

К. Ю. МУСАЕВ

ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



К.Ю. МУСАЕВ

**ОСНОВЫ НАУЧНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Учебное пособие

Бухара - 2004.

В данной книге рассматриваются методические основы научно-исследовательской работы в области прикладных наук. Представлены классификация научных исследований их основные элементы, последовательность этапов, рассматриваются основные методы научного исследования. Приводятся конкретные примеры научного исследования, применения в нём теории подобия и моделирования, изучаются статистический подход и методы в исследованиях.

В книге даются основы методики и техники измерений, приводятся примеры преобразователей и датчиков для измерения незлектрических величин. Рассматриваются методы планирования эксперимента с использованием принципа рандомизации и метода анализа результатов эксперимента.

В заключении рассматриваются некоторые вопросы оформления результатов научно-исследовательской работы и внедрения их в производство.

Книга предназначена для студентов, магистрантов машиностроительных и автодорожных ВУЗов, а также для аспирантов и начинающих научных работников указанных ВУЗов и соответствующих научно-исследовательских институтов.

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество в целом и каждый человек в отдельности находятся в настоящее время под все возрастающим влиянием достижений науки и техники. Наука и техника в наши дни развивается такими стремительными темпами, что вчерашняя фантастика сегодня становится реальностью.

Невозможно себе представить современное промышленное предприятие, сельскохозяйственный комплекс или транспортную организацию, в которых не использовались бы результаты, добытые в самых разнообразных науках, воплощенные в новых машинах и механизмах, новейшей технологии, автоматизации производственных процессов, научных методах управления.

Телевизор, радиоприемник, холодильник, стиральная машина и десятки других изделий бытовой техники, не говоря уже об автомобилях, самолётах, компьютерах, кино. Всё это основано на научно-технических достижениях современности, без которых становится невозможен повседневный быт человека первой четверти XXI века.

Современный инженер независимо от той области техники, в которой он работает, не может буквально шагу ступить без использования результатов науки. Например, в современном автомобильно-транспортном предприятии не только подвижной состав (автомобили, автобусы, прицепы) должен отвечать научным требованиям к его эксплуатационным свойствам, но и весь производственный процесс его технического обслуживания и ремонта должен строиться на научных основах. Это значит, что в АТП внедряется научная организация труда, новейшие диагностические процедуры, автоматизация и механизация технологического процесса в гараже, автоматизированная система управления производством, перевозками.

Будущему инженеру следует помнить, что и в своей практической деятельности ему придётся, в той или иной форме, проводить исследования и испытания, творчески используя достижения науки. Поэтому надо уже со студенческой скамьи готовить себя к этой стороне своей будущей инженерной деятельности. Уметь проводить теоретическое и экспериментальное научные исследования

тем более магистру, аспиранту и начинающему научному работнику. Между тем, опыт показывает, что эта категория сотрудников ВУЗов и НИИ недостаточно хорошо осведомлены об основах научного исследования.

Учитывая сказанное, курс лекций "Научно-исследовательская работа. Методические основы" имеет следующие задачи:

- ознакомить студента, магистра, аспиранта с сущностью науки, её организацией и значением в современном обществе в условиях научно-технической революции;
- вооружить будущего специалиста и научного работника знанием структуры и основных методов научного исследования, в том числе, методов теории подобия, моделирования, теории измерения и др.;
- научить планированию и анализу результатов экспериментального исследования;
- показать как следует оформлять результаты научного исследования.

ГЛАВА I. НАУКА.

1. Понятие о науке

Наука - сложное социальное т.е. общественное явление, особая сфера приложения целенаправленной человеческой деятельности, основной и единственной задачей которой является получение, производство новых знаний и создание новых методов и средств для решения этой задачи. Наука сложна и многогранна и дать ей однозначное определение невозможно.

Часто науку определяют как сумму знаний. Это, безусловно, неверно! Понятие "сумма знаний" ассоциируется (связывается) с неупорядоченностью, с беспорядком. Если каждый элемент накопленного знания представить кирпичиком, то беспорядочная куча таких кирпичей есть, несомненно, сумма знаний! Наука же и каждая её отрасль - это стройное, упорядоченное, строго систематизированное и красивое, это тоже важно, сооружение. Поэтому наука - это система знаний.

В ряде работ науку рассматривают как умственную деятельность людей с целью расширения человечеством своих знаний об окружающем мире и обществе. Это правильное определение, но очень неполное и характеризующее только одну сторону науки, но не науку в целом. Науку, кроме того, считают и правильно считают, сложной информационной системой для сбора, анализа и переработки информации о новых истинах. Это слишком узкое определение! Нет необходимости перечислять все определения, которые встречаются в литературе о науке. Однако важно отметить, что существуют две основные функции науки: познавательная и практическая, которые свойственны науке в любом её проявлении.

В соответствии с этими функциями, наука является основой ранее накопленных знаний, т.е. информационной системой, которая служит основой для дальнейшего познания объективной действительности и для практики. Развитие науки - это специфическая деятельность людей, направленная на добычу, освоение, систематизацию и применение научных знаний, которые используются для дальнейшего познания и

для воплощения в практику. Развитие науки организационно оформляется в ряде специфических учреждений: научно-исследовательских институтов, лабораторий, научно-исследовательских групп при кафедре ВУЗов, конструкторских бюро и проектных организаций.

Как видно, наука как социальная система, обладающая относительной самостоятельностью, складывается из трех неразрывно связанных элементов: накопленных знаний, деятельности людей и соответствующих учреждений, поэтому окончательная формулировка понятия науки следующая:

Наука - это целостная социальная система, объединяющая в себе постоянно развивающуюся систему научных знаний об объективных законах природы, общества и человеческого сознания, научную деятельность людей по созданию и развитию этой системы знаний и практически-революционного преобразования объективной действительности и учреждения, обеспечивающих научную деятельность.

