность — это 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.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость - свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования

Исправное состояние (исправность) - состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние (неисправность) - состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние (работоспособность) - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно- технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

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, сгорела лампочка освещения щитка приборов и т. д.

Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Наработка - продолжительность или объем работы объекта. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

Наработка до отказа - наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа. **Наработка между отказами** - наработка объекта от ремонта после отказа до возникновения следующего отказа.

Ресурс - суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до предельного состояния.

Срок службы - календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до предельного состояния.

Срок сохраняемости - это календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение которой сохраняются требования безотказности, долговечности и ремонтпригодности, установленным нормативно-технической документацией.

Остаточный ресурс - суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние

Восстанавливаемый объект - объект, для которого проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической документации, например, автомобиль. **Невосстанавливаемый объект** – не предусмотрено восстановление.

1.2 Показатели безотказности

Вероятность безотказной работы $P(l)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки (пробега l) отказ автомобиля не возникнет.

$$P(l) = 1 - \frac{n(l)}{N},$$

где $n(l)$ – количество отказавших автомобилей (агрегатов) за наработку (пробег); N – количество наблюдаемых автомобилей (агрегатов).

Вероятность отказа за наработку (пробег l) определяется

$$F(l) = \int_0^l f(l)dl \approx \frac{n(l)}{N},$$

где $f(l) = \frac{1}{N} \cdot \frac{dn(l)}{dl}$ – плотность вероятности отказа, которая характеризует распределение вероятности отказов от пробега. Связь между вероятностью безотказной работы $P(l)$, вероятностью отказа $F(l)$ и плотностью вероятности отказа $f(l)$ имеет вид (см. рис. 1.1):

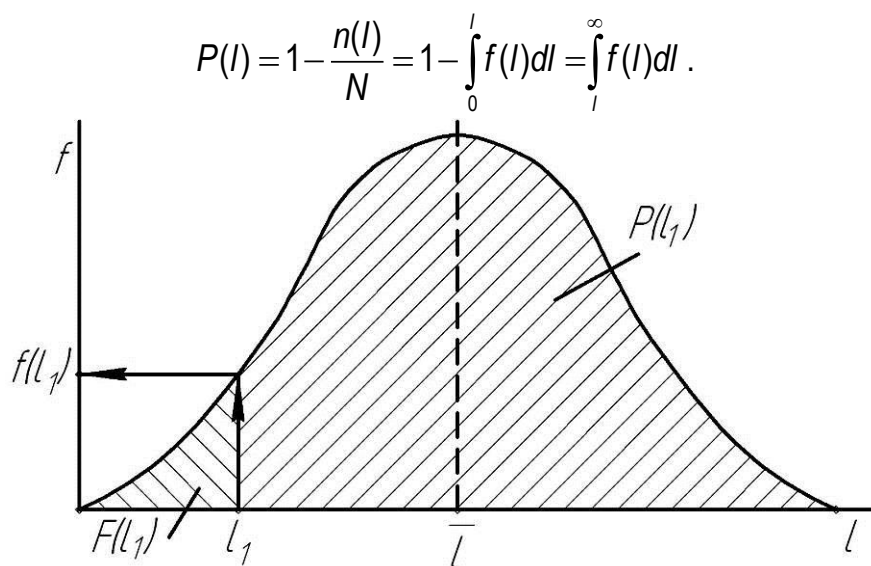


Рисунок 1.1 - Связь между вероятностью безотказной работы $P(l)$, вероятностью отказа $F(l)$ и плотностью вероятности отказа $f(l)$

Вероятность безотказной работы $P(l)$ и вероятность отказа $F(l)$ связаны зависимостью $P(l) = 1 - F(l)$

Гамма-процентная наработка до отказа l_γ – наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью гамма γ , выраженной в процентах.

Гамма-процентную наработку l_γ вырабатывают без отказа не менее гамма-процентов оцениваемых изделий, т.е. вероятность безотказной работы $P(l_\gamma) \geq \gamma$ (см. рис. 1.2). Обычно $\gamma = 90\%; 95\%$.

Гамма-процентная наработка используется при определении периодичности технического обслуживания (ТО) по заданному уровню безотказности. Выражение $l_{TO} = l_\gamma$ означает, что обслуживание с периодичностью l_{TO} гарантирует вероятность безотказной работы $P(l_{TO}) \geq \gamma$ и вероятность отказа $F(l_{TO}) \leq (1 - \gamma)$.

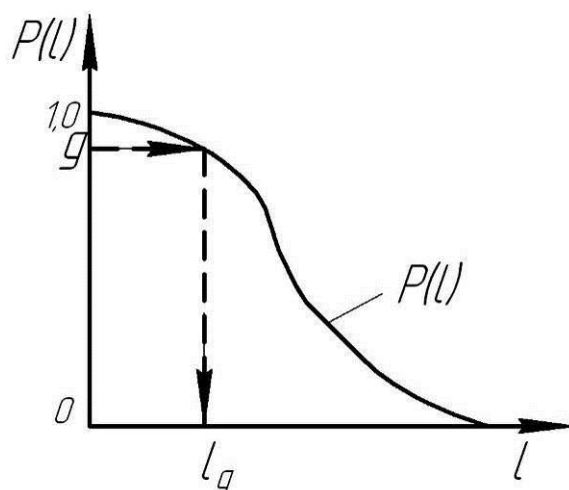


Рисунок 1.2 – Графическое определение гамма-процентной наработки на отказ l_g (g – гамма).

Средняя наработка до отказа - математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка на отказ - отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Применительно к автомобилям и их агрегатам ее можно определить из выражения

$$I_{CP_HA_ОТКАЗ} = \frac{L}{n},$$

где L – суммарный пробег всех подконтрольных автомобилей за определенный период, км; n – количество отказов, возникших на всех подконтрольных автомобилях за тот же период.

Интенсивность отказов $\lambda(l)$ - условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Она определяется из выражения

$$\lambda(l) = \frac{1}{N_{и}} \cdot \frac{dn(l)}{dl} = \frac{1}{N - n(l)} \cdot \frac{dn(l)}{dl} = \frac{f(l)}{P(l)}.$$

После преобразований получаем выражение, устанавливающее связь между вероятностью безотказной работы $P(l)$ и интенсивностью отказов $\lambda(l)$:

$$P(l) = \exp\left(-\int_0^l \lambda(l) dl\right).$$

Интенсивность отказов при статистическом определении можно определить как число отказов, приходящихся на единицу времени или пробега одного исправного изделия при условии, что до данного момента времени отказ не возник.

Параметр потока отказов - отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки. Параметр потока отказов $\omega(x)$ можно также определить как число отказов, приходящееся на единицу времени или пробега одного восстанавливаемого изделия.

Осредненный параметр потока отказов - отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за конечную наработку к значению этой

наработки. В период нормальной эксплуатации осредненный параметр потока отказов можно определить как величину обратную средней наработке на отказ:

$$\omega_{CP}(l) = \frac{1}{l_{CP_HA_ОТКАЗ}}.$$

2 Расчет показателей надежности автомобилей

Задание №1: На основании результатов подконтрольной эксплуатации автомобилей используя табличный процессор MS Excel необходимо определить показатели надежности автомобиля: среднюю наработку до отказа, доверительный интервал, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации, экспериментальные зависимости вероятности отказа и вероятности безотказной работы автомобиля за наработку, плотности вероятности отказа.

Исходные данные и шаблон отчета по лабораторной работе содержатся в файле **Лаб_раб_ОНИИД.xls**

Исходные данные для расчета

Для расчета показателей надежности автомобилей (средней наработки до отказа, вероятности отказа и вероятности безотказной работы за наработку и др.) могут использоваться результаты подконтрольной эксплуатации автомобилей.

При **подконтрольной эксплуатации автомобилей** в автотранспортном предприятии (АТП) выделяется специальная группа подконтрольных автомобилей (выборка), выполняющая обычную транспортную работу. На каждый автомобиль заводится специальный журнал, где фиксируется и накапливается информация о всех отказах и неисправностях, на каком пробеге они произошли или выявлены, данные о нагрузках, виде перевозимого груза, среднесуточных пробегах, пробегах до ТО и между ремонтами и т.п.

Другим способом сбора исходных данных для расчета показателей надежности автомобилей является использование данных из различных отчетных документов АТП: расход запасных частей и эксплуатационных материалов, заявки на текущий ремонт, межремонтные пробеги и т.п.

К достоинствам данных способов сбора информации о показателях надежности относится достоверность, так как результаты таких наблюдений учитывают реальные условия эксплуатации автомобилей (хотя сами показатели и являются случайными величинами).

При большом количестве наблюдаемых автомобилей результаты наблюдения группируют в интервальный ряд, который удобно представить в виде таблицы (см. табл.1.1) или гистограммы (см. рис. 1.3) эмпирического распределения показателя надежности (например, пробега до отказа).

При построении интервального ряда приближенную ширину интервала находят с помощью формулы Стьеджера [2]:

$$\Delta X = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{1 + 3,31 \lg N},$$

где X_{MAX} , X_{MIN} – максимальное и минимальное значение результатов наблюдений, N – количество наблюдений.

Таблица 1.1 – Исходные данные для расчета средней наработки до отказа (количество наблюдаемых автомобилей N=50)

№ инт i	Границы интервала пробега, тыс. км.		Количество отказов n_i в интервале
	от	до	
1	19	24	5
2	24	30	8
3	30	35	11
4	35	40	10
5	40	46	8
6	46	51	5
7	51	57	3



Рисунок 1.3 – Гистограмма экспериментального распределения пробега автомобилей до отказа (по какому-либо узлу или агрегату)

Порядок расчета

1 Определяем среднюю наработку до отказа, доверительный интервал, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Для этого определяем середины интервалов пробега $\bar{x}_i$ и относительные частоты m_i [2]:

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

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; N - общее количество наблюдаемых автомобилей. Для удобства расчета результаты расчета сводим в таблицу 1.2.

Средняя наработка до отказа, км, рассчитывается следующим образом [2]:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i m_i,$$

где k – количество интервалов, в примере $k=7$. Для примера $\bar{x} = 36.09$ тыс. км.

Среднее значение является приближенной экспериментальной **оценкой математического ожидания** $M(x)$.

При расчете показателей надежности автомобилей приходится иметь дело с индивидуальными зависимостями параметра технического состояния автомобиля $y_i(l)$ от пробега l , свойственными каждому i – му автомобилю. Причинами вариации (отклонения) технического состояния однотипных изделий (автомобилей одинаковой модели) 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 каждый автомобиль будет иметь свою наработку l_i до отказа (см. рис. 1.4), при которой параметр его технического состояния $y_i(l)$ достигнет предельной величины Y_{Π} , т.е. будет наблюдаться вариация наработки.

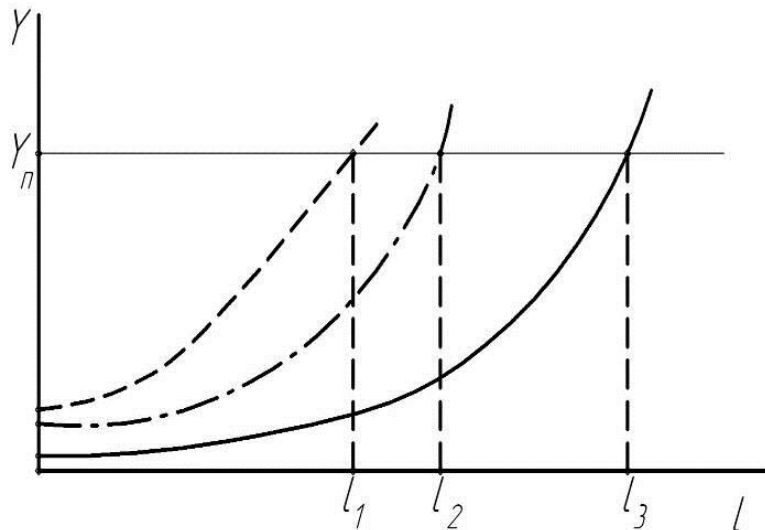


Рисунок 1.4 – Вариация наработки l (пробега) до наступления отказа Y_{Π}

Таблица 1.2 – Результаты расчета параметров экспериментального распределения пробегов автомобилей до отказа

№ инт. i	Границы интервала, тыс. км.		Количество отказов n_i в интервале	Относи- тельная частота m_i	Середина интерва- ла, $\bar{x}_i$ · км	$\bar{x}_i m_i$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^2 n_i$
	от	до						
1	19	24	5	0,1	21,50	2,15	212,87	1064,34
2	24	30	8	0,16	27,00	4,32	82,63	661,02
3	30	35	11	0,22	32,50	7,15	12,89	141,77
4	35	40	10	0,2	37,50	7,50	1,99	19,88
5	40	46	8	0,16	43,00	6,88	47,75	381,98
6	46	51	5	0,1	48,50	4,85	154,01	770,04
7	51	57	3	0,06	54,00	3,24	320,77	962,30

$\sum_{i=1}^k \bar{x}_i m_i =$	36,09	$\sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 n_i =$	4001,35
--------------------------------	-------	--	---------

Средние величины не отражают рассеивание значений показателей около его среднего, т.е. его вариацию. Для оценки вариации используют **дисперсию**:

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

Для примера $D(x) = \frac{4001.35}{50} = 80.03$ тыс. км².

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

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

Значение σ_x характеризует рассеивание, разброс значений показателя около его среднего $\bar{x}$. Для примера $\sigma_x = \sqrt{80.03} = 8.95$ тыс. км.

Коэффициент вариации $v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}$ характеризует относительную меру разброса значений показателя около среднего значения.

Для примера $v_x = \frac{8.95}{36.09} = 0.25$.

Оценка среднего значения $\bar{x}$, рассчитанная на основании результатов эксперимента (по выборке объема N), не позволяет непосредственно ответить на вопрос, какую ошибку можно совершить, принимая вместо точного значения (математического ожидания $M(x)$) его приближенное значение $\bar{x}$. В связи с этим во многих случаях при решении практических инженерных задач рекомендуется пользоваться интервальной оценкой – доверительным интервалом.

Доверительный интервал – это интервал, внутри которого с определенной (доверительной) вероятностью P_D находится истинное значение $M(x)$. Он определяется следующим образом [2]:

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

где Δ — предельная абсолютная ошибка (погрешность) интервального оценивания математического ожидания, характеризующая точность проведенного эксперимента и численно равная половине ширины доверительного интервала. Для $N > 30$ величина Δ определяется по формуле [2]

$$\Delta = t_{\alpha, \nu} \frac{\sigma_x}{\sqrt{N-1}},$$

где $t_{\alpha, \nu}$ — значение критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P_D = 1 - \alpha$ (α - уровень значимости; он характеризует вероятность ошибки) и числу степеней свободы $\nu = N - 1$.

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$; доверительной вероятности $P_D=0,95$ и числе степеней свободы $\nu=49$ по [2] значение критерия Стьюдента равно $t_{\alpha,\nu}=2,012$. Предельная абсолютная ошибка (погрешность)

$$\Delta = t_{\alpha,\nu} \frac{\sigma_x}{\sqrt{N-1}} = 2,012 * \frac{8.95}{\sqrt{50-1}} = 2,57 \text{ тыс. км.}$$

Доверительный интервал наработки на отказ равен

$$36,09 - 2,57 < M(x) < 36,09 + 2,57 ,$$

$$33,52 \text{ тыс. км} < M(x) < 38,66 \text{ тыс. км} .$$

Физический смысл доверительного интервала заключается в том, что при доверительной вероятности $P_D=0,95$ (т. е. 95%) из 100 наблюдаемых автомобилей 95 будут иметь наработку до отказа в пределах доверительного интервала.

2. *Расчет экспериментальных зависимостей вероятности отказа и вероятности безотказной работы автомобиля за наработку, плотности вероятности отказа*

Для оценки и прогнозирования надежности автомобиля наиболее важным является зависимость вероятности отказа автомобиля от наработки (пробега). Для получения такой зависимости находят **функцию $F(X)$ вероятности отказа за наработку X , которая показывает вероятность отказа автомобиля при пробеге X .**

Функция вероятности отказа $F(X)$ за наработку X представляет собой **экспериментальную интегральную функцию распределения $F(\bar{x}_i)$ пробегов автомобиля до отказа**, которую рассчитывают как сумму накопленных относительных частот m_i в каждом интервале. 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.

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

Функция $F(\bar{x}_i)$ изменяется в интервале $[0; 1]$.

Плотность вероятности отказа $f(x)$, которая характеризует распределение вероятности отказов от пробега, представляет собой **дифференциальную функцию эмпирического распределения пробегов автомобиля до отказа $f(x)$** , определяемая как отношение относительной частоты m_i к длине интервала Δx :

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

и характеризующая долю рассматриваемых событий в интервале, приходящихся на одно испытываемое изделие и на величину ширины интервала.

Результаты расчета данных функций представим в виде таблицы 1.3 и рисунков 1.5, 1.6.

Таблица 1.3 – Расчет экспериментальных значений вероятности отказа $Fэ(x)$, плотности вероятности отказа $fэ(x)$ и вероятности безотказной работы $Pэ(x)$ автомобиля за наработку x

№ инт. i	Границы интервала X , тыс. км.		Количество отказов n_i в интервале	Относительная частота m_i	Вероятность отказа $Fэ(X)$ за наработку X	Плотность вероятности отказа $fэ(x)$	Вероятность безотказной работы $Pэ(X)$ автомобиля за наработку X
	от	до					
1	19	24	5	0,1	0,1	0,02	0,9
2	24	30	8	0,16	0,26	0,032	0,74
3	30	35	11	0,22	0,48	0,044	0,52
4	35	40	10	0,2	0,68	0,04	0,32
5	40	46	8	0,16	0,84	0,032	0,16
6	46	51	5	0,1	0,94	0,02	0,06
7	51	57	3	0,06	1	0,012	0

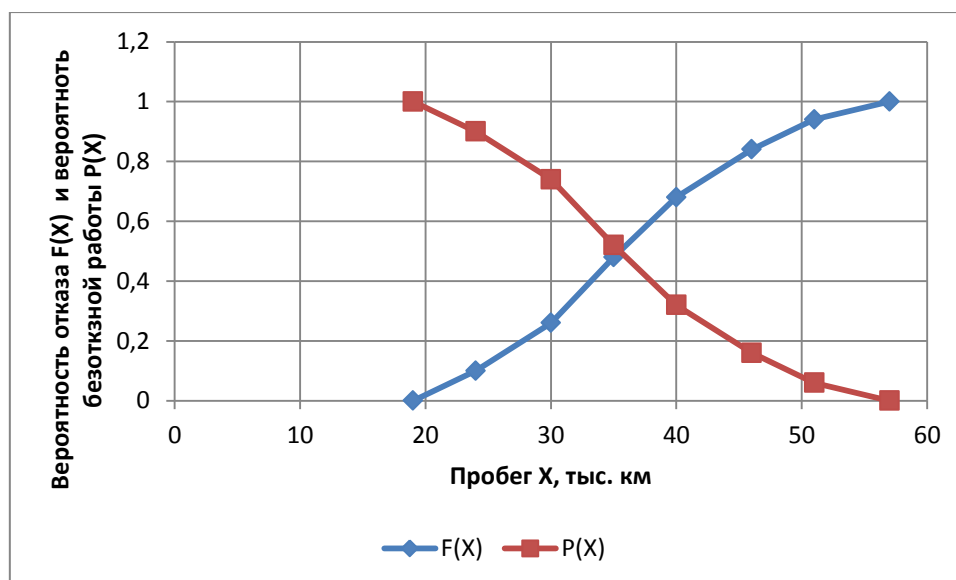


Рисунок 1.5 – Экспериментальная зависимость вероятности отказа $Fэ(X)$ и вероятности безотказной работы $Pэ(X)$ от пробега X

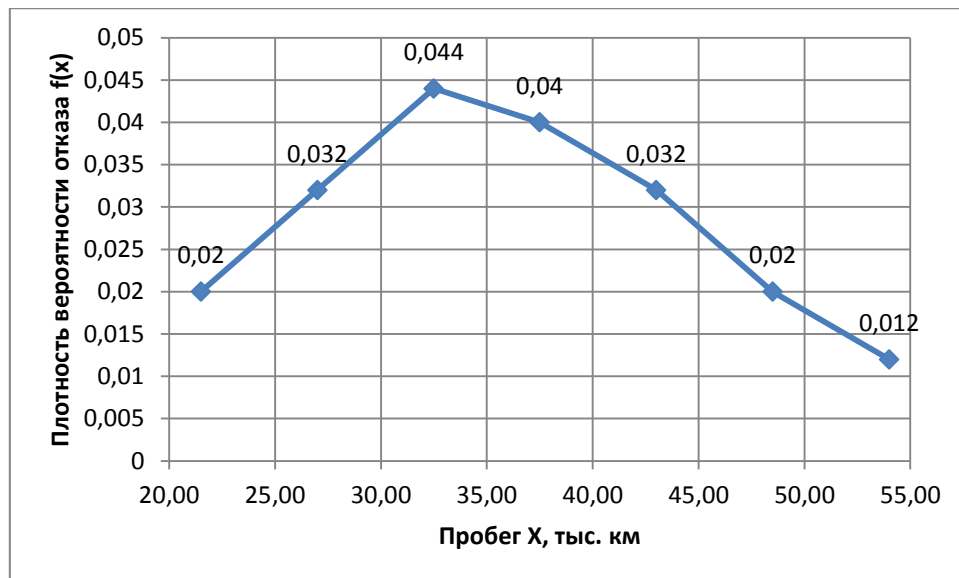


Рисунок 1.6 – Экспериментальная зависимость плотности вероятности отказа $f_x(x)$ от пробега X

3 Выбор оптимальной вероятностной математической модели при обработке эксплуатационных испытаний на надежность, прогнозирование количества отказов

3.1 Определение вида вероятностной математической модели

Основная цель разработки математических моделей состоит в том, чтобы, проведя эксперимент (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 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 $f_x(X)$ и теоретических кривых $f(X)$;
- значений коэффициента вариаций v_x ;
- анализа физических закономерностей формирования теоретических законов распределения.