Такая система характеристики науки хорошо иллюстрируется схемой, представленной в табл. 1.

Система научных знаний запечатлена в научных понятиях, гипотезах, законах, эмпирических (основанных на опыте) научных фактах, теориях и идеях, дающих возможность предвидеть события и зафиксировать в книгах журналах и других видах публикаций. Этот систематизированный опыт и научные знания предшествующих поколений обладает рядом специфических признаков, главные из которых следующие:

- всеобщность, т.е. принадлежность результатов научной деятельности, совокупности научных знаний не только всему обществу страны, в которой это деятельность протекала, но и всему человечеству.

Система научных знаний принадлежит всем и каждый может извлекать из неё то, что ему необходимо. Система научных знаний - всеобщее достояние.

- проверенность научных фактов, т.к. система знаний только тогда может претендовать на наименование научной, когда каждый факт, накопленное знание и следствие из известных законов или теорий можно проверить для уточнения истины;

- воспроизводимость явлений - тесно связана с

проверенностью. Если любой исследователь любыми методами может повторить открытое другим ученым явление, следовательно, существует определенный закон природы и открытое явление входит в систему научных знаний;

- устойчивость системы знаний в той или другой отрасли является признаком её жизнестойкости. Быстрое устаревание системы знаний указывает на недостаточную глубину проработки накопленного материала или неточность принятой гипотезы.

Система научных знаний классифицируется:

1. По отраслям знаний: естественные науки (о природе)
технические науки
общественные науки.
2. По научным дисциплинам: математика
физика
химия
биология
сопротивление материалов
теория автомобиля
и т.д.
3. По результатам научной деятельности: публикации (книги, статьи и авторские свидетельства, патенты, конструкторские разработки и т.д.)

Таблица 1.

НАУКА

Составные части

1. СИСТЕМА НАКОПЛЕННЫХ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

СОСТОЯНИЕ НАУКИ (статика)
 из дальней перспект...
 Теоретическая разработка
 обоснование и систематизированное
 научное знание о природе,
 обществе, технике и законах их
 развития.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

РАЗВИТИЕ НАУКИ (динамика)

Научный труд людей с целью,
 - получения, освоения, систематизация
 и переработки новых научных знаний,
 - дальнейшего углубления научных
 знаний и
 - достижение достижений науки в
 технике и общественной жизни людей.

3. НАУЧНЫЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Учреждения, лаборатория и подразделение предприятий и организаций, в которых осуществляется научная деятельность в одной из форм (см. п.2) или во всех формах.

Существенные признаки

- систематизированные опыт и научные знания предшествующих поколений, обобщение
- всеобщность,
- преемственность научных фактов,
- воспроизводимость установленных знаний,
- устойчивость системы знаний.

- новизна и оригинальность,
- уникальность и неповторимость,
- вероятностный характер и риск,
- доказательность.

- научные сотрудники,
- средства и предметы научного труда,
- информационный массив,
- соответствующие условия (финансирование, снабжение, управление)

Научная деятельность, научная работа или научный труд - это творческая деятельность, направленная на получение, освоение, переработку и систематизацию новых научных знаний, результаты которой характеризуются следующими основными признаками:

- новизна и оригинальность. Если результатом деятельности исследователя будет нечто уже объективно известное, то такая деятельность не является научной. К вопросу о новизне мы вернемся несколько позже (раздел 1);

- уникальность и неповторимость. Результаты научной деятельности ни при каких условиях не могут быть серийными и, тем более, массовыми. Каждый результат научного труда уникален, т.е. он единственный в своем роде и если он удачен, то в повторении не нуждается, кроме случая проверки своей правильности. Повторенная работа теряет свою новизну и оригинальность; отсюда требование к предварительной информационной осведомленности исследователя;

- вероятный характер и риск, которые неизбежны во всякой настоящей научной работе. Всегда трудно предугадать, успешно ли закончится задуманное исследование и будет ли получен предполагаемый результат. Поэтому в научной работе всегда имеется риск получения отрицательного результата. Творчество - это всегда поиск.

- Доказательность, т.е. убедительность результатом научной работы и их воспроизводимость.

Научная деятельность классифицируется:

1. По целевому назначению: развитие теории
разработка новой техники
совершенствование технологии
и т.д.
2. По видам научных работ: фундаментальные исследования
прикладные исследования
разработки.
3. По диапазону исследовательских работ: направления в науке
научная проблема
научная тема и подтема
научный вопрос.
4. По методу исследования: теоретическое
экспериментальное
смешанное.

Научные учреждения, независимо от их подчиненности, названия, ранга характеризуются наличием (как это видно из таблицы 1): научных сотрудников, т.е. людей, занимающихся научной деятельностью; средств научной деятельности (научное оборудование), предметов, т.е. объектов научного труда, иными словами, исследуемые объекты, например, автомобили; информационного массива (библиотечный, патентный фонды) и, наконец соответствующих условий для научной работы.

Научные учреждения классифицируются по тому признаку, к какой сфере человеческой деятельности в обществе они относятся:

- к не производственной сфере относятся академические институты, входящие в состав академии наук республики, научно-исследовательские институты общенаучного профиля и гуманитарные, а также ВУЗы не производственного профиля (медицинские, юридические и др).

- к производственной сфере относятся все отраслевые (министерские) институты - проектные и конструкторские институты и бюро, а также научно- производственные комплексы и объединения и технические ВУЗы.

2. Характерные черты современной науки

В экономических, социальных, политических и культурных процессах все возрастающую роль играет современная научно-техническая революция. Она оказывает все большее влияние на все стороны общественной жизни, как в Узбекистане, так и за рубежом.

Научно-техническая революция - исторический процесс, обусловленный развитием и прогрессом производительных сил и науки. Это сложная система, которая находится в динамическом состоянии и включает всебя науку, технику и производство. В этой системе наука является генератором идей, техника - осуществляет их материальное воплощение, а производство - это область функционирования техники. Именно производство даёт обществу необходимые материальные блага.

Развитие науки приводит к глубоким изменениям в технике и технологии, что естественно существенно влияет на материальное производство. Вместе с тем усиливается

влияние, и даже непосредственное воздействие производства на науку. Именно производство снабжает науку современным сложным экспериментальным оборудованием, без которого затрудняется её развитие. Производство, кроме того, стало огромной экспериментальной лабораторией для испытания и совершенствования достижений техники и технологии.

Поэтому первой и наиболее характерной чертой современной науки является то, что она становится непосредственной производительной силой. Это надо понимать так, что технический прогресс непосредственно опирается на развитие науки. Даже техническое проектирование, как было показано выше, стало отраслью научного труда; почти всегда при проектировании решаются новые научные проблемы. Конечно, не вся наука "работает" исключительно на технику. В общем объеме науки значительное место уделяется исследованиям, решающим "собственные" проблемы науки. И все же можно говорить об индустриализации науки, не только с точки зрения её оснащения, но и с точки зрения её связей с производством.

Вторая характерная черта современной науки - масштабность. На смену ученым - одиночкам, относительно свободным в выборе научной проблематики и сроках исследования, пришла масса людей, опирающаяся на мощную техническую базу, научная работа которых планируется и управляется.

Затраты на науку за последнее десятилетие выросли почти в 20 раз, а число научных работников увеличилось в 3 раза!

Резкое ускорение темпов научно - технического прогресса является третьей характерной чертой современной науки. Это приводит, во-первых, к развитию науки по все новым и новым направлениям, т.е. к её внутренней дифференциации (дроблению); исследователи становятся все более узко специализированными и, во-вторых, колоссально возрастает объем накапливаемых знаний, что требует новых масштабов и форм систематизации и передачи научной информации. Наряду с процессом дробления и специализации, в современной науке проявляется и противоположный процесс "стыковки" не только смежных, но и весьма далеких друг от друга наук, например, экономики и математики или эксплуатации автомобильного транспорта и математической

логики. Это четвертая характерная черта современной науки, которую можно назвать тесным взаимодействием наук. Особенно ярко это проявляется в глубоком проникновении математических методов в самые разные, не только точные, но и гуманитарные науки.

В последние годы в науке обнаруживается ещё одна (пятая) характерная черта: системный подход к изучению объектов исследования. Это означает, что исследователь выявляет не только строение и свойства исследуемого объекта, но старается понять способ связи его частей и так называемых подсистем, понять функции, выполняемые каждым элементом. При системном подходе исследуемый объект рассматривается как сложное целое, обладающее свойствами сохранять устойчивость и качественную определенность в различных условиях его существования. Выявление этой его способности и становится основным содержанием современного научного исследования при системном подходе.

Таким образом, характерными чертами науки на современном этапе её развития при расширяющейся научно-технической революции, являются следующие:

- превращение науки в непосредственную производительную силу,
- масштабность и массовость науки,
- ускорение темпов развития науки,
- взаимодействие и взаимопроникновение разных наук,
- системный подход к научному исследованию и его объекту

3. Роль науки в обществе.

Высшим предназначением науки является служение её благо человека, его всестороннему и гармоничному развитию.

Одно из важнейших условий развития личности - преобразование технической основы его трудовой деятельности, максимальное насыщение её творческим началом, так как только при этом труд превращается в жизненную необходимость. Ускорение научно-технического прогресса является одним из узловых проблем экономики. Однако оно невозможно в современных условиях без самого активного воздействия науки на развитие народного хозяйства

страны. Народное же хозяйство, т.е. целый комплекс видов деятельности и отношений людей, которое обеспечивает производство и распределение материальных и духовных отраслей хозяйства! В целом же народное хозяйство производит более десяти миллионов различных товаров и видов услуг. При такой сложности рыночных отношений невероятно усложнилась проблема планирования производства отдельных отраслей. Поэтому роль и ответственность планирования и управления неизменно растёт. Сейчас у нас в республике успешно развиваются экономико - математические методы исследования, одним из самых эффективных результатов которых является разработка оптимальных планов перспективного развития различных отраслей народного хозяйства.

Наука входит в повседневную жизнь людей и общества в целом не только как фундамент для создания новой техники как в быту, так и на производстве, но и математическими методами моделирования с применением самой совершенной электронно-вычислительной техники для планирования и управления всеми сторонами жизни общества. Моделирование, - оно будет более подробно рассмотрено позднее - позволяет оптимизировать размеры, структуру и основные параметры различных объектов и режимы их работы, начиная с какой-либо мины и кончая крупным производственным комплексом, промышленным или сельскохозяйственным.

Таким образом, роль науки в обществе заключается в том, что она должна питать его новыми научными и техническими идеями с тем, чтобы темпы научно-технического прогресса непрерывно ускорялись. А это накладывает серьёзную ответственность на ВУЗы, так как уровень образования и квалификации специалистов должен повышаться с тем, чтобы они были способны создавать и проводить в жизнь новейшие научно-технические идеи.

Роль науки в ВУЗе велика. С одной стороны повышается научная активность преподавательского состава, их научная "отдача", которая вносит весомый вклад в общую систему научных знаний, с другой стороны студенты, участвующие в кафедральных исследованиях, приобретают навыки исследовательской работы и, естественно, повышают уровень своей профессиональной подготовки.