Вероятностной математической моделью (законом распределения) случайной величины x называется соответствие между возможными значениями x и их вероятностями $P(x)$.

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

3.2 Формирование нормального распределения

Нормальное распределение характерно для показателей, на формирование которых оказывает влияние большое число независимых факторов.

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

Дифференциальная функция нормального распределения имеет вид

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

интегральная функция нормального распределения

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

Закон является двухпараметрическим. Параметр $\bar{x}$ — математическое ожидание — характеризует положение центра рассеивания относительно начала отсчета, а параметр σ_x — среднее квадратическое отклонение характеризует растянутость распределения вдоль оси абсцисс. Характерные графики $f(x)$ и $F(x)$ приведены на рис. 1.7.

Для нормального закона распределения в практических задачах ТЭА коэффициент вариации $v_x \leq 0.4$.

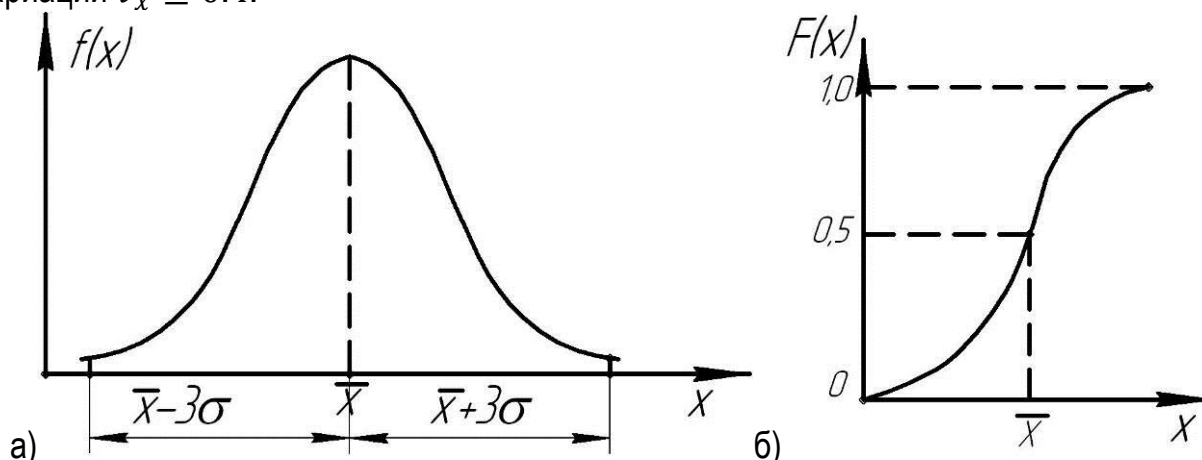


Рисунок 1.7 - Графики дифференциальной (а) и интегральной (б) функций нормального закона распределения

3.3 Формирование распределения Вейбулла

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

Многие изделия (агрегаты, узлы, системы автомобиля) при анализе отказов 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 (пробега), однако ресурс изделия в целом определяется наиболее слабым его участком.

С помощью закона распределения Вейбулла можно моделировать возникновение внезапных отказов (когда параметр формы распределения $b=1$) и отказов из-за износа ($b=2,5$).

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

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

интегральная функция

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

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. При $b=1$ распределение Вейбулла преобразуется в экспоненциальное (показательное) распределение. Графики дифференциальной функции приведены на рис. 1.8.

Для закона распределения Вейбулла в практических задачах ТЭА коэффициент вариации $v_x \leq 0.35 - 0.8$.

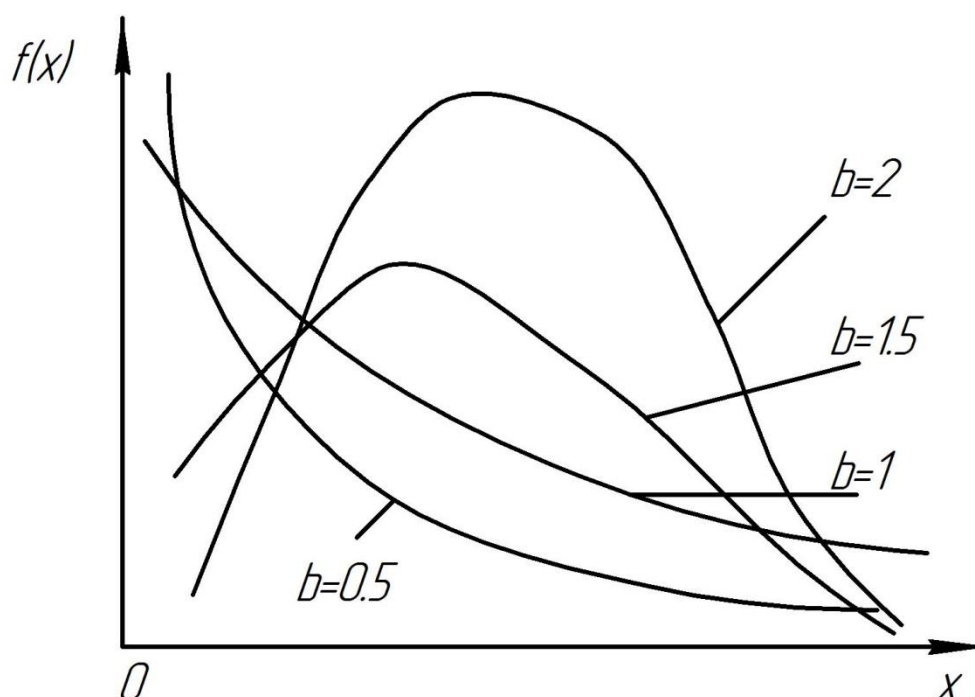


Рисунок 1.8 - Дифференциальная функция распределения Вейбулла

3.4 Формирование экспоненциального распределения

Экспоненциальное распределение показателя формируется, если не учитывается 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. При-

мером внезапного отказа является повреждение или разрушение в случае, когда нагрузка мгновенно превысит прочность объекта.

Вид дифференциальной функции $f(x)$ представлен на рис. 1.9.

Дифференциальная функция распределения имеет вид $f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}$, а интегральная функция $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$, где λ - параметр распределения, характеризующий интенсивность или плотность событий в единицу времени, $\lambda = \frac{1}{\bar{X}}$, где $\bar{X}$ - среднее значение случайной величины X .

Для экспоненциального распределения в практических задачах ТЭА коэффициент вариации $v_x > 0.8$.

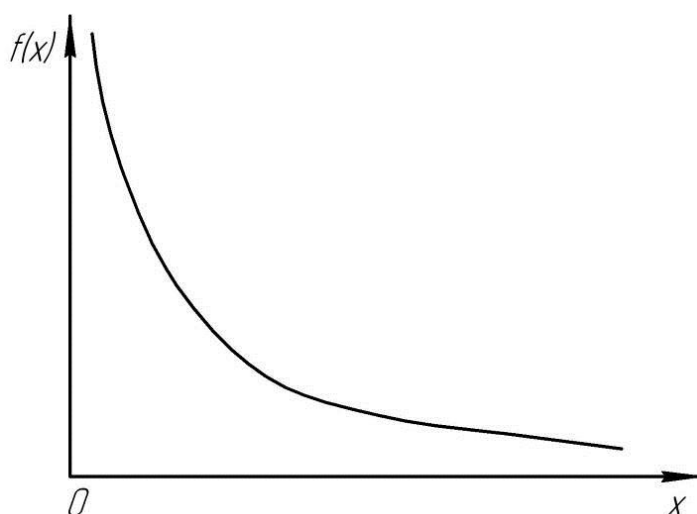


Рисунок 1.9 – График дифференциальной функции экспоненциального (показательного) распределения

Задание № 2: Используя данные задания №1 и табличный процессор MS Excel, выбрать теоретический закон распределения вероятности отказа и плотности вероятности отказа (нормальное или экспоненциальное распределение), построить графики данных функций, проверить совпадение экспериментального и теоретического распределения с помощью критерия Пирсона.

Используя выбранный теоретический закон распределения вероятности отказа, построить зависимость вероятности безотказной работы от наработки, определить гамма-процентную наработку до отказа, а также выполнить прогноз количества автомобилей той же модели, которые откажут в заданном интервале пробега и при заданном пробеге.

Порядок расчета

1 Выбор теоретического закона распределения вероятности отказа и плотности вероятности отказа, вероятности безотказной работы, построение графиков данных функций

Исходя из сходства внешнего вида экспериментальной зависимости плотности вероятности отказа $f(X)$ от пробега X и графиков дифференциальных функций нормального и

экспоненциального распределения, а также рассчитанного коэффициента вариации выбираем теоретический закон распределения.

Для примера, принимаем нормальный закон распределения, т.к. график экспериментальной зависимости плотности вероятности отказа $f(X)$ от пробега X и график дифференциальных функций нормального распределения схожи по внешнему виду, а также рассчитанный коэффициент вариации $v_x = 0,25 \leq 0,4$.

Для расчета значений теоретической вероятности отказа (интегральная функция распределения $F(X)$) и плотности вероятности отказа (дифференциальная функция распределения $f(X)$) используем функции табличного процессора MS Excel:

Закон распределения	Функция MS Excel	
	Для дифференциальной функции	Для интегральной функции
нормальный	НОРМРАСП($x; \bar{x}; \sigma_x$; ЛОЖЬ)	НОРМРАСП($x; \bar{x}; \sigma_x$; ИСТИНА)
экспоненциальный	ЭКСПРАСП($x; \lambda$; ЛОЖЬ)	ЭКСПРАСП($x; \lambda$; ИСТИНА)
Вместо X указывается ячейка со значением границы интервала пробега (см. табл. 1.4)		

Результаты расчета теоретической вероятности отказа (интегральная функция распределения $F(X)$) и плотности вероятности отказа (дифференциальная функция распределения $f(X)$) и вероятности безотказной работы $P(X)$ сводим в таблицу 1.4 и строим графики этих функций (см. рис. 1.10, 1.11)

Таблица 1.4 – Значения теоретической вероятности отказа (интегральная функция распределения $F(X)$) и плотности вероятности отказа (дифференциальная функция распределения $f(X)$) и вероятности безотказной работы $P(X)$

Границы интервала, тыс. км.	Вероятность отказа (интегральная функция распределения $F(X)$)	Плотность вероятности отказа (дифференциальная функция распределения $f(X)$)	Вероятность безотказной работы $P(X)$
19	0,0280	0,0072	0,9720
24	0,0883	0,0179	0,9117
30	0,2480	0,0354	0,7520
35	0,4515	0,0443	0,5485
40	0,6690	0,0405	0,3310
46	0,8660	0,0241	0,1340
51	0,9522	0,0111	0,0478
57	0,9903	0,0029	0,0097

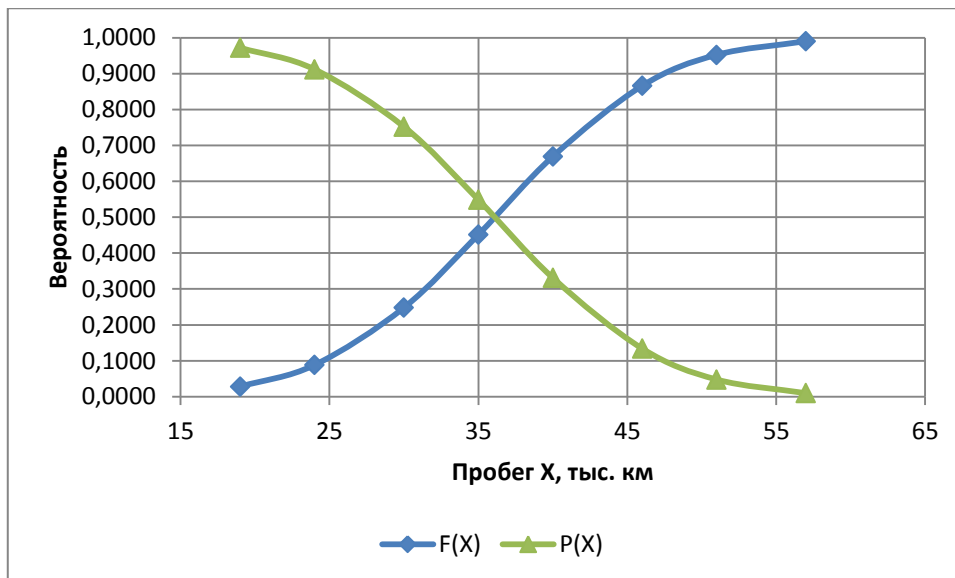


Рисунок 1.10 – Зависимость теоретической вероятности отказа $F(X)$ и вероятности безотказной работы $P(X)$ от пробега X

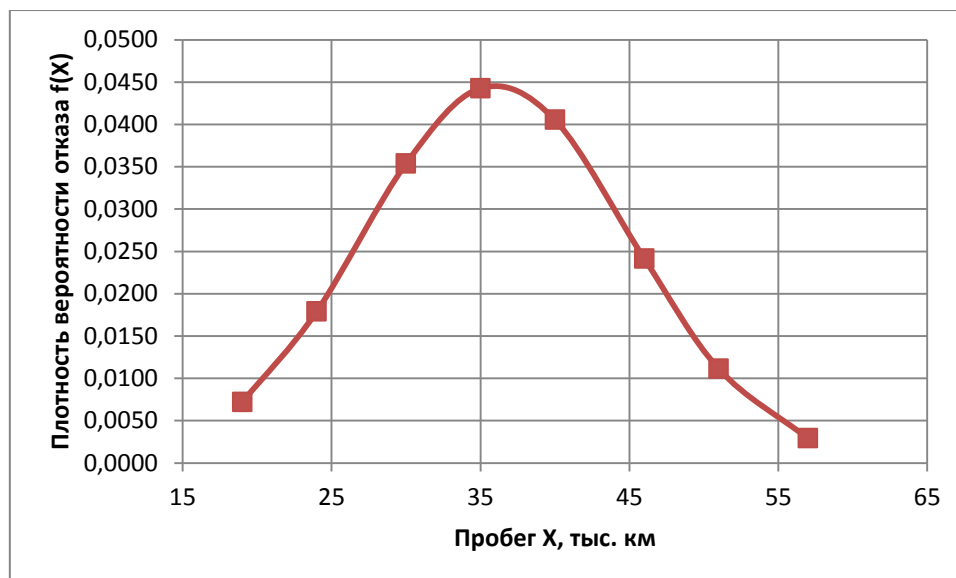


Рисунок 1.11 – Зависимость теоретической плотности вероятности отказа $f(X)$ от пробега X

2 Проверка совпадение экспериментального и теоретического распределения

Необходимо определить, насколько хорошо подобрана вероятностная математическая модель (теоретический закон распределения вероятности отказа) и можно ли ее применять для прогнозирования, т.е. является ли **математическая модель адекватной**.

Для проверки совпадение экспериментального и теоретического распределения используем критерий Пирсона χ^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 наступил 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 (принимаются из табл. 1.4).

Например, для первого интервала от 19 до 24 тыс. км пробега $n_1^T = 50 \cdot [F(24) - F(19)] = 50 \cdot [0,0883 - 0,0280] = 3,015 \approx 3$ и т.д.

Расчетное значение критерия χ^2 определяется по формуле

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

Разработанная вероятностная математическая модель адекватна результатам эксперимента, если

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

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

Результаты расчета критерия Пирсона χ^2 сводим в табл. 1.5.

Таблице 1.5 – Расчет критерия Пирсона

№ инт i	Границы интервала, тыс.км.		Количество от- казов n_i в ин- тервале	Теоретиче- ская частот а n_i^T	$(n_i - n_i^T)$	$(n_i - n_i^T)^2$	$\frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T}$
	от	до					
1	19	24	5	3	2	4	1,333
2	24	30	8	8	0	0	0,000
3	30	35	11	10	1	1	0,100
4	35	40	10	11	-1	1	0,091
5	40	46	8	10	-2	4	0,400
6	46	51	5	4	1	1	0,250
7	51	57	3	2	1	1	0,500
						$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T} =$	2,674

Определяем число степеней свободы $\nu = k - S - 1$, где S — число оцененных параметров теоретического распределения. Для нормального закона распределения $S = 2$, для экспоненциального распределения $S = 1$.

Для примера число степеней свободы для нормального распределения $\nu = k - S - 1 = 7 - 2 - 1 = 4$. В случае выбора экспоненциального распределения число степеней свободы $\nu = k - S - 1 = 7 - 1 - 1 = 5$.

По таблицам χ^2 — распределения Пирсона определяют критическое значение критерия $\chi^2_{\alpha, \nu}$ для заданного уровня значимости α и числа степеней свободы ν . Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы $\nu = 4$ критическое значение критерия $\chi^2_{\alpha, \nu} = 9,488$ [2]. Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы $\nu = 5$ критическое значение критерия $\chi^2_{\alpha, \nu} = 11,070$ [2].

Для примера $2,674 < 9,488$, поэтому делаем вывод, что вероятностная математическая модель адекватна и теоретический закон распределения вероятности отказа автомобиля от наработки (пробега) - закон нормального распределения – выбран верно и его можно использовать для прогнозирования количества автомобилей той же модели, эксплуатируемые в тех же условиях, которые откажут (потребуется ремонт) в заданном интервале пробега или при заданном пробеге

3 Определение гамма-процентной наработки до отказа, выполнение прогноза количества автомобилей той же модели, которые откажут в заданном интервале пробега и при заданном пробеге

Для определения гамма-процентной наработки до отказа используем вероятность безотказной работы $P(X)$ (см. п. 1.1 и рис. 1.2): задаем вероятностью гамма γ , выраженной в долях единицы и методом обратной интерполяции находим соответствующую ей наработку (пробег) X . Нужно учитывать, что если γ - вероятность безотказной работы, то величина $(1-\gamma)$ – это вероятность отказа за ту же наработку.

Гамма-процентная наработка до отказа X_γ (величина γ принимается из исходных данных) с использованием функций табличного процессора MS Excel определяется:

- для нормального распределения

$$X_\gamma = \text{НОРМОБР}(1 - \gamma; \bar{x}; \sigma_x)$$

- для экспоненциального распределения

$$X_\gamma = -\frac{1}{\lambda} \ln \gamma$$

В формулах γ подставляется в долях единицы. Для примера $\gamma=95\%$ или $\gamma=0,95$ в долях единицы.

$$X_\gamma = \text{НОРМОБР}(1 - 0,95; 36,09; 8,95) = 21,38 \text{ тыс. км.}$$

Прогнозируемое количество автомобилей, которые откажут (потребуется ремонт) при пробеге до X_1 определяется:

$$N_{\text{ОТК}} = N \cdot F(X_1),$$

где N – общее количество наблюдаемых автомобилей (задается в исходных данных), $F(X_1)$ - значение теоретической вероятности отказа (интегральной функции распределения $F(X)$) при пробеге X_1 .

Прогнозируемое количество автомобилей, которые откажут (потребуется ремонт) в интервале пробега от X_1 до X_2 определяется по формуле

$$N_{\text{ОТК}} = N \cdot [F(X_2) - F(X_1)],$$

где $F(X_2)$ и $F(X_1)$ - значения теоретической вероятности отказа (интегральной функции распределения $F(X)$) при пробегах X_2 и X_1 .

С использованием функций табличного процессора MS Excel значение теоретической вероятности отказа (интегральной функции распределения $F(X)$) определяется:

- для нормального закона распределения

$$F(X) = \text{НОРМРАСП}(X; \bar{x}; \sigma_x; \text{ИСТИНА});$$

- для экспоненциального закона распределения

$$F(X) = \text{ЭКСПРАСП}(x; \lambda; \text{ИСТИНА});$$

где вместо X поставляются требуемые границы интервала (X_2 или X_1).

Для примера, для заданного количества автомобилей $N = 100$ ед., которые аналогичным исследуемым, количество отказов при пробеге $X_1 = 34$ тыс. км составит

$$N_{\text{ОТК}} = N \cdot F(X_1) = 100 \cdot \text{НОРМРАСП}(34; 36.09; 8.95; \text{ИСТИНА}) = 40,76 \approx 41 \text{ ед.}$$

Округление выполняем в большую сторону.

Аналогично для примера для 100 автомобилей количество отказов при пробеге от 36 до 40 тыс. км составит

$$N_{\text{ОТК}} = 100 \cdot [F(40) - F(36)] = 100 \cdot [0,6690 - 0,4960] = 17,30 \approx 18 \text{ ед.}$$

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий безотказность и долговечность. В чем их отличие?
2. Дайте определение понятий: ремонтпригодность, сохраняемость, работоспособность, исправность, неисправность, отказ. В чем разница между работоспособностью и исправностью?
3. Дайте определение понятий: наработка, наработка до отказа, наработка между отказами, ресурс.
4. Что такое вероятность безотказной работы, вероятность отказа за наработку? Поясните с помощью графика связь между вероятностью безотказной работы $P(t)$, вероятностью отказа $F(t)$ и плотностью вероятности отказа $f(t)$.
5. Дайте определение понятий: гамма-процентная наработка до отказа, параметр потока отказов.
6. Что такое подконтрольная эксплуатация автомобилей?
7. Укажите причины вариации (отклонения) технического состояния автомобилей одинаковой модели, которые эксплуатируются в одинаковых условиях?
8. Что характеризует среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации?
9. Дайте определение понятия доверительный интервал, в чем его физический смысл?
10. Что такое вероятностная математическая модель?
11. Назовите основную цель разработки вероятностных математических моделей.
12. Когда формируется нормальное распределение? Для каких показателей из области ТЭА характерно данное распределение? Запишите выражения для расчета дифференциальной и интегральной функций распределения, изобразите их графики.
13. Когда формируется распределение Вейбулла? Для каких показателей из области ТЭА характерно данное распределение? Запишите выражения для расчета диф-

дифференциальной и интегральной функций распределения, изобразите график дифференциальной функции.