логики. Это четвертая характерная черта современной науки, которую можно назвать тесным взаимодействием наук. Особенно ярко это проявляется в глубоком проникновении математических методов в самые разные, не только точные, но и гуманитарные науки.

В последние годы в науке обнаруживается ещё одна (пятая) характерная черта: системный подход к изучению объектов исследования. Это означает, что исследователь выявляет не только строение и свойства исследуемого объекта, но старается понять способ связи его частей и так называемых подсистем, понять функции, выполняемые каждым элементом. При системном подходе исследуемый объект рассматривается как сложное целое, обладающее свойствами сохранять устойчивость и качественную определенность в различных условиях его существования. Выявление этой его способности и становится основным содержанием современного научного исследования при системном подходе.

Таким образом, характерными чертами науки на современном этапе её развития при расширяющейся научно-технической революции, являются следующие:

- превращение науки в непосредственную производительную силу,
- масштабность и массовость науки,
- ускорение темпов развития науки,
- взаимодействие и взаимопроникновение разных наук,
- системный подход к научному исследованию и его объекту

3. Роль науки в обществе.

Высшим предназначением науки является служение её благу человека, его всестороннему и гармоничному развитию.

Одно из важнейших условий развития личности - преобразование технической основы его трудовой деятельности, максимальное насыщение её творческим началом, так как только при этом труд превращается в жизненную необходимость. Ускорение научно-технического прогресса является одним из узловых проблем экономики. Однако оно невозможно в современных условиях без самого активного воздействия науки на развитие народного хозяйства

страны. Народное же хозяйство, т.е. целый комплекс видов деятельности и отношений людей, которое обеспечивает производство и распределение материальных и духовных отраслей хозяйства! В целом же народное хозяйство производит более десяти миллионов различных товаров и видов услуг. При такой сложности рыночных отношений невероятно усложнилась проблема планирования производства отдельных отраслей. Поэтому роль и ответственность планирования и управления неизменно растёт. Сейчас у нас в республике успешно развиваются экономико - математические методы исследования, одним из самых эффективных результатов которых является разработка оптимальных планов перспективного развития различных отраслей народного хозяйства.

Наука входит в повседневную жизнь людей и общества в целом не только как фундамент для создания новой техники как в быту, так и на производстве, но и математическими методами моделирования с применением самой совершенной электронно-вычислительной техники для планирования и управления всеми сторонами жизни общества. Моделирование, - оно будет более подробно рассмотрено позднее - позволяет оптимизировать размеры, структуру и основные параметры различных объектов и режимы их работы, начиная с какой-либо мины и кончая крупным производственным комплексом, промышленным или сельскохозяйственным.

Таким образом, роль науки в обществе заключается в том, что она должна питать его новыми научными и техническими идеями с тем, чтобы темпы научно-технического прогресса непрерывно ускорялись. А это накладывает серьёзную ответственность на ВУЗы, так как уровень образования и квалификации специалистов должен повышаться с тем, чтобы они были способны создавать и проводить в жизнь новейшие научно-технические идеи.

Роль науки в ВУЗе велика. С одной стороны повышается научная активность преподавательского состава, их научная "отдача", которая вносит весомый вклад в общую систему научных знаний, с другой стороны студенты, участвующие в кафедральных исследованиях, приобретают навыки исследовательской работы и, естественно, повышают уровень своей профессиональной подготовки.

РАЗДЕЛ I. НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ.

1. Определение и классификация научных исследований.

Научное исследование (НИ) или научно - исследовательская работа (труд) как процесс любого труда, включая в себя три основных компонента (основных составляющих): целесообразную деятельность человека, т.е. собственно сам научный труд, предмет научного труда и средства научного труда.

Целесообразная (научная) деятельность человека, опирающаяся на совокупность конкретных методов познания, необходимая для достижения новых или уточненных знаний об объекте исследования (предмет труда), использует при этом соответствующее научное оборудование (измерительное, вычислительное и др.), т.е. средства труда.

Предмет научного труда - это, прежде всего тот объект исследования, на познание которого направлена деятельность исследователя. Объектом исследования может быть любая вещь материального мира (автомобиль, его агрегаты и узлы и пр.), Явление - например, явление так называемого бокового увода эластичного колеса, процесс сгорания рабочей смеси в цилиндре двигателя и т.п., связь между явлениями - например, между боковым уводом и заносом автомобиля, свойство - маневренность автомобиля, его динамика и т.п.

В предмет исследования, помимо объекта, входят так же предшествующие знания об объекте, например, теория, бокового увода колеса, разработанная к моменту начала исследования.

Научные исследования в зависимости от своего целевого назначения, степени связи с природой или промышленным производством, глубины и характера научной работы, разделяются на несколько основных типов:

Фундаментальные исследования (ФИ) - получение принципиально новых знаний и дальнейшее развитие системы уже накопленных знаний. Цель фундаментальных исследований - открытие новых законов природы, вскрытие связей между явлениями и создание новых теорий. Фундаментальные исследования связаны с определенным риском и неопределенностью с точки зрения получения конкретного положительного результата; вероятность

получения практически реализуемого результата не превышает 10%. Несмотря на это именно фундаментальные исследования являются основой развития, как самой науки, так и общественного производства.

Прикладные исследования (ПИ) - создание новых, либо совершенствование существующих средств производства (новая техника) предметов потребления и т.п. Прикладные исследования и, в частности, исследования в области технических наук (ТН) направлены на "овеществление" научных знаний, добытых в фундаментальных исследованиях. Прикладные исследования в области техники не имеют, как правило, непосредственного дела с природой; объектом исследования в них обычно являются машины, технология или организационная структура, т.е. "искусственная" природа.

Практическая ориентация (направленность) и отчетливое целевое назначение ПИ делает вероятность получения ожидаемых от них результатов весьма значительной, не менее 80-90%.

Разработки (Р) - использование результатов ПИ для создания и отработки опытных моделей техники (машин, устройств, материалов, продуктов), технологии производства и пр., а также усовершенствование существующих. На этапе разработки результата, продукт научных исследований принимает такую форму, которая позволяет использовать его в других отраслях общественного производства.

Как всякая классификация, указанная выше, достаточно условна и границы между всеми формами научной деятельности весьма подвижны; их всех объединяет принадлежность к сфере науки (рис. 1).

Между фундаментальными исследованиями и промышленным производством лежит область взаимосвязанных друг с другом стадий: ПИ-Р-Проект-Освоение. Проектирование и освоение принадлежат одновременно и к области науки и к области техники. Это - научная работа в широком смысле, так как охватывает творческую деятельность, которая основывается не только на известных уже навыках, стандартных приемах и практическом опыте, но и направлена на получение новых, оригинальных приемов и практическом опыте, но и направлена на получение новых, оригинальных решений в области техники, технологии или организации производства.

РАЗДЕЛ I. НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ.

1. Определение и классификация научных исследований.

Научное исследование (НИ) или научно - исследовательская работа (труд) как процесс любого труда, включая в себя три основных компонента (основных составляющих): целесообразную деятельность человека, т.е. собственно сам научный труд, предмет научного труда и средства научного труда.

Целесообразная (научная) деятельность человека, опирающаяся на совокупность конкретных методов познания, необходимая для достижения новых или уточненных знаний об объекте исследования (предмет труда), использует при этом соответствующее научное оборудование (измерительное, вычислительное и др.), т.е. средства труда.

Предмет научного труда - это, прежде всего тот объект исследования, на познание которого направлена деятельность исследователя. Объектом исследования может быть любая вещь материального мира (автомобиль, его агрегаты и узлы и пр.), Явление - например, явление так называемого бокового увода эластичного колеса, процесс сгорания рабочей смеси в цилиндре двигателя и т.п., связь между явлениями - например, между боковым уводом и заносом автомобиля, свойство - маневренность автомобиля, его динамика и т.п.

В предмет исследования, помимо объекта, входят так же предшествующие знания об объекте, например, теория, бокового увода колеса, разработанная к моменту начала исследования.

Научные исследования в зависимости от своего целевого назначения, степени связи с природой или промышленным производством, глубины и характера научной работы, разделяются на несколько основных типов:

Фундаментальные исследования (ФИ) - получение принципиально новых знаний и дальнейшее развитие системы уже накопленных знаний. Цель фундаментальных исследований - открытие новых законов природы, вскрытие связей между явлениями и создание новых теорий. Фундаментальные исследования связаны с определенным риском и неопределенностью с точки зрения получения конкретного положительного результата; вероятность

получения практически реализуемого результата не превышает 10%. Несмотря на это именно фундаментальные исследования являются основой развития, как самой науки, так и общественного производства.

Прикладные исследования (ПИ) - создание новых, либо совершенствование существующих средств производства (новая техника) предметов потребления и т.п. Прикладные исследования и, в частности, исследования в области технических наук (ТН) направлены на "овеществление" научных знаний, добытых в фундаментальных исследованиях. Прикладные исследования в области техники не имеют, как правило, непосредственного дела с природой; объектом исследования в них обычно являются машины, технологии или организационная структура, т.е. "искусственная" природа.

Практическая ориентация (направленность) и отчетливое целевое назначение ПИ делает вероятность получения ожидаемых от них результатов весьма значительной, не менее 80-90%.

Разработки (Р) - использование результатов ПИ для создания и отработки опытных моделей техники (машин, устройств, материалов, продуктов), технологии производства и пр., а также усовершенствование существующих. На этапе разработки результата, продукт научных исследований принимает такую форму, которая позволяет использовать его в других отраслях общественного производства.

Как всякая классификация, указанная выше, достаточно условна и границы между всеми формами научной деятельности весьма подвижны; их всех объединяет принадлежность к сфере науки (рис.1).

Между фундаментальными исследованиями и промышленным производством лежит область взаимосвязанных друг с другом стадий: ПИ-Р-Проект-Освоение. Проектирование и освоение принадлежат одновременно и к области науки и к области техники. Это - научная работа в широком смысле, так как охватывает творческую деятельность, которая основывается не только на известных уже навыках, стандартных приемах и практическом опыте, но и направлена на получение новых, оригинальных приемов и практическом опыте, но и направлена на получение новых, оригинальных решений в области техники, технологии или организации производства.



Рис. 1. Схема основных типов научных исследований.

2. Структура научного исследования.

Научное исследование есть процесс познания объективной действительности, т.е. окружающего нас мира и закономерностей и связей между явлениями этого мира. Познание - это очень сложный процесс движения человеческого сознания, человеческой мысли, от незнания к знанию, от неполных или неточных знаний к более полным и точным знаниям, который осуществляется с помощью научных исследований. Каждый новый результат научного исследования - это тот самый кирпич, уложенный в тщательно отведенное ему место в стройной системе знаний, о котором было сказано во введении.

Научное исследование, осуществляемое в области прикладных наук и особенно техники, является сложным и трудоемким процессом. Этот процесс состоит из ряда этапов, которые и составляют структуру научного исследования.

Структуру научного исследования можно представить в виде схемы (рис.2). В ней семь основных этапов:



Рис. 2. Структура научного исследования.

1. Постановка проблемы. Этот этап заключается не только в поиске проблемы, которую необходимо исследовать, но и в точной и четкой формулировке задачи научного исследования. Это чрезвычайно важно - правильно сформулировать задачу исследования, так как от этого в значительной мере зависит его успешный исход.