14. Когда формируется экспоненциальное распределение? Для каких показателей из области ТЭА характерно данное распределение? Запишите выражения для расчета дифференциальной и интегральной функций распределения, изобразите их графики.
15. Зачем определяется адекватность математической модели?
16. Как выполняется прогноз количества автомобилей той же модели, которые откажут в заданном интервале пробега и при заданном пробеге? Запишите соответствующие выражения и приведите расшифровку обозначений.

Лабораторная работа

ОПТИМИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБЛУЖИВАНИЯ

Цель: освоить методику оптимизация средств обслуживания автомобилей с использованием систем массового обслуживания

Порядок выполнения работы

Используя изложенную ниже методику оптимизация средств обслуживания автомобилей с использованием систем массового обслуживания и табличный процессор MS Excel выполнить задание (см. ниже). Письменно ответить на контрольные вопросы. Исходные данные и шаблон отчета по лабораторной работе содержатся в файле **Лаб_раб_ОНИИД.xls**.

Содержание отчета по лабораторной работе

Тема, цель, исходные данные, распечатка отчета по лабораторной работе (файл **Лаб_раб_ОНИИД.xls**), письменные ответы на контрольные вопросы.

1 Системы массового обслуживания.

Системы, в которых переменными и случайными являются моменты поступления требований на обслуживание и продолжительность самих обслуживания, называются **системами массового обслуживания (СМО)**.

Примерами СМО в области технической эксплуатации автомобилей являются зоны диагностирования, ТО, текущего ремонта (ТР), участки ТР АТП, склады запасных частей, топливо- и маслораздаточные колонки автозаправочных станций и др.

1.1 Структура СМО

Система массового обслуживания состоит из следующих элементов (рис.1.1):

1- **Входящий поток требований** - совокупность требований к СМО на проведение определенных работ (заправка, мойка, ТО, ТР и др.) или оказание услуг (покупка изделий, деталей, материалов и др.). Он характеризуется параметром потока требований $\omega(t)$, треб/ед.времени. Входящий поток требований может быть постоянным: $\omega(t) = \text{const}$ - и переменным: $\omega(t) \neq \text{const}$. Требования бывают однородные (одинаковые виды работ или услуг) и неоднородные (разные виды работ или услуг).

2 - **Очередь** — требования, ожидающие обслуживания. Очередь оценивается *средней длиной очереди* r - числом автомобилей или клиентов, ожидающих обслуживания, а также *вероятностью образования очереди* $P_{оч}$

3 - Обслуживающие аппараты (каналы обслуживания) - совокупность постов технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР), рабочих мест, исполнителей, оборудования, осуществляющих обслуживание требований по определенной технологии. Обслуживающие аппараты характеризуются: количеством обслуживающих аппаратов n , интенсивностью обслуживания $\mu(t)$, треб/ед.времени. При моделировании зоны ТР как СМО обслуживающими аппаратами являются *посты ТР*. При моделировании зоны ТО как СМО обслуживающими аппаратами являются посты ТО или бригады ТО.

4 - Выходящий поток требований $\omega'(t)$ - поток требований, прошедших СМО. В общем случае выходящий поток может состоять из *требований обслуженных и необслуженных*. Пример необслуженных требований: отсутствие нужной детали для автомобиля, находящегося в ремонте. На автомобильном транспорте после обслуживания требований (ТО, ТР) автомобиль должен быть технически исправным.

5 - Замыкание (возможное) СМО - состояние системы, при котором входящий поток требований зависит от выходящего.

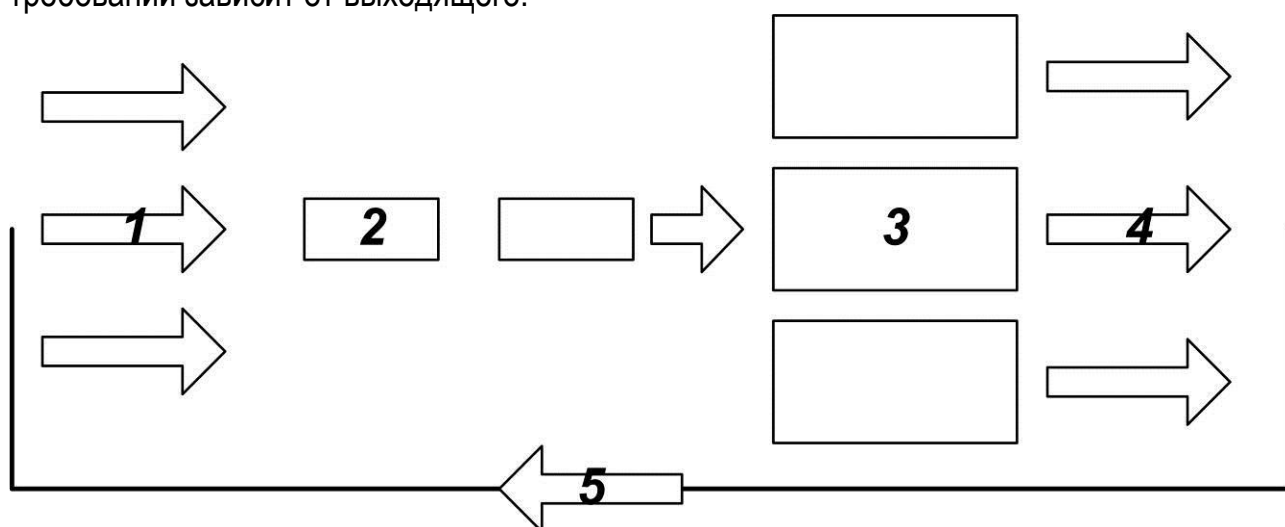


Рисунок 1.1 – Общая схема системы массового обслуживания.

1.2 Классификация СМО

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 поступает в очередь, если все аппараты заняты. Могут существовать ограничения на длину очереди или на время нахождения в ней;

- по количеству каналов обслуживания — одноканальные ($n = 1$) и многоканальные ($n > 1$);

- 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 посты 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 исполнителями характерна при организации работы зон и участков ТО и ремонта и при коллективных методах труда, когда исполнители могут перемещаться по постам.

1.3 Граф состояний системы. Уравнение Эрланга

СМО представляет собой систему дискретного типа с конечным множеством состояний, а переход системы из одного состояния в другое происходит скачкообразно, когда осуществляется какое-либо событие. Процесс функционирования СМО хорошо иллюстрируются графом состояния системы, на котором прямоугольниками отмечены состояния системы (S_1, S_2, S_3, S_4 (см. рис.1.2)), а стрелками - направления переходов. Если на графе у стрелок указаны интенсивности перехода λ_{ij} , то он называется **размеченным графом состояний** (рис. 1.1).

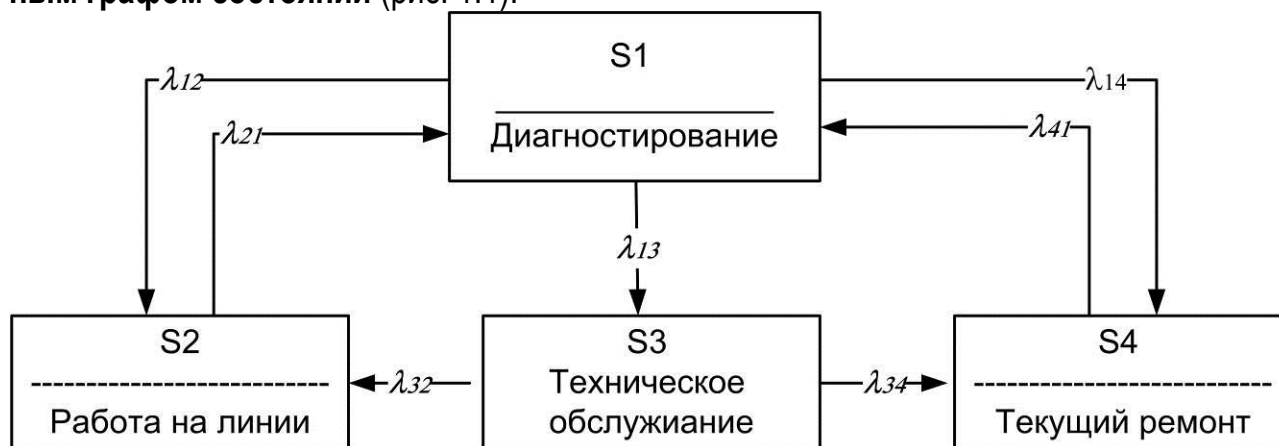


Рисунок 1.2 – Размеченных граф состояний СМО

Используя размеченный граф состояний СМО и зная интенсивности переходов (число заявок в единицу времени) можно определить вероятности $P_i(t)$ нахождения системы в любом состоянии с использованием системы дифференциальных уравнений Эрланга-Колмогорова, которые составляются по следующим правилам:

- 1) В левой части уравнения помещается производная вероятности соответствующего состояния $\frac{dP_i}{dt}$

- 2) Правая часть содержит столько членов, сколько переходов (стрелок в размеченном графе) связано с данным состоянием
- 3) Каждый член правой части уравнения равен произведению интенсивности переходов λ_{ij} на вероятность того состояния, из которого переход осуществляется.
- 4) Знак «+» ставится перед членом правой части уравнения при переходе в данное состояние (стрелка входит в данное состояние на графе), знак «-» - при выходе из данного состояния (стрелка выходит на графе)

Для одноканальной СМО с отказами (см. рис. 1.3) система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda P_0 + \mu P_1$$

$$\frac{dP_1}{dt} = \lambda P_0 - \mu P_1$$

где λ - интенсивность потока заявок (число заявок в единицу времени); μ - интенсивность потока обслуживаний (число обслуживаний в единицу времени).

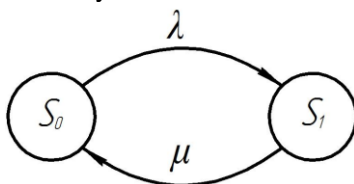


Рисунок 1.3 - Одноканальная СМО с отказами

При установившемся режиме работы системы, когда интенсивности переходов постоянны $\lambda = \text{const}$, $\mu = \text{const}$, вероятность нахождения системы в любом состоянии не зависит от времени и $\frac{dP_i}{dt} = 0$, а дифференциальные уравнения превращаются в алгебраические. Для примера, рассмотренного выше, для одноканальной СМО с отказами:

$$-\lambda P_0 + \mu P_1 = 0$$

$$\lambda P_0 - \mu P_1 = 0$$

$$P_1 + P_0 = 1.$$

Последнее уравнение добавлено из условия, что в любой момент времени может система находиться в одном из состояний S_1 или S_2 . Одно из уравнений является избыточным. Решая данную систему уравнений, находят вероятности P_0 и P_1 нахождения системы в состоянии S_1 и S_2 .

В общем случае **уравнение Эрланга** имеет вид:

$$P_k = \frac{\left(\frac{\rho^k}{k!}\right)}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}}, \quad (0 \leq k \leq n),$$

где $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ – приведенная плотность потока заявок (среднее число заявок, приходящееся на среднее время обслуживания одной заявки), P_k – вероятность нахождения системы в k -м состоянии, n – количество каналов обслуживания (постов, бригад, и т.п.).

Для описания потока требований в СМО используются **простейшие потоки** требований, обладающие свойствами **стационарности** (интенсивность поступления требований постоянна), **ординарности** (вероятность поступления одновременно нескольких требований пренебрежимо мала) и **отсутствия последствия** (интенсивность поступления требований не зависит от количества ранее поступивших требований).

Для простейшего потока требований вероятность $P_k(t)$ возникновения k событий ($k=0, 1, 2, \dots$) за время t определяется **законом Пуассона**:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

где λ – интенсивность потока требований.

1.4 Примеры СМО.

Многоканальные СМО с очередью

В большинстве реальных систем массового обслуживания заявка, прибывшая в момент, когда все каналы заняты, становится в очередь и дожидается освобождения канала обслуживания. Порядок организации очередей может быть различным, рассмотрим наиболее типичный «вышел первый, первый обслужился». На рисунке 1.4 показан граф СМО, имеющий n каналов и m мест для очереди – если очередь не ограничена, то $m \rightarrow \infty$

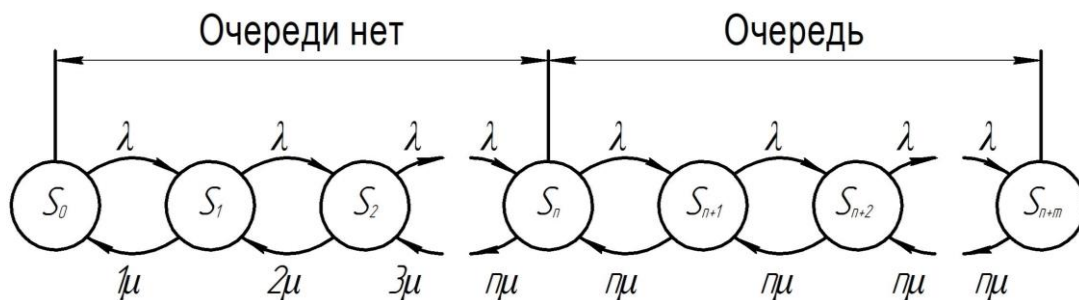


Рисунок 1.4 - Многоканальная СМО с очередью

1.5 Оптимизация СМО

Издержки от функционирования системы, руб/ед. времени, определяются

$$I = I_{\text{аппарат}}(n) + I_{\text{требование}}(n),$$

где $I_{\text{аппарат}}(n)$ – издержки из-за простоя обслуживающих аппаратов, т. е. из-за простоя постов ТО и ТР, $I_{\text{требование}}(n)$ – издержки из-за простоя требований в очереди, т. е. из-за простоя автомобилей в ожидании обслуживания, n – количество обслуживающих аппаратов (количество постов ТО или ТР).

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. Необходима оптимизация систем обслуживания.

При оптимизации СМО за определенный промежуток времени сопоставляются 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 n (число постов, исполнителей, оснащение технологическим оборудованием и инструментом), затраты, связанные с простоем автомобилей в ожидании обслуживания, сокращаются (кривая 1 на рис. 1.5), а затраты, вызванные простоем средств обслуживания и персонала в ожидании загрузки, возрастают (кривая 2 на рис. 1.5). Минимальное значение суммы этих затрат (кривая 3 на рис. 1.5) будет соответствовать оптимальной структуре СМО (например, оптимальное число постов, исполнителей), при которой минимизируются потери предприятия, связанные с простоем средств обслуживания, ожиданием объектов обслуживания.

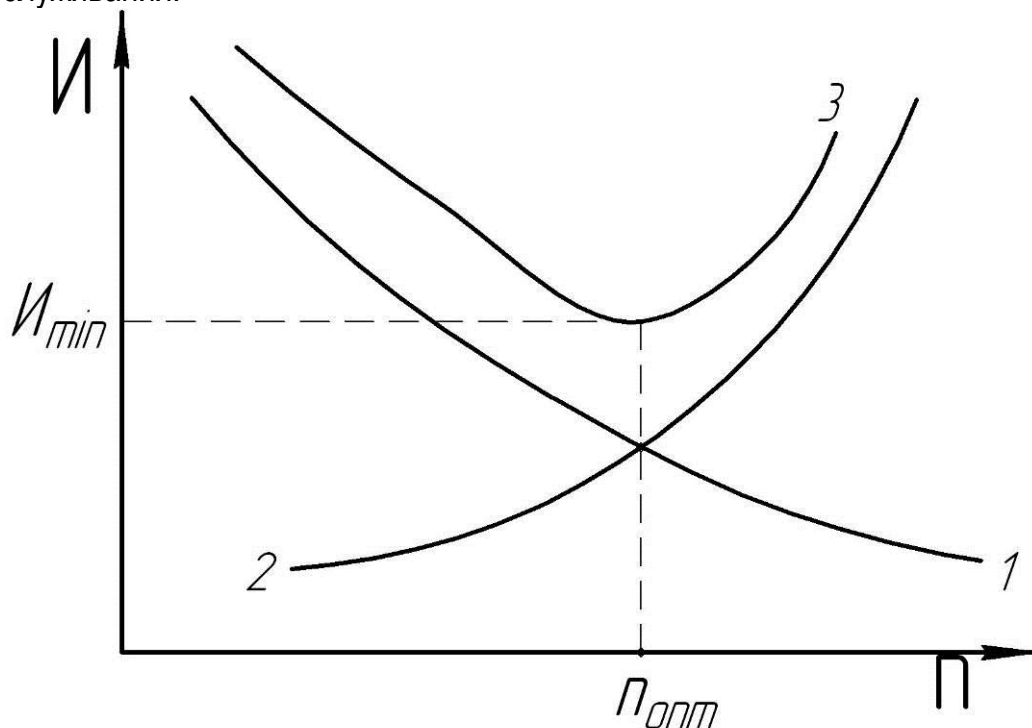


Рисунок 1.5 - Определение показателей пропускной способности систем обслуживания технико-экономическим методом: 1 - затраты от простоев автомобилей; 2 – затраты от простоев системы обслуживания (постов, ремонтных рабочих) в ожидании требований на обслуживание; 3 - суммарные затраты

Задание

В крупном АТП в зоне ТР в течение рабочей смены (продолжительность смены $t_{см}$, час) в среднем требуется устранение $N_{отк}$ отказов автомобилей. Среднее время ремонта автомобиля t_p , час. Простой одного автомобиля в ожидании ремонта обходится

предприятию $C_{\text{ПР}}$, расчетных единиц (р. е.)/час, а заработная плата одного ремонтного рабочего $C_{\text{РЕМ}}$, расчетных единиц (р. е.)/час.

Требуется определить количество рабочих n , при котором общие затраты предприятия от простоя автомобилей в ожидании ремонта и на заработную плату ремонтных рабочих были бы минимальны. При расчете необходимо использовать табличный процессор MS Excel и файл **Лаб_раб_ОНИИИД.xls**.

Для примера: $t_{\text{СМ}}=7$ ч., $N_{\text{ОТК}}=20$, $t_{\text{Р}}=1,4$ ч., $C_{\text{ПР}}=375$ р.е./час, $C_{\text{РЕМ}}=75$ р.е./час.

Порядок расчета

При расчете зону ТР будем рассматривать как СМО с неограниченной длиной очереди.

1 *Интенсивность потока обслуживания каналом* (интенсивность выполнения ремонта одним рабочим)

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{Р}}} = \frac{1}{1,4} = 0,71 \text{ час}^{-1}$$

2 *Интенсивность потока заявок λ* равна отношению числа отказов за смену к длительности смены

$$\lambda = \frac{N_{\text{ОТК}}}{t_{\text{СМ}}} = \frac{20}{7} = 2,86 \text{ час}^{-1}$$

3 *Приведенная плотность потока заявок* (среднее число заявок, приходящееся на среднее время обслуживания одной заявки)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{2,86}{0,71} = 4,03 > 1$$

и при работе одного рабочего в зоне ТР ($n=1$) длина очереди будет расти до бесконечности (т.к. в зону ТР будет поступать больше автомобилей, чем смогут быть отремонтированы за то же время).

Для того, чтобы длина очереди имела конечную величину необходимо, чтобы общая приведенная плотность потока заявок была не больше единицы:

$$\frac{\rho}{n} = \frac{\lambda}{n \cdot \mu} \leq 1.$$

4 *Определим минимальное количество рабочих* (из выражения, приведенного выше), для которого следует выполнять определение общих затрат предприятия

$$n \geq \rho.$$

Для примера $n \geq 4,03$, т.е. минимальное количество рабочих в зоне ТР $n=5$.

При расчете количество рабочих в зоне ТР изменяем от минимального до тех пор, пока не будет достигнута точка минимума суммарных затрат (т.е. затраты должны снизиться, а потом опять начать расти) ($n=n_{\text{min}} \dots 10$ и более).

Вариант 1: индивидуальная работа – только один рабочий занимается ремонтом одного автомобиля, зона ТР моделируется многоканальной СМО с неограниченной длиной очереди.

5 *Вероятность, что все рабочие свободны и в зону ТР не поступило ни одного автомобиля*

$$P_o = \frac{1}{\frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} + \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}}.$$

Для примера для количества рабочих $n=5$

$$P_o = \frac{1}{\frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} + \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}} = \frac{1}{\frac{4,03^{5+1}}{5!(5-4,03)} + \sum_{k=0}^5 \frac{0,6^k}{k!}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{4,03^{5+1}}{5!(5-4,03)} + \frac{4,03^0}{0!} + \frac{4,03^1}{1!} + \frac{4,03^2}{2!} + \frac{4,03^3}{3!} + \frac{4,03^4}{4!} + \frac{4,03^5}{5!}} = 0,013$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.1.

6 Средняя длина очереди автомобилей в зоне ТР [3]

$$r = \frac{\rho^{n+1} \cdot P_o}{n! \cdot n \cdot \left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^2}.$$

Для $n=5$

$$r = \frac{4.03^{5+1} \cdot 0.013}{5! \cdot 5 \cdot \left(1 - \frac{4.03}{5}\right)^2} = 2.216.$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.1.

7 Среднее время ожидания в очереди

$$t_{ож} = \frac{r}{\lambda}.$$

Для $n=5$

$$t_{ож} = \frac{2.216}{2.86} = 0.78 \text{ часа.}$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.1.

8 Суммарные затраты C_o , р.е./час, предприятия от простоя автомобилей в ожидании ремонта и на заработную плату ремонтных рабочих определяются [3]

$$C_o = C_{ПР} \cdot r + C_{РЕМ} \cdot n,$$

где r – средняя длина очереди.

Для $n=5$

$$C_o = 375 \cdot 2.216 + 75 \cdot 5 = 1206 \text{ р. е./час}$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.1.

Таблица 1.1 – Расчет суммарных затрат C_0 в зоне ТР от числа ремонтных рабочих (многоканальная СМО)

К-во ремонтных рабочих n	5	6	7	8
Вероятность P_0	0,013	0,017	0,018	0,018
Средняя длина очереди r	2,216	0,570	0,180	0,059
Среднее время ожидания в очереди $t_{ож}$, час	0,78	0,20	0,06	0,02
Суммарные затраты C_0 , р.е./час	1206	664	593	622

9 Строим графики зависимостей вероятности P_0 , средней длины очереди r , среднего времени ожидания в очереди $t_{ож}$, суммарных затрат C_0 от количества ремонтных рабочих (см. рис. 1.6).