В постановку проблемы включается весьма важная работа по сбору и обработке исходной информации. Эта информация заключается в данных о технических и теоретических методах и средствах решения аналогичных задач (если такие имеются), о результатах других исследований в смежных областях. Однако сбор информации проводится не только в начале, но и в процессе всего исследования.

2. Выдвижение и обоснование первоначальной гипотезы. В подавляющем большинстве случаев выработка рабочей гипотезы, т.е. обоснованного предложения, осуществляется на основе четко сформулированной задачи исследования и критического анализа собранной исходной информации. Возможно, что рабочая гипотеза будет иметь несколько вариантов. Следует принять наиболее целесообразный, с точки зрения исследователя, вариант, не оставляя без внимания остальные варианты. Для уточнения рабочей гипотезы иногда приходится проводить предварительные эксперименты, которые позволили бы более глубоко изучить исследуемый объект.

3. Теоретическое исследование. В прикладных технических исследованиях, о которых только и идет речь в настоящем курсе, теоретическое исследование заключается в анализе и синтезе закономерностей, полученных в фундаментальных науках, применительно к исследуемому объекту, а также в добывании новых неизвестных ещё закономерностей, используя аппарат математики, теоретической механики и др. дисциплин.

Цель теоретического исследования - как можно более широко обобщить наблюдаемые явления, связи между ними и получить, возможно, больше следствий из принятой рабочей гипотезы. Собственно говоря, теоретическое исследование аналитически развивает принятую гипотезу и должно привести к разработке теории исследуемой проблемы, т.е. к научно обобщенной системе знаний в пределах той проблемы. Эта теория должна обладать способностью объяснять и даже предсказывать факты и влияния, относящиеся к исследуемой проблеме. Но решающим является критерий практики.

4. Экспериментальное исследование. Эксперимент или научно поставленный опыт, технически наиболее сложный и трудоемкий этап научного исследования. Цель эксперимента

различная в зависимости от характера научного исследования и последовательности его проведения. При "нормальном" развитии исследования, эксперимент проводится после теоретического исследования. В этом случае эксперимент подтверждает, а иногда и опровергает результаты теоретических исследований. Однако часто порядок исследования бывает иным: эксперимент предшествует теоретическому исследованию. Это характерно для поисковых экспериментов, для случаев, не таких уж редких, отсутствия достаточной теоретической базы исследования. При таком порядке проведения исследования, теория объясняет и обобщает результаты эксперимента.

5. Анализ и сопоставление результатов. Следствием такого сопоставления результатов экспериментального и теоретического исследования является окончательное подтверждение выдвинутой гипотезы и формулирование, вытекающих из неё следствий или необходимость видоизменения гипотезы. В редких случаях возможен и отрицательный результат, когда гипотезу следует отвергнуть.

6. Заключительные выводы. На этом этапе подводятся итоги исследования, т.е. формулируются полученные результаты и их соответствие поставленной задаче; для чисто теоретических исследований этот этап является заключительным. Для большинства работ в области техники возникает еще один этап.

7. Освоение результатов. Это этап подготовки к промышленной реализации полученных результатов, разработка технологических или конструкторских принципов реализации, которая зачастую не укладывается в рамки чисто инженерной "доводки" и требует неперенного участия авторов исследования.

Конечно, рассмотренная структура научного исследования является несколько схематичной и, в серьезных и крупных исследованиях отдельные этапы могут повторяться, последовательность этапов, представленная на рис. 2, может меняться, но перечисленные этапы остаются в любом виде исследования.

Рассмотрим ниже подробнее первые три этапа: постановку проблему, включая и сбор исходной информации, выдвижение гипотезы и основные методы теоретического исследования.

3. Постановка проблемы.

Любое научное исследование, в любой отрасли техники, невозможно без постановки научной проблемы, как начального этапа этого исследования. Что понимать под научной проблемой? Проблема - это теоретический и практический вопрос, требующий разрешения, задача, подлежащая исследованию. Следовательно, проблема - это нечто такое, чего мы не знаем, это то, что возникло в ходе развития науки или исходя из потребностей общества. Проблема - это, образно говоря, наше знание о том, что мы чего-то не знаем! Действительно, мы, например, не знаем (и знаем о том, что мы не знаем), как будут работать автомобильные двигатели на газовом конденсате, топливе, или работу роторных двигателей.

Проблемы не рождаются на пустом месте, они всегда вырастают из предшествующих результатов, полученных ранее. Уметь правильно разрешить проблему, правильно определить цель и предмет научного исследования, вывести проблему из предшествующего знания, не так-то просто. Недаром иногда говорят, что правильно поставить проблему - это значит уже наполовину её решить! Вместе с тем, как правило, существующего знания достаточно, чтобы поставить проблему, но недостаточно, чтобы решить её до конца. Для разрешения проблемы необходимо новые знания, которые дает научное исследование.

Таким образом, любая проблема содержит два неразрывно связанных элемента: а) объективно знание (не только мое, но любого специалиста) о том, что мы все чего-то не знаем и б) предположение о возможности получения новых закономерностей, либо принципиально нового способа практического применения ранее полученного знания. При этом предполагается, что это новое знание практически необходимо обществу.

Следует различать три этапа в постановке проблемы: поиск, собственно постановка и развертывание проблемы.

Поиск проблемы. Некоторые научные и технические проблемы лежат, так сказать, на поверхности, их не надо искать, на них с определенного момента возникает "социальный заказ", когда надо определить пути и найти новые средства для разрешения возникшего противоречия. Такой

проблемой является, например, проблема создания "чистого" двигателя, не загрязняющего воздушную среду.

Но есть проблемы далеко не такие отчетливые и очевидные, которые возникают в глубине и извлечь их на поверхность дано далеко не каждому исследователю. Такова проблема транспортного средства на воздушной подушке. Эта проблема возникла в связи с необходимостью повысить проходимость автомобиля и отойти от ограниченных возможностей такого древнего движителя, как колесо. Это примеры крупных научно-технических проблем, которые имеют в своем составе множество более мелких подпроблем, могущими стать темой научного исследования, подсказать которые начинающему исследователю может только искусственный в науке человек.

Наконец, очень часто проблема возникает "от обратного", когда в процессе практической деятельности получаются результаты обратные, противоположные или резко отличающиеся от тех, какие ожидалось. Так возникла проблема надежности машины в технике. Отказы, неполадки, возникающие при работе, правильно рассчитанных и сконструированных машин, привели, в конце концов, ученых к необходимости изучать законы работы не только "идеальных" механизмов, но и таких, техническое состояние которых отличается от нормального. Эта необходимость и вылилась в постановку проблем надежности в технике.

Очень важно при поиске и отборе проблем для их решения, соотнести возможные (предполагаемые) результаты задуманного исследования с потребностями практики по таким трем принципам:

А. Возможно ли дальнейшее развитие техники в намеченном направлении без разрешения данной проблемы?

Б. Что конкретно дает результат намеченного исследования технике?

В. Могут ли знания, новые закономерности, новые способы и средства, которые предполагается получить в результате исследований по данной проблеме, обладать большей практической ценностью в сравнении с теми, которые уже имеются в науке или технике?

Можно сказать, что противоречивый и трудный процесс обнаружения неизвестного в ходе научного познания, в ходе практической деятельности человека и является

объективной основой поиска и постановки новых научных и технических проблем.

Как тут не вспомнить восточную поговорку: "Не всякий знает, как много надо знать, чтобы узнать, как мало мы знаем!".

Постановка проблемы. Мы уже отмечали, что правильно поставить проблему, т.е. четко сформулировать цель и не менее четко определить границы исследования и, в соответствии с этим установить объекты исследования, дело далеко не простое и, главное, весьма индивидуальное для каждого конкретного случая.

Однако можно указать на четыре основных "правила" постановки проблемы, обладающие определенной общностью:

- Строгое ограничение известного от неизвестного. Иначе говоря, чтобы поставить проблему, необходимо хорошее знание новейших достижений науки и техники в данной области, чтобы не ошибиться в оценке новизны обнаруженного противоречия и не поставить проблему, которая уже ранее была разрешена.

- Локализация (ограничение) неизвестного. Иными словами, следует весьма четко ограничить область неизвестного реально возможными пределами и выделить вполне четко предмет конкретного исследования, так как область неизвестного фактически бесконечна и охватить одним или даже серией исследований всего невозможно.

- Определение возможных условий для разрешения. Это означает, что следует уточнить тип проблемы (научно-теоретический или практический; специальная или комплексная; универсальная или частичная); определить общую методику исследования, что в значительной мере зависит от типа проблемы и задать масштабы точности измерений и оценок.

- Наличие неопределенности или вариантивности. Это "правило" предусматривает возможность замены в ходе развертывания и решения проблемы ранее выбранных методов, способов, приемов новыми более совершенными или более подходящими для решения данной проблемы или неудовлетворительных формулировок новыми, а также замены ранее выбранных частных отношений, определенных как необходимые для исследования, новыми, более отвечающими задачами исследования.

Насколько строго должна ограничиваться и

локализоваться область неизвестного при постановке проблемы (первые два "правила"), настолько же много должно быть заложено в проблеме неопределенности, потому что разрешение любой проблемы - есть вторжение в область, полную неожиданностей, для которых может не оказаться в наличии известных уже способов исследования и оценок.

Развертывание проблемы. Решение научной или научно-технической проблемы нельзя рассматривать как некий однократный акт типа: "сел, подумал, решил!" Решение проблемы зачастую совпадает с её развертыванием, т.е. с возникновением и формулированием дополнительных вопросов, которые группируются вокруг так называемого центрального вопроса, являющегося узловым пунктом любой проблемы.

Решение дополнительных вопросов дает в руки исследователя данные и факты, необходимые для поиска ответа на центральный вопрос проблемы. Дополнительные вопросы, можно, в известной мере, отождествить с понятием: "аспект проблемы", т.е. с новыми объектами или рассматривание старого, изученного отношения объекта в новых условиях.

Центральный вопрос научной проблемы - своеобразный узел, к которому привязаны различные аспекты проблемы, которые могут в некоторых случаях рассматриваться как отдельные темы исследований, отдельные подпроблемы, а иногда и как самостоятельные проблемы.

Рассмотрим для уяснения совокупности изложенных вопросов, в качестве примера, постановку и развертывание проблемы диагностирования двигателя автомобильного типа. Эта проблема появилась не вдруг, а выросла постепенно из более крупной научно-технической проблемы эксплуатационной надежности автомобиля. Одним из аспектов этой фундаментальной проблемы, была под проблема технического обслуживания автомобиля, одной из частей которой был вопрос о контроле технического состояния автомобиля в целом и наиболее сложного его агрегата двигателя. Почему вопрос о контроле перерос в целую проблему диагностирования? Ответ на это вопрос представляет затруднений: постепенно возникло противоречие между потребностью быстрого, точного и, главное, не требующего разборки машины или её частей,

определения технического состояния и объема необходимого восстановительного вмешательства (регулировки, замены деталей, очистки и т.п.) и наличием методов и средств контроля. Последние требовали высокой квалификации обслуживающего персонала, были в значительной степени субъективны и требовали для точного выяснения причины неисправности полной или частичной разборки узла или агрегата.