В методических указаниях приведен только один из необходимых графиков. В отчете должны быть приведены все графики.

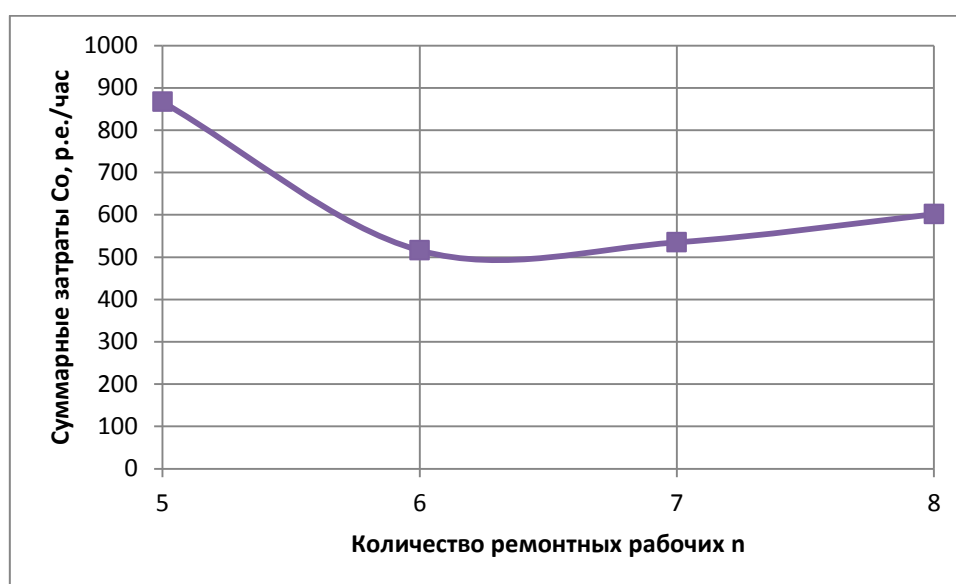


Рисунок 1.6 – Зависимость суммарных затрат C_0 от количества ремонтных рабочих n

10 Определяем оптимальное количество рабочих для индивидуального метода организации работ

Как видно из табл. 1.1 и рис. 1.6 для индивидуального метода организации работ минимальные суммарные затраты от простоя автомобилей в ожидании ремонта и на заработную плату ремонтных рабочих будут при числе ремонтных рабочих $n=7$.

Вариант 2 – бригадная организация работ – все рабочие единой бригадой участвуют в ремонте, зона ТР моделируется одноканальной СМО с неограниченной длиной очереди.

1 Определяем приведенную плотность потока заявок одноканальной СМО

$$\rho = \frac{\lambda}{n \cdot \mu_1},$$

где μ_1 - интенсивность выполнения ремонта одним рабочим. Для примера

$$\mu_1 = \frac{1}{t_p} = \frac{1}{1,4} = 0,71 \text{ час}^{-1}$$

$$\rho = \frac{2,86}{5 \cdot 0,71} = 0,80.$$

2 Вероятность, что все рабочие свободны и в зону ТР не поступило ни одного автомобиля

$$P_0 = 1 - \rho$$

Для примера для количества рабочих $n=5$

$$P_0 = 1 - 0,80 = 0,20$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.2.

3 Средняя длина очереди автомобилей в зоне ТР [3]

$$r = \frac{\rho^{n+1}}{1 - \rho}$$

Для $n=5$

$$r = \frac{0,80^{5+1}}{1 - 0,80} = 1,31$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.2.

4 Среднее время ожидания в очереди

$$t_{ож} = \frac{r}{\lambda}.$$

Для $n=5$

$$t_{ож} = \frac{1,31}{2,86} = 0,46 \text{ часа.}$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.1.

8 Суммарные затраты C_0 , р.е./час, предприятия от простоя автомобилей в ожидании ремонта и на заработную плату ремонтных рабочих определяются [3]

$$C_0 = C_{ПР} \cdot r + C_{РЕМ} \cdot n,$$

где r – средняя длина очереди.

Для $n=5$

$$C_0 = 375 \cdot 1,31 + 75 \cdot 5 = 866 \text{ р.е./час}$$

Аналогично выполняем расчет для $n=6, 7, 8$ и т.д. Результаты расчета сводим в табл.1.2.

Таблица 1.2 –Расчет суммарных затрат C_0 в зоне ТР от числа ремонтных рабочих (одноканальная СМО)

К-во ремонтных рабочих n	5	6	7	8
Приведенную плотность потока заявок ρ	0,80	0,67	0,57	0,50
Вероятность P_0	0,20	0,33	0,43	0,50
Средняя длина очереди r	1,31	0,18	0,03	0,004
Среднее время ожидания в очереди $t_{ож}$, час	0,46	0,06	0,01	0,001
Суммарные затраты C_0 , р.е./час	867	516	535	601

9 Строим графики зависимостей приведенной плотности потока заявок ρ вероятности P_0 , средней длины очереди r , среднего времени ожидания в очереди $t_{ож}$, суммарных затрат C_0 от количества ремонтных рабочих (см. рис. 1.7). В отчете должны быть приведены все графики.

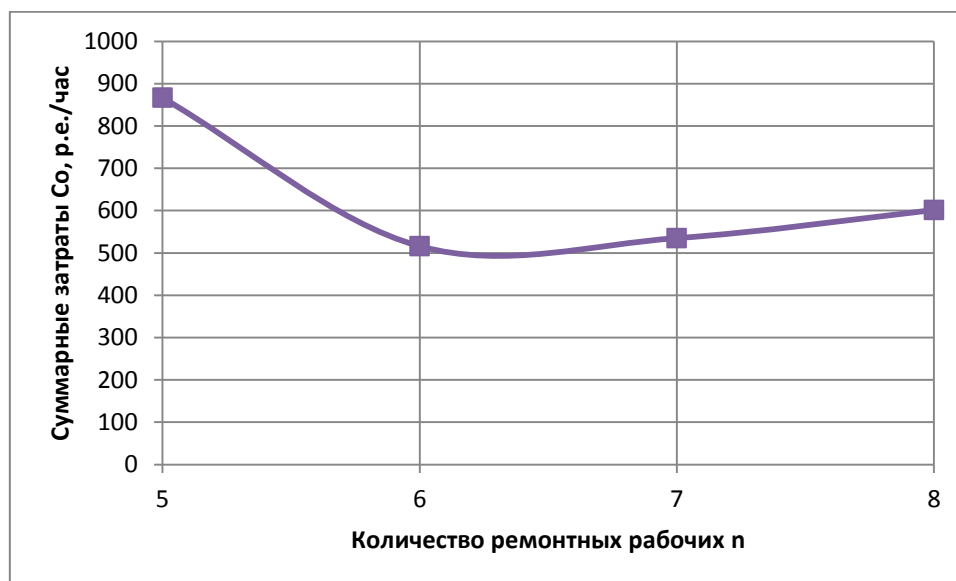


Рисунок 1.7 – Зависимость суммарных затрат C_0 от количества ремонтных рабочих n

10 Определяем оптимальное количество рабочих для бригадного метода организации работ

Как видно из табл. 1.2 и рис. 1.7 для бригадного метода организации работ минимальные суммарные затраты от простоя автомобилей в ожидании ремонта и на заработную плату ремонтных рабочих будут при числе ремонтных рабочих $n=6$.

11 Сравниваем оптимальное количество рабочих при индивидуальной работе и бригадной организации работ, а также суммарные затраты в зоне ТР

При бригадной организации работ требуется на одного рабочего меньше, а суммарные затраты от простоя автомобилей в ожидании ремонта и на заработную плату ремонтных рабочих составят $\frac{516}{593} \cdot 100\% = 87\%$ от затрат при индивидуальной форме организации труда рабочих.

В реальных условиях на рассматриваемую математическую модель будут накладываться дополнительные условия (например, если в зоне ремонта находится только один автомобиль, то вряд ли все рабочие бригады смогут одновременно участвовать в работе). Тем не менее, проведенные расчеты позволяют оценивать наиболее приемлемые решения по организации работ в зоне ТР автомобилей.

Для сравнения, если, не зная теории массового обслуживания, произвести расчет числа рабочих по методу средних, то число рабочих должно быть следующим. При средней трудоемкости ремонта одного автомобиля 1,4 ч один рабочий за смену (7 ч) может отремонтировать 5 автомобилей, а если в смену поступает 20 автомобилей, то число рабочих должно быть $n=4$. Очевидно, при таком числе рабочих будут возникать большие очереди автомобилей, ожидающих ремонта, что приведет к большим издержкам предприятия.

Контрольные вопросы

1. Что такое система массового обслуживания (СМО)?
2. Назовите основные элементы СМО. Чем характеризуется каждый элемент?
3. Приведите классификацию СМО
4. Для одноканальной СМО с отказами изобразите граф состояний системы и запишите систему алгебраических уравнений Эрланга-Колмогорова, позволяющих определить вероятности нахождения системы в любом состоянии.
5. Изобразите граф состояний многоканальной СМО с очередью, поясните обозначения.
6. Из каких составляющих складываются издержки от функционирования СМО? Как изменяются данные составляющие в зависимости от количества каналов обслуживания? Изобразите график и поясните, как выполняется оптимизация СМО по критерию суммарных издержек.
7. Какими свойствами обладает простейший поток требований? Поясните каждое свойство.
8. Каким законом описывается вероятность возникновения k событий за время t для простейшего потока требований? Запишите формулу, поясните обозначения.

Список используемых источников

1. Коваленко, Н. А. Научные исследования и решение инженерных задач в сфере автомобильного транспорта: учеб. пособие / Н. А. Коваленко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФА-М, 2011 – 271 с.: ил.
2. Научные исследования и решение инженерных задач: Учебн. пособие/ С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003.

3. Малкин В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: учеб. Пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.С. Малкин. – М.: Изд. Центр «Академия», 2007. – 288 с.

Учебное издание

Составители: Монтик Сергей Владимирович
Концевич Павел Сергеевич
Березуцкая Светлана Олеговна

**РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ.
ОПТИМИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ.**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»**

для студентов специальностей

1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»

Ответственный за выпуск Монтик С.В.
Редактор

Подписано к печати _____. 2015 г. Формат 60x84/16 Бумага писчая N 1. Усл. п.л. _____. Уч. изд. л. _____. Заказ N _____. Тираж 40 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ
ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»



Брест 2016

УДК 629.331.08

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1- 37 01 07 «Автосервис» содержат методику проведения корреляционного и регрессионного анализа, планирования эксперимента применительно к технической эксплуатации автомобилей и могут использоваться при выполнении лабораторных работ и дипломного проекта по вышеназванным специальностям.

Составители: С.В. Монтик, зав. кафедрой ТЭА, доцент, к.т.н.
П.С. Концевич, ст. преподаватель кафедры ТЭА, м.т.н.
С.О. Березуцкая, ассистент кафедры ТЭА

Рецензент: заместитель генерального директора – директор филиала «Автовокзал г. Бреста» ОАО «Брестоблавтотранс» А. М. Сенчук

© Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет» 2016

Лабораторная работа №1

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Цель: изучить задачи и методику проведения корреляционного анализа, примеры его практического применения

Краткие сведения о корреляционном анализе

Зависимость между величинами, при которой каждому значению одной величины отвечает с соответствующей вероятностью множество возможных значений другой величины, называют **вероятностной**.

Если при наличии вероятностной зависимости между двумя величинами с изменением значения одной величины изменяется только математическое ожидание второй и наоборот, а дисперсия и тип закона распределения остаются неизменными, то для таких величин характерна **корреляционная зависимость**.

Задача корреляционного анализа – выявление наличия и тесноты (силы) связи между значениями различных случайных величин.

Примеры корреляционной связи: между величиной износа узла трения и пробегом автомобиля; между пределом прочности и пределом текучести стали; 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.1.1).

Силу линейной статистической связи между случайными величинами X и Y оценивают **коэффициентом корреляции** r_{XY} , 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. Силу нелинейной статистической связи между случайными величинами оценивают с помощью *корреляционного отношения*.

Задание

Используя изложенную ниже методику проведения корреляционного анализа и табличный процессор MS Excel, определите, существует ли линейная корреляционная зависимость между высотой над уровнем моря и снижением эффективной мощности двигателя автомобиля. Письменно ответить на контрольные вопросы. Исходные данные (таблица А.1), справочные данные (таблица Б.1) и шаблон отчета по лабораторной работе содержатся в файле **Лаб_раб_ОНИИД1.xls**. **Формулы нужно запрограммировать.**

Содержание отчета по лабораторной работе

Тема, цель, исходные данные, распечатка отчета по лабораторной работе (файл **Лаб_раб_ОНИИД1.xls**, письменные ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите задачи корреляционного анализа?
2. Какая зависимость называется вероятностной?
3. Какая зависимость называется корреляционной?
4. Привести примеры корреляционной зависимости.
5. Что характеризует коэффициент корреляции, его возможные значения?

6. Изобразите примеры корреляционных полей для : а) прямой корреляционной зависимости; б) обратной корреляционной зависимости; в) нелинейной корреляционной зависимости; г) отсутствия корреляционной зависимости.

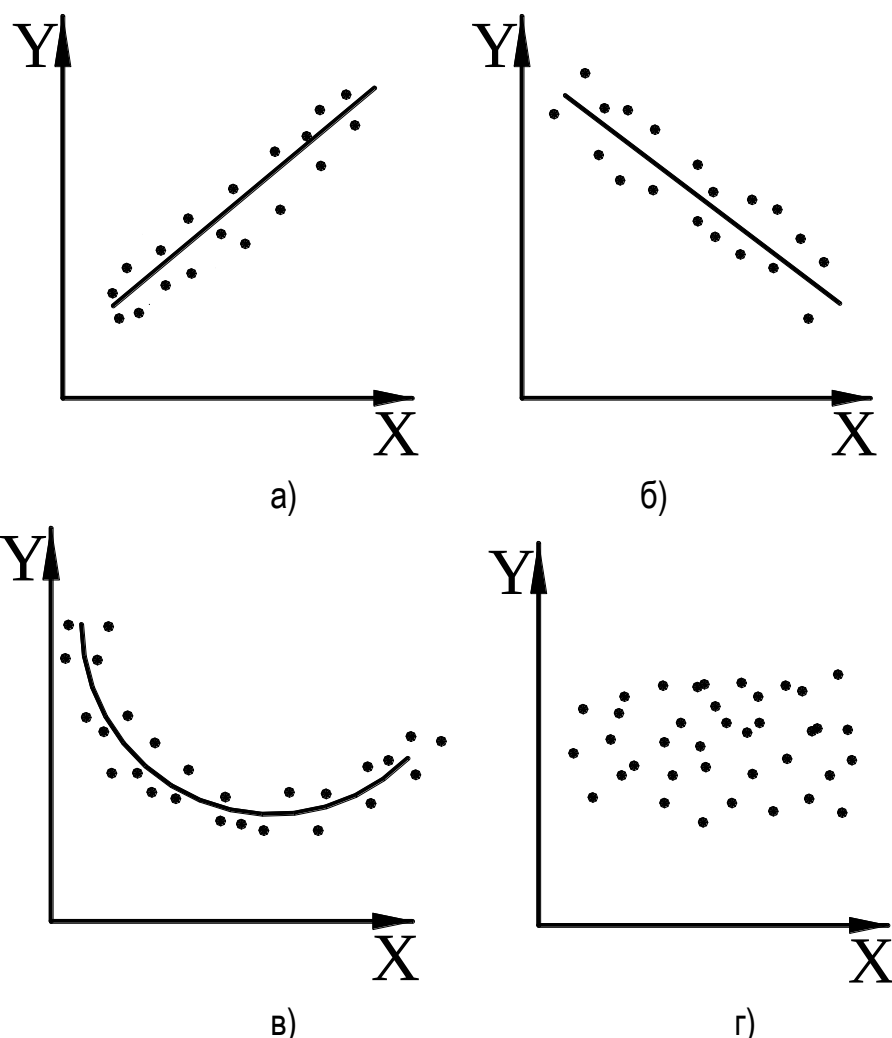


Рисунок 1.1 – Примеры корреляционных полей: а) прямая корреляционная зависимость, $r_{XY} \approx 1$; б) обратная корреляционная зависимость, $r_{XY} \approx -1$; в) нелинейная корреляционная зависимость, $r_{XY} = 0$; г) отсутствие корреляционной зависимости, $r_{XY} = 0$

Пример расчета

Исходные данные

Доверительная вероятность $P=0,95$

Таблица 1.1 - Результаты измерений (исходные данные из таблицы А.1)

Номер измерения i	Высота над уровнем моря, м (величина X)	Снижение эффективной мощности двигателя, % (величина Y)
1	0	0,0
2	200	4,7
3	400	6,6
4	600	8,7

Номер измерения i	Высота над уровнем моря, м (величина X)	Снижение эффективной мощности двигателя, % (величина Y)
5	800	11,1
6	1000	7,0
7	1200	9,0
8	1400	10,5
9	1600	11,1
10	1800	14,1

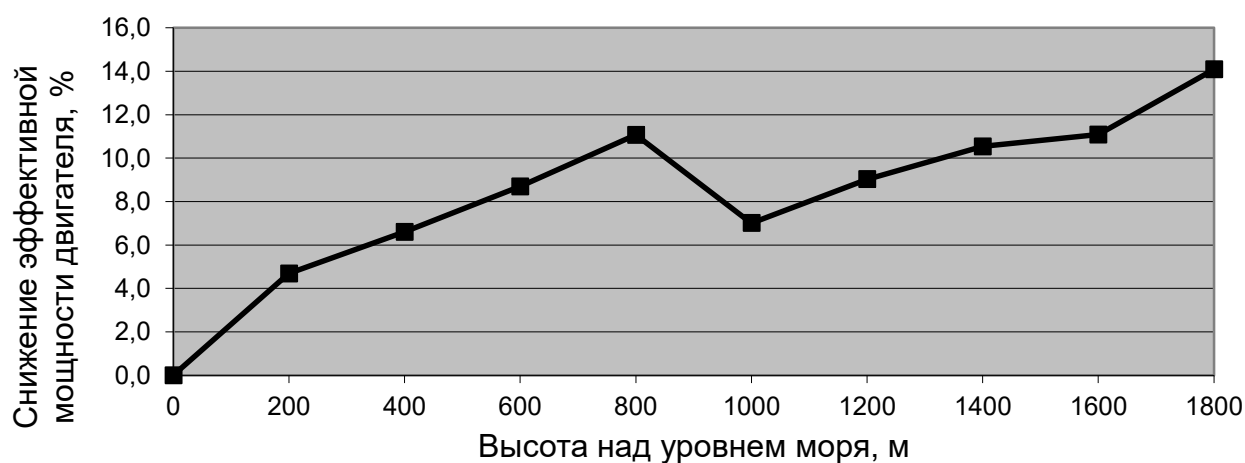


Рисунок 1.2 – Зависимость снижения эффективной мощности двигателя от высоты над уровнем моря

Порядок выполнения

1. Определите коэффициент корреляции

Эмпирический коэффициент корреляции определяется по выражению

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)\sigma_x\sigma_y},$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i;$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2;$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2;$$

где x_i , y_i – i -е значения случайных величин X и Y ; $\bar{x}$, $\bar{y}$, σ_x , σ_y , – соответственно средние значения и средние квадратические отклонения случайных величин, n – количество измерений, $n=10$.

Для определения коэффициента корреляции в табличном процессоре MS Excel используем функцию **PEARSON**, которая возвращает **коэффициент корреляции Пирсона** — безразмерный индекс в интервале от -1,0 до 1,0 включительно, который отражает степень линейной зависимости между двумя множествами данных.

Синтаксис: **PEARSON(массив1; массив2)**.

Формула имеет вид **=PEARSON(A3:A7;B3:B7)**.

Для примера коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,87$

2. Проверьте значимость коэффициента корреляции.

Для этого определяют наблюдаемое значение критерия Стьюдента.

$$t_H = r_{xy} \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r_{xy}^2}},$$

где n - число измерений. Для примера $t_H = 5,010$.

Критическое значение критерия Стьюдента t_k определяется по таблице Б.1 для заданной доверительной вероятности P и числу степеней свободы $f = n - 2$.

При выборе t_k по таблице Б.1 следует принимать $m = f + 1$, т. е.

$$f = n - 2 = 10 - 2 = 8$$

$$m = f + 1 = 8 + 1 = 9.$$

Для $P=0,95$ и $m = 9$ критическое значение критерия Стьюдента $t_k = 2,306$.

Если $|t_H| < t_k$, то коэффициент корреляции $r_{xy} = 0$ и связи между величинами нет.

Если $|t_H| > t_k$, то коэффициент корреляции значим и между величинами X и Y существует линейная корреляционная зависимость. *Сделайте вывод о наличии зависимости между X и Y .*

Вывод (для примера): Между высотой над уровнем моря (величина X), в метрах, и снижением эффективной мощности двигателя (величина Y), в процентах, существует линейная корреляционная зависимость.

Лабораторная работа №2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРУЗОБОРОТА (ИЛИ ПАССАЖИРОБОРОТА) АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Цель: освоить методику прогнозирования грузооборота (или пассажирооборота) автотранспортного предприятия с использованием регрессионного анализа

Краткие сведения о регрессионном анализе

Задача регрессионного анализа – установление вида и параметров зависимости от-

клика y от уровней одного или нескольких факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$, т.е. в результате регрессионного анализа определяют вид и параметры функции

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m),$$

Данную функцию называют **регрессионной моделью**, а ее параметры $b_0, b_1, \dots, b_m$ – *коэффициентами регрессии*.

Коэффициенты регрессии могут вычисляться с помощью *метода наименьших квадратов*, при котором коэффициенты модели определяются из условия: сумма S квадратов отклонений экспериментальных точек y_i от точек на теоретической кривой должна быть минимальной, т.е.

$$S = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m))^2 \rightarrow \min,$$

где N – количество экспериментальных точек.

Регрессионная модель позволяет определять значение отклика y по заданному значению факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$ не проводя эксперимент. Например, регрессионный анализ может использоваться для прогнозирования грузооборота или пассажирооборота автотранспортного предприятия на перспективу.

Регрессионные модели могут быть однофакторные и многофакторные, линейные и нелинейные. Примеры регрессионных моделей:

- 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 $y = b_0 + b_1 \cdot \ln x_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + b_3 \cdot \ln x_3$.

Задание

На основании статистических данных об изменении пассажирооборота (или грузооборота) автотранспортного предприятия (АТП) за прошедшие семь лет, используя регрессионный анализ, необходимо выполнить прогноз пассажирооборота (или грузооборота) автотранспортного предприятия на заданную перспективу. Письменно ответить на контрольные вопросы. Исходные данные (таблица А.2) и шаблон отчета по лабораторной работе содержатся в файле **Лаб_раб_ОНИИД1.xls**. **Формулы нужно запрограммировать**

Содержание отчета по лабораторной работе

Тема, цель, исходные данные, распечатка отчета по лабораторной работе (файл **Лаб_раб_ОНИИД1.xls**, письменные ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается задача регрессионного анализа? Что определяется в результате данного анализа?
2. Как определяются коэффициенты регрессии?

3. Для чего может использоваться регрессионная модель? Приведите примеры из области ТЭА.
4. Запишите вид регрессионной модели при использовании степенной зависимости между X и Y , поясните все обозначения. Запишите формулы для расчета параметров модели.
5. Запишите вид регрессионной модели при использовании полинома второй степени для описания связи между X и Y , поясните все обозначения. Запишите формулы для расчета параметров модели.
6. Что характеризует коэффициент детерминации?

Пример расчета

Для нахождения вида и параметров зависимости грузооборота по годам используем регрессионный анализ.

При выполнении регрессионного анализа будем использовать 2 вида регрессионных моделей: 1) полином второй степени; 2) степенная функция. После нахождения параметров регрессионных моделей, оценки их адекватности, определения коэффициента детерминации выбираем оптимальную модель, которая имеет наибольший коэффициент детерминации, и выполняем прогноз грузооборота (пассажирооборота) на заданный период.

Регрессионная модель в виде полинома второй степени имеет вид

$$Y_{\text{расч}} = b_0 + b_1 X + b_2 X^2,$$

где b_0, b_1, b_2 - неизвестные параметры регрессионной модели, которые нужно определить в результате регрессионного анализа; $Y_{\text{расч}}$ – грузооборот, X – годы.

Для определения параметров модели b_0, b_1, b_2 методом наименьших квадратов решают систему уравнений

$$\begin{cases} b_0 n + b_1 \sum X_i + b_2 \sum X_i^2 = \sum Y_i \\ b_0 \sum X_i + b_1 \sum X_i^2 + b_2 \sum X_i^3 = \sum (YX)_i \\ b_0 \sum X_i^2 + b_1 \sum X_i^3 + b_2 \sum X_i^4 = \sum (YX^2)_i \end{cases},$$

где $i = 1 \dots n$, n – количество лет, за которые известен грузооборот (или пассажирооборот предприятия).

Для решения системы уравнений и нахождения параметров модели b_0, b_1, b_2 можно использовать метод Гаусса, метод Крамера или другие методы.

При использовании степенной зависимости изменения грузооборота (пассажирооборота) по годам уравнение регрессии имеет вид

$$y = b_0 x^{b_1}, \quad (2.1)$$

где y - значение грузооборота (или пассажирооборота), x – годы.

Прологарифмировав выражение (2.1) получаем

$$\lg y = \lg b_0 + b_1 \lg x$$

Заменяя $X = \lg x, Y = \lg y, B_o = \lg b_o$, получаем линейную модель

$$Y = B_o + b_1 X.$$

Значения b_1 и b_o определяются из выражений

$$b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N \lg x_i \lg y_i - \sum_{i=1}^N \lg x_i \sum_{i=1}^N \lg y_i}{N \sum_{i=1}^N (\lg x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^N \lg x_i \right)^2}, \quad (2.2)$$

$$b_o = 10^{\overline{\lg y} - b_1 \overline{\lg x}}, \quad (2.3)$$

где N – количество лет, $N=7$; $\overline{\lg y}$, $\overline{\lg x}$ – среднее арифметические значения логарифмов $\lg y_i$ и $\lg x_i$.

Исходные данные

Таблица 2.1 – Данных об изменении грузооборота автотранспортного предприятия

Год	Значения грузооборота, тыс. тонно-километров,
2004	17282,20
2005	17488,44
2006	17666,13
2007	17732,5
2008	17847,55
2009	17876,96
2010	17950,11

Необходимо выполнить прогноз грузооборота на 3 года вперед.

Порядок расчета

1. Определяем параметры регрессионной модели в виде степенной функции для описания изменения грузооборота.

Для это необходимо определить значения коэффициентов регрессии b_1 и b_o . Для удобства результаты расчетов сводим в таблицу 2.2 и используем в качестве переменной X условный год, т.е. если начальный год изучения пассажирооборота (или грузооборота) 2004, ему присваивается условный год $X=1$, для 2005 года – $X=2$ и т.д. [2].

Для определения параметров регрессионной модели в MS Excel стоим по данным таблицы 2.2 точечную диаграмму (см. рис. 2.1), добавляем линию тренда, параметры линии тренда: степенная функция, показать уравнение на диаграмме, поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2 , прогноз вперед на (указывается на какой сколько лет вперед нужно выполнить прогноз по заданию) период.

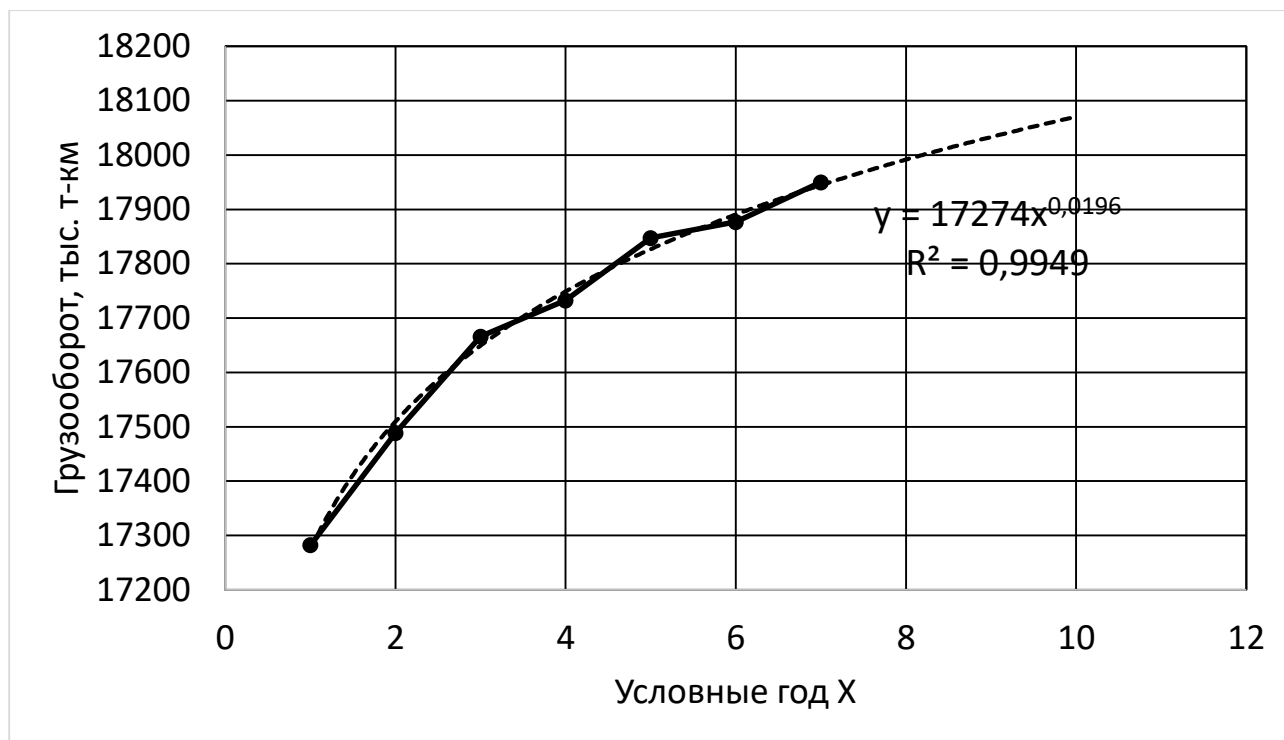


Рисунок 2.1 – Точечная диаграмма с линией тренда, уравнением степенной функции и величиной достоверности аппроксимации R^2 , показывающая зависимость грузооборота Y от условного года X

На диаграмме видно, что полученное уравнение регрессии имеет вид

$$y^T = 17274 \cdot x^{0,0196}, \quad (2.4)$$

где y^T - рассчитанное по модели значение грузооборота, тыс. тонно-километров; X - условный год (см. таблицу 2.2).

2. Проверяем адекватность полученной регрессионной модели

При проверке адекватности оценивается соответствие расчетных данные, полученные по разработанной математической модели, экспериментальным данным и можно ли использовать полученную модель для прогнозирования исследуемого явления или процесса.

Для оценки регрессионной модели используем критерий Фишера. Экспериментальное значение критерия Фишера определяется

$$F_3 = \frac{B \cdot (N - d)}{C},$$

$$B = \sum_{i=1}^N (y_i^T - \bar{y})^2,$$

$$C = \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^T)^2,$$

где y_i, y_i^T - экспериментальное и теоретическое значение показателя (значение грузо-

оборота (или пассажирооборота), определяемое по полученной модели), d - число коэффициентов регрессии разработанной регрессионной модели (для примера $d = 2$).

Математическая модель считается адекватной результатам эксперимента и ее можно использовать для решения инженерных задач, если выполняется условие

$$F_{\vartheta} \geq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2},$$

где F_{α, ν_1, ν_2} - критическое значение критерия Фишера для уровня значимости α и числа степеней свободы $\nu_1 = N - 1$ и $\nu_2 = N - d$. Для уровня значимости $\alpha = 0,05$; $\nu_1 = N - 1 = 7 - 1 = 6$; $\nu_2 = N - d = 7 - 2 = 5$ критическое значение критерия Фишера по [2] равно $F_{\alpha, \nu_1, \nu_2} = 4,950$. Для определения экспериментального значения критерия Фишера составим таблицу 2.2.

$$\text{Среднее значение } \bar{y} \text{ определяется } \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}.$$

В MS Excel нужно использовать функцию **=СРЗНАЧ(Диапазон)**, например, **=СРЗНАЧ(D104:D110)**.

Таблица 2.2 – Данные для определения параметров степенной модели и проверки ее адекватности

№ п/п i	Год	Условный год x_i	Грузооборот y_i , тыс. тонно-километров	Грузооборот по модели (2.4) y_i^T , тыс. тонно-километров	$(y_i - y_i^T)^2$	$(y_i^T - \bar{y})^2$
1	2004	1	17282,21	17273,63	73,6	175035,0
2	2005	2	17488,45	17509,74	453,5	33217,7
3	2006	3	17666,14	17649,35	281,8	1818,6
4	2007	4	17732,58	17749,08	272,5	3258,7
5	2008	5	17847,55	17826,83	429,4	18179,1
6	2009	6	17876,96	17890,60	186,2	39444,0
7	2010	7	17950,11	17944,70	29,2	63859,3
			Сумма	123843,93	1726,2	334812,4

Значения параметров $B = 334\,812,4$; $C = 1\,726,2$.

Экспериментальное значение критерия Фишера определяется

$$F_{\vartheta} = \frac{B \cdot (N - d)}{C} = \frac{334812,4 \cdot (7 - 2)}{1726,2} = 387,9$$

Математическая модель считается адекватной, т. к. выполняется условие

$$F_{\vartheta} \geq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}.$$

$$387,9 > 4,95.$$

3. Определяем коэффициент детерминации

Коэффициент детерминации R^2 (R-квадрат) — это доля дисперсии зависимой переменной Y , объясняемая переменной X . Его рассматривают как универсальную меру зависимости одной случайной величины от множества других. **Чем ближе значение коэффициента к 1, тем сильнее зависимость. При оценке регрессионных моделей это интерпретируется как соответствие модели данным.**

В MS Excel вместо коэффициента детерминации используется термин «**Величина достоверности аппроксимации**».

Как видно из рис. 2.1, коэффициент детерминации (величина достоверности аппроксимации) $R^2 = 0,9949$.

Коэффициент детерминации показывает, что при использовании степенной регрессионной модели 99,49% разброса значений грузооборота Y определяется годом X (т.е. зависит от года), а оставшаяся часть ($1 - 99,49\% = 0,51\%$) разброса значений грузооборота остается необъяснимой (т.е. не учитывается данной моделью). Данная высокая величина R^2 показывает сильную зависимость грузооборота Y от года X , а также хорошее соответствие модели экспериментальным данным (т.е. данным по грузообороту в зависимости от года).

4. Определяем параметры регрессионной модели в виде полинома второй степени для описания изменения грузооборота

Для это необходимо определить значения коэффициентов регрессии b_0 , b_1 и b_2 . Для определения параметров регрессионной модели в MS Excel стоим по данным таблицы 2.3 точечную диаграмму (см. рис. 2.2), добавляем линию тренда, параметры линии тренда: полиномиальная функция (степень 2), показать уравнение на диаграмме, поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2 , прогноз вперед на (указывается на какой сколько лет вперед нужно выполнить прогноз по заданию) период.

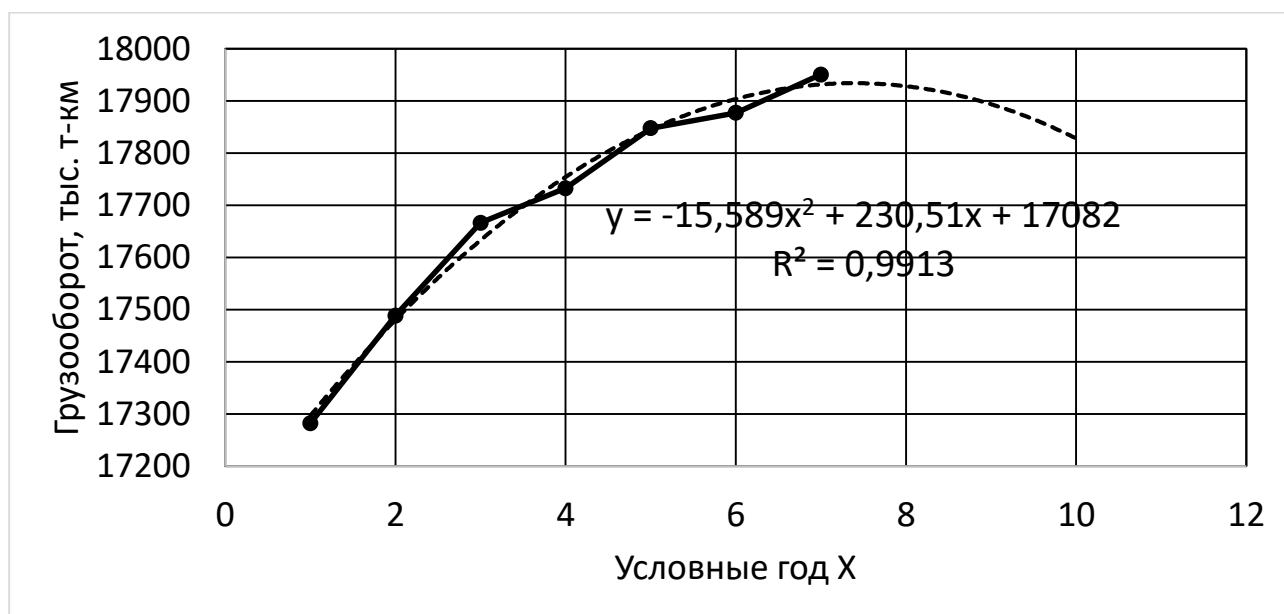


Рисунок 2.2 – Точечная диаграмма с линией тренда, уравнением полиномиальной функции (степень 2) и величиной достоверности аппроксимации R^2 , показывающая зависимость грузооборота Y от условного года X

Полученное уравнение регрессии имеет вид

$$y^T = 17082 + 230,51 \cdot x - 15,589 \cdot x^2 \quad (2.5)$$

где y^T - рассчитанное по модели значение грузооборота, тыс. тонно-километров; x - условный год (см. таблицу 2.3).

5. Проверяем адекватность полученной регрессионной модели

Для оценки регрессионной модели используем критерий Фишера.

Математическая модель считается адекватной, если выполняется условие

$$F_{\vartheta} \geq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2},$$

где F_{α, ν_1, ν_2} - критическое значение критерия Фишера для уровня значимости α и числа степеней свободы $\nu_1 = N - 1$ и $\nu_2 = N - d$. Для полинома 2 степени $d=3$. Для уровня значимости $\alpha = 0,05$; $\nu_1 = N - 1 = 7 - 1 = 6$; $\nu_2 = N - d = 7 - 3 = 4$ критическое значение критерия Фишера по [2] равно $F_{\alpha, \nu_1, \nu_2} = 6,163$.

Для определения экспериментального значения критерия Фишера составим таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Данные для расчета критерия Фишера

№ п/п i	Год	Условный год x_i	Грузооборот y_i , тыс. тонно-километров	Грузооборот по модели (2.5) y_i^T , тыс. тонно-километров	$(y_i - y_i^T)^2$	$(y_i^T - \bar{y})^2$
1	2004	1	17282,21	17296,67	208,95	156289,57
2	2005	2	17488,45	17480,42	64,49	44766,40
3	2006	3	17666,14	17632,99	1099,06	3482,43
4	2007	4	17732,58	17754,37	474,85	3890,14
5	2008	5	17847,55	17844,57	8,89	23277,17
6	2009	6	17876,96	17903,58	708,66	44766,40
7	2010	7	17950,11	17931,41	349,79	57315,89
				Сумма	2914,70	333788,00

Значения параметров $C = 2914,70$; $B = 333788,00$.

Экспериментальное значение критерия Фишера определяется

$$F_{\vartheta} = \frac{B \cdot (N - d)}{C} = \frac{333788,00 \cdot (7 - 3)}{2914,70} = 458,08$$

Математическая модель считается адекватной, т. к. выполняется условие

$$F_{\vartheta} \geq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2} \\ 458,08 > 6,163.$$

6. Определяем коэффициент детерминации

Как видно из рис. 2.2, коэффициент детерминации (величина достоверности аппроксимации) $R^2 = 0,9913$.

Полученный коэффициент детерминации показывает, что при использовании регрессионной модели в виде полинома второй степени 99,13% разброса значений грузооборота Y определяется годом X (т.е. зависит от года), а оставшаяся часть ($1 - 99,13\% = 0,87\%$) разброса значений грузооборота остается необъяснимой (т.е. не учитывается данной моделью). Данная высокая величина R^2 показывает сильную зависимость грузооборота Y от года X , а также хорошее соответствие модели экспериментальным данным (т.е. данным по грузообороту в зависимости от года). **Однако коэффициент детерминации ниже, чем у степенной регрессионной модели.**

7. Выбор оптимальной регрессионной модели.

Для выбора модели строим графики изменения грузооборота по статистическим данным (см. исходные данные) и по разработанным математическим моделям (2.4) и (2.5). Для удобства построения результаты расчета сведем в таблицу 2.4 и представим в виде графика (см. рис. 2.2).

Таблица 2.8 – Изменение грузооборота по годам

№ п/п	Год	Условный год x_i	Грузооборот y_i , тыс. тонно-километров	Грузооборот по модели (2.4) y_i^T , тыс. тонно-километров	Грузооборот по модели (2.5) y_i^T , тыс. тонно-километров
1	2004	1	17282,21	17273,6	17296,7
2	2005	2	17488,45	17509,7	17480,4
3	2006	3	17666,14	17649,4	17633,0
4	2007	4	17732,58	17749,1	17754,4
5	2008	5	17847,55	17826,8	17844,6
6	2009	6	17876,96	17890,6	17903,6
7	2010	7	17950,11	17944,7	17931,4
8	2011	8	-	17991,7	17928,0
9	2012	9	-	18033,3	17893,5
10	2013	10	-	18070,5	17827,8

Как видно из графиков моделей (см. рис.2.2), при использовании квадратичной регрессионной модели в дальнейшем грузооборот снижается, что не соответствует наблюдаемой ранее тенденции.

Из сравнения коэффициентов детерминации двух моделей следует, что больший коэффициент детерминации имеет регрессионная модель в виде степенной функции, т.е. она лучше соответствует экспериментальным данным.

Исходя из выше сказанного, в качестве регрессионной модели для прогнозирования грузооборота используем степенную функцию.

8. Выполняем прогнозирование грузооборота на заданный период (в соответствии с заданием на 3 года вперед)

Значение грузооборота на заданную перспективу (на 3 года вперед) по (2.4) равно

$$y^* = 17273,626 \cdot x^{0,020} = 17273,626 \cdot 10^{0,020} = 18070,5 \text{ тыс. тонно-километров}$$

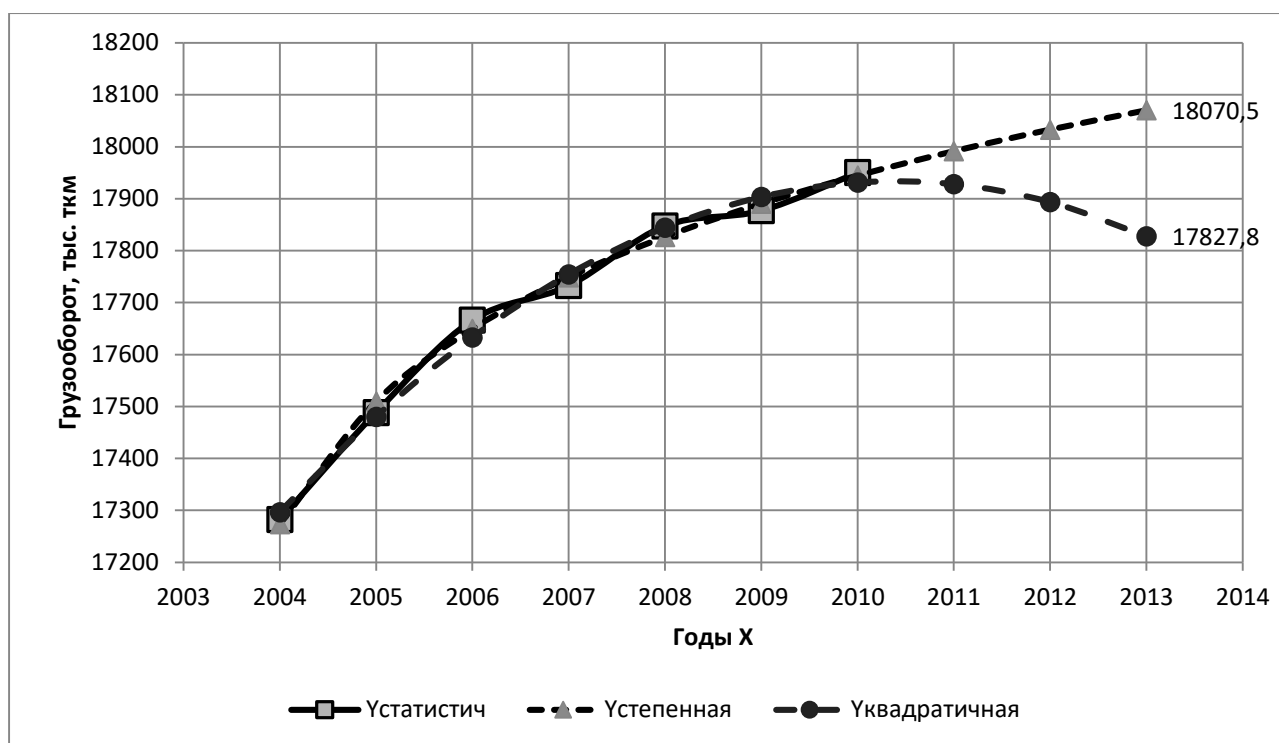


Рисунок 2.2 – Прогнозирование грузооборота предприятия

9. Выполняем оценку точности прогнозирования на основании полученной регрессионной модели [2]

Для оценки точности прогнозирования необходимо определить доверительный интервал для прогнозируемого значения y^* . Для этого определяем несмещенную оценку дисперсии y

$$D(y)_x = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^T)^2.$$

Для примера, используя таблицу 2.2, получаем

$$D(y)_x = \frac{1}{7-2} * 1726,2 = 345,2.$$

Затем находим значение половины величины доверительного интервала разброса среднего значения

$$\Delta \bar{y} = t_{\alpha/2, N} \sqrt{\frac{D(y)}{N}},$$

где $t_{\alpha/2, N}$ - значение критерия Стьюдента, для уровня значимости $\alpha = 0,05(5\%)$ и $N=7$ по [2] определяем значение критерия Стьюдента $t_{\alpha/2, N} = 1,8946$.

Для примера $\Delta \bar{y} = 1,8946 \cdot \sqrt{\frac{345,2}{7}} = 13,3$ тонно-километров.

Далее определяем величину периода упреждения (прогноза) Π

$$\Pi = \frac{x^* \cdot N}{x_N} - N,$$

где x_N - максимальное значение фактора x , для примера x - условный год и $x_N = 7$ (см.

табл. 2.3, 2.4) ; N - количество точек, для примера $N=7$ (т. к. используются данные о грузообороте за 7 лет); x^* - значение фактора x на заданную перспективу для которого выполняется прогноз, для примера $x^*=10$, т.к. выполняется прогноз на 3 года вперед, т.е.

$$x^* = 7 + 3 = 10.$$

Для примера величина периода прогноза $\Gamma = \frac{10 \cdot 7}{7} - 7 = 3$.

Значение половины величины доверительного интервала для прогнозируемого значения вычисляется по формуле

$$\Delta y^* = \Delta \bar{y} \cdot \sqrt{\frac{N+1}{N} + \frac{3 \cdot (N+2\Gamma-1)^2}{N \cdot (N^2-1)}}.$$

Для примера $\Delta y^* = 13,3 \cdot \sqrt{\frac{7+1}{7} + \frac{3 \cdot (7+2 \cdot 3-1)^2}{7 \cdot (7^2-1)}} = 13,3 \cdot 1,56 = 20,7$ тыс. тонно-километров.

Доверительный интервал для прогнозируемого значения y^*

$$y^* - \Delta y^* < M(y) < y^* + \Delta y^*.$$

Для примера для прогнозируемого значения $y^* = 18070,5$ тыс. тонно-километров доверительный интервал равен

$$18070,5 - 20,7 < M(y) < 18070,5 + 20,7,$$

$$18049,8 \text{ тыс. тонно-километров} < M(y) < 18091,2 \text{ тыс. тонно-километров.}$$

Лабораторная работа №3

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ЛИНЕЙНОЙ ПО ПАРАМЕТРАМ МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ (ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ)

Цель: освоить методику планирования полного факторного эксперимента для построения линейной двухфакторной модели

Теоретические сведения

Эксперимент - это система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях. Эксперимент состоит из опытов.

Опыт - это воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов. Условия опытов определяются **уровнями (значениями) факторов**.

Фактор - это переменная величина, по предположению влияющая на результаты эксперимента. **Уровень фактора** - это фиксированное значение фактора относительно начала отсчета.

Отклик - это наблюдаемая случайная переменная, по предположению, зависящая от факторов.

Пассивный эксперимент – это эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются. Пример пассивного эксперимента - это **подконтрольная эксплуатация автомобилей**. В этом случае в автотранспортном предприятии (АТП) выделяется специальная группа подконтрольных автомобилей (выборка), выполняющая обычную транспортную работу. На каждый автомобиль заводится специальный журнал, где фиксируется и накапливается информация о всех отказах и неисправностях, на каком пробеге они произошли или выявлены, данные о нагрузках, виде перевозимого груза, среднесуточных пробегах, пробегах до ТО и между ремонтами и т.п. Основной недостаток пассивного эксперимента: информация слишком «запаздывает», т.е. время обратной связи очень значительно. Например, от разработки какого-либо узла до момента поступления информации о его надежности из сферы эксплуатации проходит несколько лет.

Активный эксперимент - это эксперимент, в котором уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем. Активный эксперимент проводится в соответствии с планом эксперимента.

Этапы проведения экспериментальных исследований

1. Формирование целей исследований
2. Выдвижение гипотезы об исследуемом объекте
3. Планирование эксперимента
4. Проведение эксперимента
5. Обработка и анализ результатов
6. Проверка правильности выдвинутой гипотезы
7. Выдвижение новой гипотезы, если необходимо
8. Проверка условий окончания эксперимента
9. Планирование нового эксперимента (при необходимости)

Планирование эксперимента – это выбор плана эксперимента, удовлетворяющего заданным требованиям. Основным требованием при планировании эксперимента является минимизация времени и числа опытов при сохранении требуемой достоверности результатов. Изменение уровней факторов происходит в соответствии с планом эксперимента.

План эксперимента - совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов. Исследователь в каждом опыте изменяет *уровни управляемых факторов* $x_1, x_2, \dots, x_n$, воздействующих на объект исследования, и регистрирует *отклик (выходной параметр)* y . В результате проведения эксперимента необходимо определить **функцию отклика** y - зависимость математического ожидания отклика от факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; b_0, b_1, \dots, b_m).$$

где $b_0, b_1, \dots, b_m$ – параметры модели.

Функцию отклика называют также *моделью регрессионного анализа или регрессионной моделью*, а $b_0, b_1, \dots, b_m$ – коэффициентами регрессии.

Функция отклика должна иметь числовое выражение, четкий физический или экономический смысл, быть информативной (т.е. характеризовать свойства объекта) и измеряться с требуемой точностью. Факторы должны быть управляемыми, совместимыми, независимыми, однозначными и непосредственно влиять на отклик [1,2].

Планирование эксперимента обладает рядом *преимуществ* [2]:

- резко сокращается число испытаний;
- схема исследования объекта становится формализованной.
- проводится **последовательный эксперимент**, т.е. эксперимент, реализуемый в виде серий опытов, при этом условия проведения каждой последующей серии определяются результатами предыдущих
- процедура разработки математических моделей упрощается;
- точность математических моделей (их адекватность результатам эксперимента) повышается.

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

План, содержащий все возможные комбинации всех факторов на определенном числе уровней, называется **полным факторным планом**, а эксперимент, проводимый в соответствии с данным планом, – **полным факторным экспериментом (ПФЭ)**. 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**, т.е. преобразуют натуральные значения факторов в безразмерные. 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», среднее значение – «0». Нормализация факторов выполняется по следующей формуле

$$x_i = \frac{X_i - X_{CPI}}{\Delta X_i}, \Delta X_i = \frac{X_{MAXi} - X_{MINi}}{2}, X_{CPI} = \frac{X_{MAXi} + X_{MINi}}{2}, \quad (3.1)$$

где x_i - нормализованное значение i -го фактора, X_i - натуральное значение i -го фактора; X_{CPI} - среднее значение i -го фактора, ΔX_i - интервал варьирования i -го фактора.

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

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2, \quad (3.2)$$

где X_1 и X_2 – два контролируемых фактора, b_0, b_1, b_2 – параметры модели (коэффициенты регрессии).

Для двух факторов количество опытов полного факторного плана равно $N = p^k = 2^2 = 4$. Составляют **матрицу плана** – стандартную форму записи условий проведения эксперимента в виде прямоугольной таблицы, строки которой отвечают опытам, столбцы – факторам (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Матрица полного факторного эксперимента для двух факторов

№ опыта u	Нормализованные значения факторов		Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимента, y_u
	x_1	x_2	
1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	y_2
3	-1	-1	y_3
4	+1	-1	y_4

Графический план ПФЭ для двух факторов в факторном пространстве можно представить в виде квадрата (см. рис. 3.1).

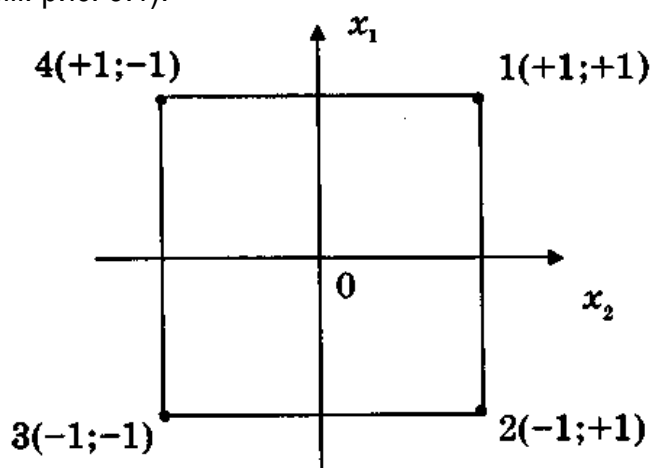


Рисунок 3.1 – Схема плана ПФЭ типа 2^2 [2]

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

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2, \quad (3.3)$$

т. е. учитывается эффект взаимодействия факторов $X_1 X_2$, вычисляют параметры модели и проверяют ее адекватность. Коэффициент b_{12} оценивает эффект парного взаимодействия факторов X_1 и X_2 , и показывает силу влияния одного фактора в зависимости от уровня другого. Матрица планирования эксперимента с учетом эффектов взаимодействия называется расширенной матрицей планирования (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Расширенная матрица полного факторного эксперимента для двух факторов

№ опыта u	Нормализованные значения факторов			Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимента, y_u
	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	
1	+1	+1	+1	y_1

№ опыта u	Нормализованные значения факторов			Значение функции отклика, полученное в ходе эксперимента, y_u
	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	
2	-1	+1	-1	y_2
3	-1	-1	+1	y_3
4	+1	-1	-1	y_4

Параметры нормализованной регрессионной модели определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u, \\
 b_i &= \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (x_i Y)_u, \\
 b_{ij} &= \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N (x_i x_j Y)_u,
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

где N – число опытов; i, j – номера факторов; x_i, x_j – нормализованные значения факторов; Y_u – измеренное значение отклика в u -м опыте. Например, значение коэффициента b_1 определяется

$$b_1 = \frac{(+1) \cdot y_1 + (-1) \cdot y_2 + (-1) \cdot y_3 + (+1) \cdot y_4}{4}.$$

Графическим представлением функции отклика является поверхность отклика (см. рис. 3.2).

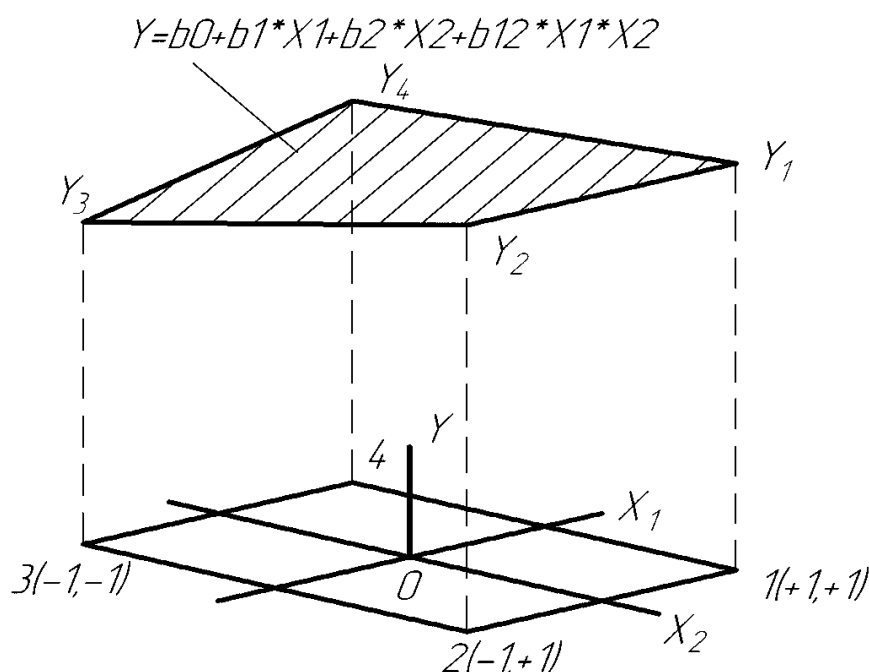


Рисунок 3.2 – Поверхность отклика $y = f(x_1, x_2)$ в факторном пространстве

Если модель адекватна, то заканчивают эксперимент. Если модель не адекватна, то модель предполагается квадратичной в виде

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 \quad (3.5)$$

Далее составляется план для определения параметров квадратичной модели, проводятся недостающие опыты, определяются параметры модели и проверяется ее адекватность.

После определения параметров нормализованной модели переходят к натуральной модели, с помощью которой можно определить значение отклика Y по значениям факторов X_1, X_2 не проводя эксперимент.

Задание

Используя изложенную ниже методику планирования полного факторного эксперимента и табличный процессор MS Excel, определите параметры модели зависимости средней толщины h (отклик Y), осажденного на катоде металла при нанесении гальванического покрытия, от плотности тока на катоде D_k (фактор X_1) и времени нанесения покрытия t (фактор X_2), а также спрогнозировать значение толщины гальванического покрытия для заданных плотности тока и времени нанесения гальванического покрытия. Модель ищем в виде (3.3). Письменно ответить на контрольные вопросы. Исходные данные (таблица А.3) и шаблон отчета по лабораторной работе содержатся в файле **Лаб_раб_ОНИИД1.xls. Формулы нужно запрограммировать.**

Пример расчета

Таблица 3.3 - Исходные данные

Наименование процесса	<i>Износостойкое хромирование</i>
Плотность металла покрытия, г/см ³	6,9
Электрохимический эквивалент C , г/А*ч	0,324
Выход металла по току, %	13
Пределы изменения плотности тока D_k , А/дм ²	50 - 75
Пределы изменения времени нанесения покрытия t , ч	4 – 6
Дисперсия воспроизводимости S_b , мм ²	0,0001
Доверительная вероятность P	0,95
Уровень значимости $\alpha = 1 - P$	0,05
Определите толщину наносимого гальванического покрытия для	
Время нанесения t , ч	6,5
Плотности тока, А/дм ²	65

Порядок выполнения

1 Нормализуем натуральные значения факторов по формулам (3.1) и сводим в таблицу 3.4

Для фактора X_1 (плотности тока на катоде):

$$X_{CP1} = \frac{X_{MAX1} + X_{MIN1}}{2} = \frac{75 + 50}{2} = 62.5; \Delta X_1 = \frac{X_{MAX1} - X_{MIN1}}{2} = \frac{75 - 50}{2} = 12.5$$

$$X_{1MIN} = \frac{X_{1MIN} - X_{CP1}}{\Delta X_1} = \frac{50 - 62.5}{12.5} = -1; \quad X_{1MAX} = \frac{X_{1MAX} - X_{CP1}}{\Delta X_1} = \frac{75 - 62.5}{12.5} = 1$$

Таблица 3.6 – Натуральные и нормализованные значения факторов

Обозначение фактора	Минимальное значение фактора		Максимальное значение фактора		Среднее значение фактора		Интервал варьирования фактора ΔX (натуральное значение)
	Натуральное	Нормализованное	Натуральное	Нормализованное	Натуральное	Нормализованное	
X_1	50	-1	75	+1	62,5	0	12,5
X_2	4	-1	6	+1	5	0	1

2 Составляем матрицу планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ) для 2 факторов (по аналогии с табл. 3.2).

После составления матрицы планирования ПФЭ по составленному плану проводится эксперимент, при этом в каждом опыте фактор фиксируется на заданном уровне (минимальном или максимальном). В результате проведения каждого опыта определяется значение отклика Y , т.е. значение средней толщины h (мм) гальванического покрытия. Данные значения также заносятся в матрицу планирования (см. табл.3.7).

Таблица 3.7 – План полного факторного эксперимента (факторный план)

№ опыта u	X_1 (плотность тока D_k)		X_2 (времена нанесения покрытия t)		$X_1 \cdot X_2$	Значение отклика Y (Толщина покрытия h , мм), полученное в результате опыта
	натуральное значение, A/dm^2	Нормализованное значение	натуральное значение, ч	Нормализованное значение	Нормализованное значение	
1	75	1	6	1	1	0,2747
2	75	1	4	-1	-1	0,1831
3	50	-1	6	1	-1	0,1831
4	50	-1	4	-1	1	0,1221

3 Определяем коэффициенты регрессии (параметры регрессионной модели) b_0, b_1, b_2, b_3 по формулам (3.4) и их значимость.

Для коэффициента b_0 :

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u = \frac{0.275+0.183+0.183+0.122}{4} = 0.1908$$

Для коэффициента b_1 :

$$b_1 = \frac{1}{4} \sum_{u=1}^4 (x_1 Y)_u = \frac{(+1) \cdot y_1 + (+1) \cdot y_2 + (-1) \cdot y_3 + (-1) \cdot y_4}{4} =$$

$$= \frac{(+1) \cdot 0.275 + (+1) \cdot 0.183 + (-1) \cdot 0.183 + (-1) \cdot 0.122}{4} = 0.0382.$$

Аналогично определяем значения для b_2, b_{12} : $b_2 = 0,0382$; $b_{12} = 0,0076$.

Статистическая оценка значимости коэффициентов регрессии предназначена для исключения второстепенных факторов, не влияющих на функцию отклика.

Для оценки коэффициентов регрессии сначала определяют *дисперсию воспроизводимости* эксперимента, которая характеризует разброс значений отклика при проведении параллельных (дублирующих) опытов:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2,$$

где N - количество основных опытов (серий); S_u^2 - дисперсия, полученная при проведении параллельных опытов в каждой серии:

$$S_u^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2}{m-1}, (k = 1, 2, \dots, m);$$

где y_{uk} - значение отклика в k -м опыте; $\bar{y}_u$ - среднее значение отклика в u -ой серии; количество параллельных опытов в серии ($m=3$).

В каждом проводимом основном опыте (серии) опыт повторялся 3 раза, а затем вычислялась дисперсия воспроизводимости. По данным эксперимента дисперсия воспроизводимости равна

$$S_y^2 = 0,0001.$$

Далее находим дисперсию оценок коэффициентов регрессии

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{N \cdot m},$$

где N - количество опытов, m – количество параллельных опытов ($m=3$).

Для проводимого эксперимента дисперсия оценок коэффициентов регрессии

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{N \cdot m} = \frac{0,0001}{4 \cdot 3} = 0,0000083.$$

Доверительный интервал рассеяния коэффициентов уравнения регрессии определяют

$$\delta = S_b \cdot t(\alpha, k_2),$$

где $t(\alpha, k_2)$ - критерий Стьюдента, его принимают исходя из заданного уровня значимости $\alpha=0,05$ (т.е. вероятность ошибки 5%) и числу степеней свободы $k_2 = N \cdot (m-1)$.

Для проводимого эксперимента $k_2 = 4 \cdot (3-1) = 8$, а критерий Стьюдента $t(0,05; 8) = 2,306$.

Доверительный интервал рассеяния коэффициентов уравнения регрессии

$$\delta = t(\alpha, k_2) \cdot S_b = t(\alpha, k_2) \cdot \sqrt{S_b^2} = 2,306 \cdot \sqrt{0,0000083} = 0,0067$$

Если $|b_j| \geq \delta$, то коэффициент регрессии значим. Если $|b_j| < \delta$, то коэффициент регрессии не значим, т.е. $b_j = 0$.

По результатам эксперимент все коэффициенты значимы:

$$|0,1908| > 0,0067$$

$$|0,0382| > 0,0067$$

$$|0,0382| > 0,0067$$

$$|0,0076| > 0,0067.$$

Нормализованная регрессионная модель имеет вид

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_{12} = 0,1908 - 0,0382 \cdot x_1 + 0,0382 \cdot x_2 + 0,0076 \cdot x_{12}.$$

4 Проверяем полученную регрессионную модель на адекватность для того, чтобы определить насколько расчетные значения соответствуют эмпирическим и можно ли использовать полученную регрессионную модель для расчета и прогнозирования значений отклика.

Находим опытное значение критерия Фишера $F_{оп}$, если $F_{оп} < F_{ТЕОР}$, то модель адекватна, и наоборот. Критерий Фишера вычисляется [1]:

$$F_{оп} = \frac{S_{yHA}^2}{S_y^2},$$

где S_{yHA}^2 - дисперсия неадекватности:

$$S_{yHA}^2 = \frac{m \sum_{u=1}^N (y_{uPACЧ} - \overline{y_{uОПЫТ}})^2}{N - n},$$

где $y_{uPACЧ}$ - значение отклика, рассчитанное по регрессионной модели для u -й комбинации факторов, $\overline{y_{uОПЫТ}}$ - среднее значение отклика, полученное в u -м опыте, n - количество факторов.

Теоретическое значение критерия Фишера $F_{ТЕОР}$ определяется по справочным таблицам [1, 2] в зависимости от уровня значимости α и числа степеней свободы $k_1 = N - n$ и k_2 .

Для расчета критерия Фишера сведем в табл. 3.8 значения отклика, полученные по регрессионной модели и полученные в ходе эксперимента. Из данной таблицы видно, что значения совпадают, поэтому считаем, что модель адекватна и расчет критерия Фишера не выполняем.

Таблица 3.8 – Сравнение значений экспериментальных и расчетных значений отклика

№ опыта, и	Значение отклика $\overline{y_{\text{ОПЫТ}}}$ (толщина покрытия h, мм), полученное в результате опыта	Значение отклика $y_{\text{РАСЧ}}$ (толщина покрытия h, мм), рассчитанное по регресси- онной модели
1	0,2747	0,2747
2	0,1831	0,1831
3	0,1831	0,1831
4	0,1221	0,1221

5 Переходим к натуральной модели и выполняем прогнозирование значения отклика для заданных значений факторов, которые лежат в области экспериментирования.

Для перехода к натуральной модели в нормализованной модели нормализованные факторы заменяем на натуральные с помощью формул (3.1):

$$\begin{aligned}
 Y &= b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_{12} = \\
 &= b_0 + b_1 \cdot \frac{X_1 - X_{CP1}}{\Delta X_1} + b_2 \cdot \frac{X_2 - X_{CP2}}{\Delta X_2} + b_{12} \cdot \frac{X_1 - X_{CP1}}{\Delta X_1} \cdot \frac{X_2 - X_{CP2}}{\Delta X_2}
 \end{aligned}$$

Для примера натуральная модель имеет вид:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.1908 - 0.0382 \cdot x_1 + 0.0382 \cdot x_2 + 0.0076 \cdot x_{12} = \\
 &= 0.1908 - 0.0382 \cdot \frac{X_1 - 62.5}{12.5} + 0.0382 \cdot \frac{X_2 - 5}{1} + 0.0076 \cdot \frac{X_1 - 62.5}{12.5} \cdot \frac{X_2 - 5}{1}
 \end{aligned}$$

Выполняем прогнозирование значения отклика Y (толщина покрытия h, мм) для заданных значений факторов X_1, X_2 в соответствии с исходными данными.

Выполняем расчет с использованием натуральной модели

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.1908 - 0.0382 \cdot \frac{X_1 - 62.5}{12.5} + 0.0382 \cdot \frac{X_2 - 5}{1} + 0.0076 \cdot \frac{X_1 - 62.5}{12.5} \cdot \frac{X_2 - 5}{1} = \\
 &= 0.1908 - 0.0382 \cdot \frac{65 - 62.5}{12.5} + 0.0382 \cdot \frac{6.5 - 5}{1} + 0.0076 \cdot \frac{65 - 62.5}{12.5} \cdot \frac{6.5 - 5}{1} = \\
 &= 0.2579 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

Содержание отчета по лабораторной работе

Тема, цель, исходные данные, распечатка отчета по лабораторной работе (файл Лаб_раб_ОНИиИД1.xls, письменные ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий: эксперимент, опыт, фактор, отклик, уровень фактора, план эксперимента, активный эксперимент, полный факторный эксперимент, матрица плана эксперимента.
2. Что такое подконтрольная эксплуатация автомобилей? К какому виду экспериментов она относится? Укажите его достоинства и недостатки.
3. Что определяется в ходе эксперимента?
4. Назовите основные требования при планировании эксперимента?
5. В чем заключается нормализация факторов при планировании эксперимента? С какой целью она проводится?
6. Запишите расширенную матрицу полного факторного эксперимента для двух факторов и регрессионную модель, параметры которой определяются по данной матрице.
7. Изобразите поверхность отклика для 2-х факторов.
8. Сколько и какие уровни факторов используются для определения параметров линейной модели? Назовите нормализованные значения уровней факторов?

Список используемых источников

1. Коваленко, Н. А. Научные исследования и решение инженерных задач в сфере автомобильного транспорта: учеб. пособие / Н. А. Коваленко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФА-М, 2011 – 271 с.: ил.
2. Научные исследования и решение инженерных задач: Учебн. пособие/ С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003.

Учебное издание

Составители: Монтик Сергей Владимирович
Концевич Павел Сергеевич
Березуцкая Светлана Олеговна

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ
ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»**

для студентов специальностей

1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»

Ответственный за выпуск Монтик С.В.
Редактор

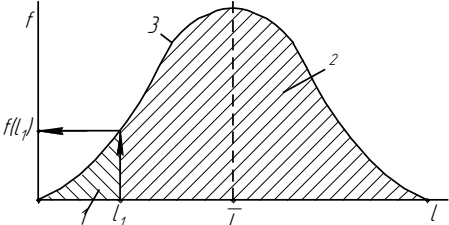
Подписано к печати .2016 г. Формат 60х84/16 Бумага писчая N 1. Усл. п.л.
____. Уч. изд. л. . Заказ N . Тираж 40 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения
образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г.
Брест, ул. Московская, 267.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

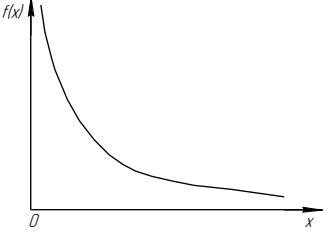
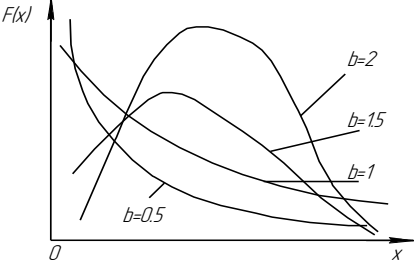
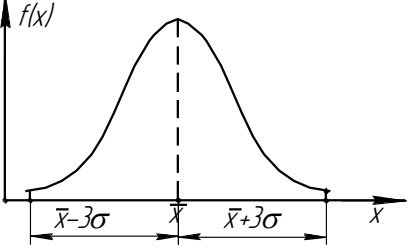
Вопросы к экзамену по дисциплине "Основы научных исследований и инновационной деятельности"

Экзаменационные вопросы

№	Вопрос
1.	Деятельность, направленная на получение новых знаний о природе для разработки новых способов их применения - это
2.	Деятельность, включающая проведение прикладных исследований и разработок – это
3.	Сфера деятельности, включающая основные цели, принципы, направления и способы воздействия государства на субъекты научной, научно-технической и инновационной деятельности– это
4.	Исследования, направленные на получение новых знаний об основных закономерностях развития природы – это
5.	Исследования, направленные на достижения конкретных практических целей– это
6.	Приоритетные направления научных исследований разрабатываются
7.	Подготовка научных работников высшей квалификации организуется в
8.	В Республике Беларусь присуждаются ученые степени
9.	В Республике Беларусь присуждаются ученые звания
10.	Высшей государственной научной организацией РБ является
11.	Государственное управление в сфере научной деятельности осуществляют Президент Республики Беларусь, Совет Министров Республики Беларусь и
12.	Основными научными и научно-организационными подразделениями Национальной академии наук являются
13.	Научно-производственное объединение включает
14.	Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника» является
15.	Магистратура – это
16.	Где защищается диссертация на соискание ученой степени?
17.	Контроль за своевременностью и качеством выполняемых хоздоговорных исследований, правильностью финансовых расчетов в вузах выполняют
18.	Результаты исследования, содержащихся в отчетах о НИР, докладах и т. п. относятся к
19.	Конструкторская и технологическая документация, программные средства, макеты, опытные образцы относятся к ...
20.	Работы, проводимые для получения исходных данных, изыскания принципов создания новой продукции – это
21.	Работы, выполняемые при создании или модернизации продукции, разработка конструкторской и технологической документации – это
22.	Система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при испытаниях – это
23.	Воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях при возможности регистрации его результатов - это
24.	Переменная величина, по предположению влияющая на результаты эксперимента – это
25.	По данным эксперимента определяется
26.	Совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов – это
27.	Эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются – это
28.	Эксперимент, в котором уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем – это
29.	Подконтрольная эксплуатация автомобилей и сбор статистических данных на основании различных отчетных документов на автопредприятии – это
30.	Зависимая переменная, определяемая в ходе эксперимента -это

№	Вопрос
31.	Технология исследований, основанная на применении прикладной математики и ЭВМ для использования математических моделей – это ...
32.	Изучаемый реальный объект, либо его макет при заданных воздействиях внешней среды – это
33.	Система математических соотношений (формул, функций), описывающих определенные стороны изучаемого объекта – это
34.	Какая модель воспроизводит процесс функционирования системы во времени, при этом воспроизводятся элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.?
35.	При каком методе моделирования воспроизводится с высокой достоверностью исследуемый физический процесс при помощи вероятностных математических моделей и вычисляются характеристики этого процесса?
36.	Упрощенная форма представления реальных процессов, позволяющая изучить, оценить и прогнозировать влияние факторов на поведение системы в целом – это ...
37.	Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования - это
38.	Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки - это
39.	Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. - это
40.	Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта
41.	Свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования
42.	Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической документации - это
43.	Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации - это
44.	Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно - это
45.	Продолжительность или объем работы объекта - это
46.	Суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до предельного состояния - это
47.	Наработка объекта от ремонта после отказа до возникновения следующего отказа - это
48.	Наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа - это
49.	Укажите верное обозначение на рис. 
50.	Отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к числу его отказов в течение этой наработки - это

№	Вопрос
51.	Число отказов, приходящихся на единицу времени или пробега одного исправного изделия при условии, что до данного момента времени отказ не возник - это
52.	Число отказов, приходящееся на единицу времени или пробега одного восстанавливаемого изделия - это
53.	Накопленное количество первых и последующих отказов изделия при наработке X- это
54.	Отношение суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к суммарному времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период
55.	Какой параметр характеризует возможность сокращения ресурса после ремонта, т. е. качество ремонта?
56.	К основным показателям ремонтпригодности относят...
57.	К частным показателям ремонтпригодности относят...
58.	Как называется величина, оцениваемая интервалом, внутри которого с заданной вероятностью находится истинное значение показателя ?
59.	Какой показатель характеризует разброс значений показателя около его среднего значения и имеет ту же размерность, что и сам показатель?
60.	Какой показатель характеризует относительное рассеивание показателя относительно его среднего значения?
61.	Какая функция характеризует вероятность возникновения отказа за достаточно малый пробег при работе узла, агрегата, детали без замены?
62.	Какая функция показывает вероятность отказа автомобиля при пробеге L?
63.	Какие наблюдения используются для сокращения продолжительности испытаний для возможности оперативной оценки показателей надежности?
64.	Назовите основную цель разработки вероятностных математических моделей?
65.	Какой закон распределения характерен для показателей, на формирование которых оказывает влияние большое число независимых факторов?
66.	Какое распределение формируется, если на процесс влияет большое число независимых факторов, интенсивность действия которых зависит от достигнутого случайной величиной состояния?
67.	Какой закон распределения проявляется в модели «слабого звена», когда система состоит из группы независимых элементов, отказ каждого из которых приводит к отказу всей системы?
68.	При формировании какого закона распределения не учитывается постепенного изменения факторов, влияющих на протекание исследуемого процесса?
69.	Какое распределение характерно для распределения фактической трудоемкости (продолжительности) выполнения ТО, а также для распределения ресурсов и наработки (пробега) до появления первого отказа детали, узла, агрегата и автомобиля в целом?
70.	Какой закон применяется при описании процессов усталостных разрушений, коррозии, наработки до ослабления крепежных соединений, износа пар трения?
71.	Какой закон описывает распределение ресурса подшипника качения, прокладок, уплотнений, шлангов, трубопроводов, приводных ремней и т.д.?
72.	Какой закон используют чаще всего при описании внезапных отказов, пробега между отказами, трудоемкости текущего ремонта и т.д.?

№	Вопрос
73.	Для какого закона распределения характерен данный график дифференциальной функции? 
74.	Для какого закона распределения характерен данный график дифференциальной функции? 
75.	Для какого закона распределения характерен данный график дифференциальной функции? 
76.	Используя значения интегральной функции распределения пробега автомобилей до КР, определите количество автомобилей, которые потребуют КР при пробеге до ____ тыс. км. (может быть задано другое значение) Общее количество автомобилей – 100. Значения интегральной функции: $F(55 \text{ тыс. км})=0$; $F(81 \text{ тыс. км})=0,05$; $F(108 \text{ тыс. км})=0,2$; $F(135 \text{ тыс. км})=0,4$; $F(162 \text{ тыс. км})=0,6$; $F(188 \text{ тыс. км})=0,8$; $F(215)=0,95$; $F(242)=1$
77.	Используя значения интегральной функции распределения пробега автомобилей до КР, определите количество автомобилей, которые потребуют КР при пробеге в интервале от 108 до 162 тыс. км. (может быть задано другое значение) Общее количество автомобилей – 100. Значения интегральной функции: $F(55 \text{ тыс. км})=0$; $F(81 \text{ тыс. км})=0,05$; $F(108 \text{ тыс. км})=0,22$; $F(135 \text{ тыс. км})=0,4$; $F(162 \text{ тыс. км})=0,6$; $F(188 \text{ тыс. км})=0,8$; $F(215)=0,95$; $F(242)=1$. Выберите верный ответ
78.	Издержки от функционирования системы массового обслуживания при моделировании зоны ТО или ТР определяются...
79.	Совокупность требований к СМО на проведение определенных работ или оказание услуг - это
80.	Совокупность постов ТО, ТР, осуществляющих обслуживание (при моделировании зон ТО и ТР с помощью СМО) - это
81.	Как называются СМО, у которых входящий поток требований зависит от выходящего?
82.	Чем образуется входящий поток требований при моделировании с помощью СМО зоны ТО?

№	Вопрос
83.	Какое моделирование целесообразно использовать, если не разработаны аналитические методы решения задачи или они очень громоздки?
84.	Какие объекты GPSS описывают заявки; требования на обслуживание?
85.	Какие объекты GPSS задают логику функционирования имитационной модели и определяют пути движения требований?
86.	Какие объекты GPSS описывают оборудование, которое в любой момент времени может быть занято только одним требованием?
87.	Какие объекты GPSS описывают оборудование, которое может использоваться несколькими требованиями одновременно ?
88.	Какие объекты GPSS обеспечивают сбор статистической информации о времени задержки требований из-за занятости оборудования?
89.	Что является критерием оптимальности при решении транспортной задачи ?
90.	Что является критерием оптимальности в детерминированной задаче управления запасами?
91.	Используя формулу Вильсона, определите, как изменится оптимальное значение разовой поставки материалов, при увеличении потребности Q предприятия в материале в 4 раза?
92.	Используя формулу Вильсона, определите, как изменится оптимальное значение разовой поставки материалов, при увеличении затрат на хранение единицы запаса в единицу времени в 4 раза?
93.	Используя формулу Вильсона, определите, как изменится оптимальное значение разовой поставки материалов, при увеличении затрат на доставку партии материала в 4 раза?
94.	Какой анализ предназначен для выявления наличия влияния контролируемых факторов на отклик?
95.	Какой анализ предназначен для выявления наличия влияния одного фактора X на математическое ожидание отклика $M(Y)$?
96.	Задача какого анализа – выявление наличия и тесноты (силы) связи между значениями различных случайных величин?
97.	Какой показатель позволяет оценить силу линейной статистической связи между случайными величинами X и Y ?
98.	Задачами какого анализа является установление вида и параметров зависимости отклика Y от уровней одного или нескольких факторов X ?
99.	Что позволяет определить регрессионная модель?
100.	Если коэффициент корреляции $R \approx 1$, то между значениями случайных величин X и Y существует ...
101.	Если коэффициент корреляции $R \approx -1$, то между значениями случайных величин X и Y существует ...
102.	Если коэффициент корреляции $R = 0$, то между значениями случайных величин X и Y существует ...
103.	Укажите линейную многофакторную модель
104.	Укажите линейную однофакторную модель
105.	В результате проведения эксперимента необходимо определить
106.	План, содержащий все возможные комбинации всех факторов на определенном числе уровней, называется
107.	Количество опытов полного факторного эксперимента для определения параметров линейной модели для 2 факторов равно
108.	Количество опытов полного факторного эксперимента для определения параметров линейной модели для 3 факторов равно
109.	Какие нормализованные уровни факторов используются для определения параметров линейной модели и чему они соответствуют?
110.	Укажите уравнение 2-х факторной линейной модели с учетом эффекта взаимодействия факторов
111.	Укажите уравнение 2-х факторной линейной модели
112.	Для сокращения количества опытов при большом числе факторов используют
113.	Количество опытов дробного факторного эксперимента для определения параметров линейной 3-х факторной модели равно...

№	Вопрос																									
114.	Сколько опытов должна включать минимальная дробная реплика для построения линейной модели для К факторов?																									
115.	<table><tr><td>№ опыта</td><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td><td>Y</td></tr><tr><td>1</td><td>+1</td><td>+1</td><td>+1</td><td>Y1</td></tr><tr><td>2</td><td>-1</td><td>+1</td><td>-1</td><td>Y2</td></tr><tr><td>3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>+1</td><td>Y3</td></tr><tr><td>4</td><td>+1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>Y4</td></tr></table> Данная таблица – это матрица	№ опыта	X1	X2	X3	Y	1	+1	+1	+1	Y1	2	-1	+1	-1	Y2	3	-1	-1	+1	Y3	4	+1	-1	-1	Y4
№ опыта	X1	X2	X3	Y																						
1	+1	+1	+1	Y1																						
2	-1	+1	-1	Y2																						
3	-1	-1	+1	Y3																						
4	+1	-1	-1	Y4																						
116.	<table><tr><td>№ опыта</td><td>X1</td><td>X2</td><td>X1*X2</td><td>Y</td></tr><tr><td>1</td><td>+1</td><td>+1</td><td>+1</td><td>Y1</td></tr><tr><td>2</td><td>-1</td><td>+1</td><td>-1</td><td>Y2</td></tr><tr><td>3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>+1</td><td>Y3</td></tr><tr><td>4</td><td>+1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>Y4</td></tr></table> Данная таблица – это	№ опыта	X1	X2	X1*X2	Y	1	+1	+1	+1	Y1	2	-1	+1	-1	Y2	3	-1	-1	+1	Y3	4	+1	-1	-1	Y4
№ опыта	X1	X2	X1*X2	Y																						
1	+1	+1	+1	Y1																						
2	-1	+1	-1	Y2																						
3	-1	-1	+1	Y3																						
4	+1	-1	-1	Y4																						
117.	<table><tr><td>№ опыта</td><td>X1</td><td>X2</td><td>Y</td></tr><tr><td>1</td><td>+1</td><td>+1</td><td>Y1</td></tr><tr><td>2</td><td>-1</td><td>+1</td><td>Y2</td></tr><tr><td>3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>Y3</td></tr><tr><td>4</td><td>+1</td><td>-1</td><td>Y4</td></tr></table> Данная таблица – это	№ опыта	X1	X2	Y	1	+1	+1	Y1	2	-1	+1	Y2	3	-1	-1	Y3	4	+1	-1	Y4					
№ опыта	X1	X2	Y																							
1	+1	+1	Y1																							
2	-1	+1	Y2																							
3	-1	-1	Y3																							
4	+1	-1	Y4																							
118.	Новые или усовершенствованные технологии, виды продукции или услуг, а также организационно- технические решения, способствующие продвижению их на рынок - это																									
119.	Проект, содержанием которого является проведение прикладных научных исследований и (или) разработок, их практическое использование в производстве и реализации - это																									
120.	Процесс последовательного проведения работ по преобразованию новшества в продукцию и введение ее на рынок для коммерческого применения - это.																									
121.	Совокупность юридических лиц, ресурсов и средств, обеспечивающих материально-техническое, финансовое, и иное обслуживание инновационной деятельности - это																									
122.	Совокупность законодательных, структурных и функциональных компонентов, обеспечивающих развитие инновационной деятельности в стране - это																									
123.	Комплекс инновационных проектов и мероприятий, согласованный по ресурсам, исполнителям и срокам их осуществления - это																									
124.	Организация, содействующая развитию предпринимательства в научной, научно-технической, инновационной сферах и создание условий для инновационной деятельности от поиска (разработки) нововведения до его реализации - это																									
125.	Организация, обеспечивающая передачу инноваций из сферы их разработки в сферу практического использования - это.																									
126.	Организация, создаваемая для осуществления инвестиционной деятельности в сфере реализации инноваций, а также финансирования инновационных проектов - это																									
127.	Субъект инновационной инфраструктуры, созданный для образования новых предприятий, рабочих мест на основе комплексного метода организации инновационного процесса - это.																									
128.	Инновационный процесс включает этапы:																									
129.	Какая стратегия основывается на систематическом осуществлении предприятием широкого спектра крупномасштабных инновационных разработок по освоению новых ключевых технологий ?																									
130.	Какая стратегия состоит в специализации инновационной деятельности предприятия на ограниченном количестве ключевых технологий																									
131.	Какая стратегия предполагает быстрое освоение предприятием отраслевых новинок без проведения собственных значительных НИОКР за счет копирования новаторских идей ?																									
132.	Какая стратегия заключается в том, что предприятие отказывается от выполнения НИОКР и ограничивается внедрением видов продукции на основе лицензионных договоров ?																									
133.	Какая стратегия используется предприятиями, контролирующими значительную долю отраслевого рынка, обладающими потенциально эффективными новыми разработками, однако функционирующими в условиях сокращающегося рынка?																									
134.	Структура бизнес-планов инновационных проектов включает																									

№	Вопрос
135.	Система экономических отношений, посредством которых осуществляется передача объектов нематериальных активов, связанных с результатами различных инновационных разработок, от одного субъекта рынка к другому – это
136.	Показатель, показывающий общую сумму накопленной за весь период реализации проекта чистого дохода, приведенной к единой базе с помощью дисконтирования - это
137.	Процентная ставка, при которой чистый дисконтированный доход равен 0 – это ...
138.	Продолжительность периода времени, за который доходы по проекту $D(t)$ покроют затраты на реализацию проекта $Z(t)$ (без учета дисконтирования) – это ...

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____ А.Н.Парфиевич

. .2025

Регистрационный №

/уч.

Основы научных исследований и инновационной деятельности

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных
и технологических машин и комплексов

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 6-05-0715-07-2023 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов и учебных планов специальности.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Монтик С. В., заведующий кафедрой машиностроения и эксплуатации автомобилей, кандидат технических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Головченко Ю. А., директор ООО «ДжиЭсДжи Групп»;

Савчук С.В., заведующий кафедрой машиноведения учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой машиностроения и эксплуатации автомобилей

Заведующий кафедрой С.В. Монтик

(протокол № __ от _____.2025);

Методической комиссией машиностроительного факультета

Председатель методической комиссии В.П. Горбунов

(протокол № _____ от _____ 2025);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № _____ от _____ 2025)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины

Учебная дисциплина «Основы научных исследований и инновационной деятельности» относится к компоненту учреждения высшего образования и изучается на 3 курсе в 5 семестре студентами дневной формы получения образования и на 3 курсе в 9 семестре студентами заочной формы получения образования.

Цель данной дисциплины состоит в освоении теоретических и методологических основ проведения научных исследований и инновационной деятельности для решения инженерных в области технической эксплуатации автомобилей.

Основными задачами учебной дисциплины являются:

- приобретение знаний о целях и задачах фундаментальных и прикладных исследований, этапах и методах обработки результатов исследований, корреляционно-регрессионном анализе, теории массового обслуживания;
- формирование навыков обработки статистических данных, планирования эксперимента, построения имитационных моделей в области автомобильного транспорта;
- овладение методами обработки статистических данных, планирования эксперимента, организации и проведения научных исследований и инновационной деятельности.

В результате изучения учебной дисциплины «Основы научных исследований и инновационной деятельности» формируются следующие компетенции:

СК-14: Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации.

В результате изучения учебной дисциплины «Основы научных исследований и инновационной деятельности» студент должен:

знать:

- цели и задачи фундаментальных и прикладных исследований;
- методологические основы экспериментальной работы;
- основные этапы и методы обработки результатов исследований;
- основы корреляционно-регрессионного анализа, теории планирования экспериментов и принятия оптимальных решений;
- основы теории массового обслуживания и возможности её использования для решения задач технической эксплуатации автомобилей;
- содержание, методы инновационной деятельности и основы ее организации; закономерности формирования инновационных стратегий;
- основные законодательные и нормативные акты в области инноваций;

уметь:

- обрабатывать статистические данные, определять вероятностный закон распределения, использовать полученные сведения в практической работе;
- использовать теорию планирования экспериментов, теорию массового обслуживания и теорию надёжности, корреляционно-регрессионные модели в исследованиях по технической эксплуатации;
- пользоваться методами организации и проведения научных исследований в области транспорта;

владеть:

- методами обработки статистических данных;
- методами планирования эксперимента;
- методами инновационной деятельности.

Связь с другими учебными дисциплинами.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении таких дисциплин, как: «Математика», «Физика», «Информатика», «Основы технической эксплуатации автомобилей». Знания и умения, полученные студентами при изучении данной учебной дисциплины, необходимы для освоения дисциплин «Обслуживание и ремонт автомобилей»; «Техническая эксплуатация автомобилей»; «Производственно-техническая инфраструктура организаций автосервиса»; «Производственно-техническая инфраструктура для технической эксплуатации автомобильного парка организации».

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовую работу	Форма промежуточной аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0715-07	Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов	3	5	118	3	68	34	34	-	-	-	Экзамен

План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовую работу	Форма промежуточной аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0715-07	Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов	5	9	118	3	16	8	8	-	-	-	Экзамен

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1 ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Организация научно-исследовательской работы в Республике Беларусь.

Цели и задачи дисциплины. Законы Республики Беларусь «О научной деятельности», «Об основах государственной научно-технической политики», «О Национальной академии наук Беларуси».

Организационная структура науки. Национальная академия наук Беларуси. Отраслевые институты. БелНИИТ «Транстехника».

Организация научно-исследовательской работы в вузе. Организация учебно-исследовательской и научной работы студентов. Подготовка и повышение квалификации научных и инженерных кадров.

Тема 2. Выбор направления научного исследования и этапы научно-исследовательской работы.

Классификация научно-исследовательских работ. Выбор направления научных исследований.

Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы». Перспективные направления научно-исследовательских работ в области технической эксплуатации автомобилей.

СТБ 1080-2011 «Порядок выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию научно-технической продукции».

Тема 3. Основные положения математического моделирования. Экспериментальные исследования.

Понятие моделирования. Виды моделей. Основные положения математического моделирования. Общая последовательность математического моделирования. Классификация видов математического моделирования. Особенности разработки математических моделей в решении задач технической эксплуатации автомобилей, примеры математических моделей. Теоретическое обоснование разработки математических моделей на основании результатов эксперимента

Методика проведения экспериментальных исследований. Вычислительный эксперимент. Понятие о доверительной вероятности и уровня значимости. Построение интервального ряда экспериментального распределения

Тема 4. Показатели надежности.

ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». Основные термины и определения. Определение показателей безотказности. Определение показателей долговечности. Определение показателей ремонтопригодности. Определение показателей сохраняемости.

Тема 5. Расчет показателей надежности автомобиля.

Закономерности изменения технического состояния автомобиля. Расчет среднего значения и доверительного интервала. Расчет показателей вариации экспериментального распределения. Расчет эмпирических интегральной и дифференциальной функций распределения. Физический смысл интегральной и дифференциальной функций распределения.

Тема 6. Разработка вероятностных математических моделей.

Понятие вероятностной математической модели. Определение вида вероятностной математической модели. Методика выбора оптимальной вероятностной математической модели при обработке эксплуатационных испытаний на надежность. Физические закономерности процессов формирования вероятностных распределений.

Характеристика вероятностных математических моделей, применяемых в решении задач технической эксплуатации автомобилей. Формирование нормального распределения. Формирование логарифмически нормального распределения. Формирование распределения Вейбулла. Формирование экспоненциального (показательного) распределения. Проверка адекватности вероятностной математической модели по результатам эксперимента. Использование вероятностной математической модели для прогнозирования количества отказов.

Тема 7. Закономерности процессов восстановления работоспособности.

Процесс восстановления изделий. Механизм смещения отказов разных поколений. Показатели процесса восстановления. Практическое значение и методы определения показателей процесса восстановления.

Тема 8. Анализ процессов технического обслуживания и ремонта на основе теории массового обслуживания. Имитационное моделирование производственных процессов ТО и ремонта автомобилей.

Структура и показатели эффективности систем массового обслуживания. Расчет параметров эффективности работы средств обслуживания автомобилей как системы массового обслуживания. Примеры применения систем массового обслуживания в технической эксплуатации автомобилей и расчет их параметров

Основные характеристики имитационного моделирования. Моделирование производственных процессов ТО и ремонта автомобилей с использованием системы GPSS World Student Version. Примеры моделирования сложных систем массового обслуживания

Тема 9. Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ. Разработка регрессионных моделей.

Общие сведения о дисперсионном, корреляционном и регрессионном анализе, их цели и задачи, примеры использования. Парные и многофакторные регрессионные модели. Линейная и нелинейная зависимости. Оценка вида и степени тесноты связи между экспериментальными данными, коэффициент корреляции. Методы подбора эмпирических формул. Оценка адекватности регрессионных математических моделей. Применение регрессионных математических моделей в задачах технической эксплуатации автомобилей

Тема 10. Научное планирование эксперимента.

ГОСТ 24026-80 «Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения». Постановка задачи планирования эксперимента. Общие сведения о научном планировании эксперимента. Полный факторный эксперимент. Дробный факторный эксперимент. Проведение эксперимента и анализ полученных данных. Применение научного планирования эксперимента в решении задач технической эксплуатации автомобилей. Целевая функция. Методы поиска экстремума целевой функции.

Тема 11. Решение задач материально-технического обеспечения. Методы исследования транспортных операций.

Основные методы решения задач управления запасами. Однопродуктовая детерминированная задача управления запасами. Формула Вильсона.

Методы формирования плана перевозок. Транспортная задача линейного программирования.

Тема 12. Государственная инновационная политика и инновационная деятельность в Республике Беларусь. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь.

Место и роль инноваций в процессе развития страны.

ГОСТ 31279-2004 «Инновационная деятельность. Термины и определения».

Государственная инновационная политика. Национальная инновационная система Республики Беларусь. Инновационная инфраструктура.

Закон Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425-3 (ред. от 06.01.2022 № 152-3) «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь».

Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 (ред. от 25.10.2022 № 381) «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы».

Тема 13. Этапы и модель инновационного процесса. Управление инновационной деятельностью предприятия.

Этапы и модель инновационного процесса. Инновационный проект. Структура бизнес-планов инновационных проектов.

Типовые стратегии технологического трансфера. Стратегия передачи/получения патентов на инновационную разработку. Стратегия передачи/получения лицензий на патентуемые виды промышленной собственности. Стратегия передачи/получения лицензий на непатентуемые виды промышленной собственности (ноу-хау). Стратегия передачи/получения технологий в материализованном виде. Стратегия перекрестного лицензирования. Стратегия перекрестного лицензирования. Стратегия технологического инвестирования. Стратегия научно-производственного кооперирования. Выбор стратегий технологического трансфера.

Инновационный менеджмент предприятия. Основными функции. Основные разновидности инновационных стратегий предприятия: наступательные инновационные стратегии, защитные инновационные стратегии, стратегия технологического (продуктового) лидерства, стратегия технологической (продуктовой) ниши, стратегия имитации, стратегия создания совместных предприятий, стратегия зависимости, стратегия лицензирования.

Тема 14. Оценка инновационной деятельности предприятия.

Оценка эффективности продуктовых инновационных проектов. Экономические эффекты. Научно-технические эффекты. Социальные эффекты.

Показатели оценки эффективности инновационной деятельности предприятия. Статические методы (критерии) оценки экономической эффективности. Дисконтированные критерии экономической эффективности.

1.2 ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1. Корреляционный анализ в задачах технической эксплуатации автомобилей
2. Прогнозирование грузооборота автотранспортного предприятия с использованием регрессионного анализа
3. Прогнозирование грузооборота (или пассажирооборота) автотранспортного предприятия с использованием регрессионного анализа
4. Планирование эксперимента. Определение вида линейной по параметрам многофакторной модели (последовательное планирование)

5. Планирование эксперимента. Полный и дробный факторный эксперимент.
6. Расчет показателей надежности автомобилей
7. Методы формирования плана перевозок. Транспортная задача, ее решение с использованием табличного процессора MS Excel
8. Принятие решений в условиях риска и неопределенности. Оптимизация зоны текущего ремонта с использованием теории игр
9. Оптимизация средств обслуживания автомобилей на основе систем массового обслуживания
10. Создание имитационной модели функционирования автозаправочной станций и изучение характеристик ее работы
11. Оптимизация зоны технического обслуживания автомобилей автотранспортного предприятия (АТП) с использованием имитационного моделирования
12. Оптимизация зоны текущего ремонта автомобилей АТП с использованием имитационного моделирования

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ КАРТЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	5-й семестр						
1	Организация научно-исследовательской работы в Республике Беларусь	2				2	опрос
2	Выбор направления научного исследования и этапы научно-исследовательской работы	2				2	опрос
3	Основные положения математического моделирования. Экспериментальные исследования.	2				2	опрос
4	Показатели надежности	2				4	опрос
5	Расчет показателей надежности автомобиля	4	4			4	опрос
6	Разработка вероятностных математических моделей	2	4			4	опрос
7	Закономерности процессов восстановления работоспособности	2				4	опрос
8	Анализ процессов технического обслуживания и ремонта на основе теории массового обслуживания. Имитационное моделирование производственных процессов ТО и ремонта автомобилей	2	8			4	опрос
9	Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ. Разработка регрессионных моделей	4	8			4	опрос
10	Научное планирование эксперимента	2	6			4	опрос
11	Решение задач материально-технического обеспечения. Методы исследования транспортных операций.	2	4			4	опрос
12	Государственная инновационная политика и инновационная деятельность в Республике Беларусь. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь.	4				4	опрос
13	Этапы и модель инновационного процесса. Управление инновационной деятельностью предприятия	2				4	опрос
14	Оценка инновационной деятельности предприятия	2				4	опрос
	Всего часов по дисциплине	34	34			50	

3.2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	9-й семестр						
1	Организация научно-исследовательской работы в Республике Беларусь	2				4	опрос
2	Выбор направления научного исследования и этапы научно-исследовательской работы					4	опрос
3	Основные положения математического моделирования. Экспериментальные исследования.					8	опрос
4	Показатели надежности	2				8	опрос
5	Расчет показателей надежности автомобиля		4			8	опрос
6	Разработка вероятностных математических моделей					8	опрос
7	Закономерности процессов восстановления работоспособности					8	опрос
8	Анализ процессов технического обслуживания и ремонта на основе теории массового обслуживания. Имитационное моделирование производственных процессов ТО и ремонта автомобилей					8	опрос
9	Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ. Разработка регрессионных моделей	2	4			8	опрос
10	Научное планирование эксперимента					8	опрос
11	Решение задач материально-технического обеспечения. Методы исследования транспортных операций.					8	опрос
12	Государственная инновационная политика и инновационная деятельность в Республике Беларусь. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь.	2				8	опрос
13	Этапы и модель инновационного процесса. Управление инновационной деятельностью предприятия					8	опрос
14	Оценка инновационной деятельности предприятия					6	
	Всего часов по дисциплине	8	8	0	0	102	

4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.)

Основная

1. Савич, Е. Л. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] : учебное издание : в 3 ч. / Е. Л. Савич, А. С. Сай ; под ред. Е. Л. Савича. - Мн. : Новое знание, 2015. - (Высшее образование).

Ч. 1 : Теоретические основы технической эксплуатации. - 2015. - 426 с. : ил. - Библиогр.: с. 425-426.

Дополнительная

2. Учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» для специальностей: 1-37 01 06 Тех-

ническая эксплуатация автомобилей; 1-37 01 07 Автосервис / Брестский государственный технический университет, Кафедра машиностроения и эксплуатации автомобилей ; сост.: С. В. Монтик. – Брест : БрГТУ, 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bstu.by/handle/data/18067> – Дата доступа: 10.01.2025.

3. Коваленко, Н. А. Научные исследования и решение инженерных задач в сфере автомобильного транспорта: учеб. пособие / Н. А. Коваленко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФА-М, 2011 – 271 с.: ил.

4. Научные исследования и решение инженерных задач: Учебн. пособие/ С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003.

5. 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.

6. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. С. Малкин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

7. Закон Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425-3 (ред. от 06.01.2022 № 152-3) «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь»

8. Закон Республики Беларусь от 5 мая 1998 г. № 159-3 (ред. от 04.01.2021 № 74-3) «О Национальной академии наук Беларуси»

9. Закон Республики Беларусь от 21 октября 1996 г. № 708-XIII (ред. от 17.07.2023 № 300-3) «О научной деятельности»

10. Закон Республики Беларусь от 19 января 1993 г. № 2105-XII (ред. от 17.07.2023 № 300-3) «Об основах государственной научно-технической политики»

11. Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 (ред. от 25.10.2022 № 381) «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы»

12. Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы»

13. Указ Президента Республики Беларусь от 27 мая 2019 г. № 197 (ред. от 07.05.2020 № 156) «О научной, научно-технической и инновационной деятельности»

4.2. Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения, оборудования для выполнения практических работ

Методические указания

1. Конспект лекций по дисциплине "Основы научных исследований и инновационной деятельности" для студентов специальностей 1-37 01 06 "Техническая эксплуатация автомобилей", 1-37 01 07 "Автосервис" / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра "Техническая эксплуатация автомобилей" ; сост. С. В. Монтик. – Брест : БрГТУ, 2011. – 66 с.

2. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине "Основы

научных исследований и инновационной деятельности" для студентов специальностей 1-37 01 06 "Техническая эксплуатация автомобилей", 1-37 01 07 "Автосервис" : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра "Техническая эксплуатация автомобилей" ; сост.: С. В. Монтик. – Брест : БрГТУ, 2012–2013. – Часть 1. – 2012. – 27 с.

3. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине "Основы научных исследований и инновационной деятельности" для студентов специальностей 1-37 01 06 "Техническая эксплуатация автомобилей", 1-37 01 07 "Автосервис" : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра "Техническая эксплуатация автомобилей" ; сост. С. В. Монтик. – Брест : БрГТУ, 2012–2013. – Часть 2. – 2013. – 37 с.

4. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине "Основы научных исследований и инновационной деятельности" по теме "Расчет показателей надежности автомобилей. Оптимизация средств обслуживания автомобилей" для студентов специальностей 1-37 01 06 "Техническая эксплуатация автомобилей", 1-37 01 07 "Автосервис" / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра "Техническая эксплуатация автомобилей" ; сост. С. В. Монтик, П. С. Концевич, С. О. Березуцкая. – Брест : БрГТУ, 2015. – 36 с.

5. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине "Основы научных исследований и инновационной деятельности" для студентов специальностей 1-37 01 06 "Техническая эксплуатация автомобилей", 1-37 01 07 "Автосервис" по теме "Корреляционный и регрессионный анализ. Планирование эксперимента" / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра "Техническая эксплуатация автомобилей" ; сост. С. В. Монтик, П. С. Концевич, С. О. Березуцкая. – Брест : БрГТУ, 2016. – 26 с.

Электронные средства обучения и контроля

1. Набор электронных презентаций к лекциям по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности».

2. Пакет прикладных программ для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» на базе табличного процессора MS Excel.

3. Программное обеспечение GPSS World Student Version

4.3. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

Средства диагностики результатов учебной деятельности включают:

1. Текущая аттестация

2. Письменные отчеты по аудиторным лабораторным занятиям с их устной защитой.

3. Письменный экзамен в виде тестирования или электронных тестов.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в виде:

- контрольный опрос в письменной форме в виде тестирования или электронных тестов;

- письменные отчеты по аудиторным лабораторным занятиям с их устной защитой.

При расчете итоговой отметки по текущей аттестации учитывается объем качественно выполненных к моменту аттестации лабораторных работ (в соответствии с учебно-методической картой учебной дисциплины).

В семестре предусмотрена одна текущая аттестация.

Обучающиеся допускаются к промежуточной аттестации по учебной дисциплине при условии успешного прохождения текущей аттестации.

Результаты текущей аттестации учитываются при проведении промежуточной аттестации по учебной дисциплине.

Промежуточная аттестация по учебной дисциплине проводится в форме письменного экзамена в виде тестирования или электронных тестов.

4.4. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся учебной дисциплине

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы в соответствии с п. 3 Положения о самостоятельной работе студентов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», утвержденного ректором БрГТУ №56 от 01.06.2020:

- самостоятельное изучение тем лекционного курса по литературным источникам и методическим указаниям, имеющимся в библиотеке БрГТУ и указанным в разделе 4 настоящей программы;
- самостоятельная подготовка к выполнению лабораторных работ по методическим указаниям, разработанным на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей и указанным в разделе 4 настоящей программы;
- самостоятельная работа под контролем преподавателя во время лабораторных занятий по расписанию по индивидуальным заданиям;
- самостоятельная подготовка к экзамену.

Самостоятельное изучение тем лекционного курса выполняется по следующим литературным источникам:

Номер темы	Название раздела, темы	Номер литературного источника
1	Организация научно-исследовательской работы в Республике Беларусь	[2, 8-10]
2	Выбор направления научного исследования и этапы научно-исследовательской работы	[2, 11, 12]
3	Основные положения математического моделирования. Экспериментальные исследования.	[1-6]
4	Показатели надежности	[1-6]
5	Расчет показателей надежности автомобиля	[1-6]
6	Разработка вероятностных математических моделей	[1-6]
7	Закономерности процессов восстановления работоспособности	[1-6]
8	Анализ процессов технического обслуживания и ремонта на основе теории массового обслуживания. Имитационное моделирование производственных процессов ТО и ремонта автомобилей	[1-6]
9	Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ. Разработка регрессионных моделей	[1-6]

Номер темы	Название раздела, темы	Номер литератур- ного источника
10	Научное планирование эксперимента	[1-6]
11	Решение задач материально-технического обеспечения. Методы исследования транспортных операций.	[1-6]
12	Государственная инновационная политика и инновационная деятельность в Республике Беларусь. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь.	[10-12]
13	Этапы и модель инновационного процесса. Управление инновационной деятельностью предприятия	[2]
14	Оценка инновационной деятельности предприятия	[2]

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Обслуживание и ремонт автомобилей	МЭА	нет	Рекомендовать к утверждению (протокол № от . 2025.) Зав. кафедрой МЭА С.В. Монтик _____
2. Техническая эксплуатация автомобилей	МЭА	нет	

Содержание учебной программы
согласовано с выпускающей кафедрой
Заведующий выпускающей кафедрой,
кандидат технических наук, доцент

С.В. Монтик