В условиях быстрорастущего автомобильного парка это дорого, малопроизводительно и вызывало постоянную нехватку квалифицированного персонала.

Но разработка методов и средств без разборной диагностики по косвенным симптомам, немедленно породило множество вопросов, так как обнаружилось наше незнание не только этих симптомов, но и характерных особенностей работы двигателя и его узлов при ухудшенном техническом состоянии. Возник целый ряд аспектов проблемы диагностирования не только технического, но и организационного и экономического характера. Двигатель как канал связи при виброакустических методах диагностирования, минимизация операций и приборного оснащения диагностирования, место диагностики в техническом обслуживании автомобиля и его двигателя и множество других! Перечисление заняло бы очень много времени.

На приведенном примере видно как одна проблема перерастала в другую и как эти проблемы обрастали новыми вопросами, как множились аспекты основной проблемы, в чем, в значительной мере и заключается развертывание ее.

И, конечно, чтобы исследователю не "изобретать велосипед" и точно знать, что уже сделано и на каком уровне, ему следует засесть за изучение литературных и других источников информации.

4. Изучение материалов.

Проведение любого научного исследования начинается с изучения и анализа опыта предшественников и материалов исследований в смежных областях. Зачастую, из-за плохой осведомленности молодого исследователя, он вновь "изобретает велосипед", делает поспешные, мало

обоснованные выводы, неправильные заключения и повторяет в своей работе уже давно сделанное.

Учитывая колоссальный рост печатных работ (по некоторым данным, ежедневно в мире издается в различной форме в среднем около 100 печатных листов текста в расчете на одного специалиста, работающего в узкой отрасли науки и техники) изучение материалов представляет сложную задачу.

Первый этап: это необходимо изучать. Поиск источника информации. Изучение необходимо начинать с монографий, посвященных тому направлению, в котором предполагается проводить исследования; этим достигаются две цели: во-первых, ознакомление с современной точкой зрения на исследуемую проблему, подходом к ней и методикой исследований и, во-вторых, знакомство с основной литературой, так как, как правило, монографии имеют достаточно полный библиографический указатель.

Дальнейшая последовательность подбора литературных источников должна быть примерно следующей:

- ознакомление с литературой, указанной в библиографии; это могут быть книги, брошюры, статьи в журналах, диссертации и пр.,

- просмотр реферативных журналов по соответствующему разделу науки и техники и информационных изданий (экспресс-информация, информлистки, сборники Научно-исследовательского института информации автомобильной промышленности (НИИНАвтоПром) и др. отраслей техники);

- изучение журналов "Автомобильная промышленность" и "Автомобильный транспорт" и др.

- изучение трудов институтов, конференций, тезисов докладов конференций, авторефератов, диссертаций.

Источники информации следует искать повсюду - в библиотеках, республиканских и зональных информационных центрах, НИИ, ВУЗах и т.д. Научная деятельность - это не менее чем на 30-35% информационный поиск, не прекращающийся ни на один день!

Вся найденная информация должна быть занесена на карточки и скомпонована в картотеку. Пример заполнения карточки см.рис.3. Только картотека облегчит поиск нужного материала, и только картотека позволит быстро составить

варварское растрачивание времени, которого всегда не хватает.

Этап изучения информации состоит из двух подэтапов: ознакомление и чтение. Ознакомление ведется по следующей схеме:

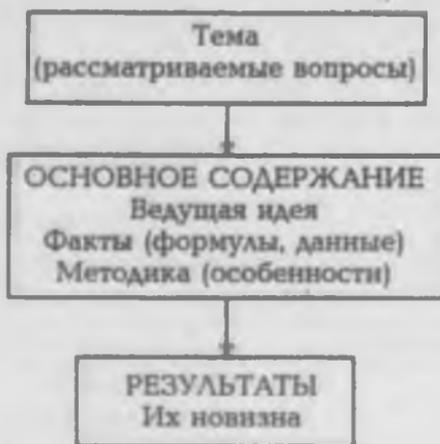
Объект внимания	Получаемая информация
Переплет	Заглавие книги и фамилия автора
Титульный лист	Подзаголовок Год издания; 1-ое или 2-ое издание Допущен ли в качестве учебника Оригинальная книга или перевод
Выходные данные (обычно в конце)	Дата сдачи в набор
Аннотация	Основное содержание Категория читателя
Оглавление	Содержание главы параграфов Объем отдельных подразделений

В современных аннотациях обязательно предисловие автора или "от издательства". Это материалы дают читателю наиболее полную информацию, четкую и краткую, о характеристике книги и помогают понять и лучше оценить её.

Но даже если полученная информация покажется не соответствующей теме исследования и не дающей ничего нового, следует просмотреть (пробежать глазами) тот параграф книги, который хотя бы отдаленно затрагивал интересующую тему. Триста лет тому назад великим чешским педагогом Яном Кагонским были написаны совершенно правильные слова: "Не найдется, ... ни одной настольной плохой книги, в которой нельзя было бы обнаружить хоть что-нибудь хорошее; если не что-нибудь другое, то, во всяком случае, хотя бы повод для исправления какой-нибудь ошибки".

Если в результате беглого ознакомления с книгой или другим информационным материалом окажется необходимым более детальное знакомство с ним, то и тогда не рекомендуется читать все подряд. Установлено, что научно-технический текст имеет так называемую избыточность не менее 70%! Следует читать текст книги или статьи так, чтобы

мысль концентрировалась только на содержательной части текста, "схватывала" и критически анализировала его по следующей схеме:



По такой же схеме следует конспектировать необходимый материал предшествующих исследований, который затем критически анализируется примерно в таком плане:

- фиксируется достигнутый уровень знаний в исследуемом направлении,
- выясняются оригинальные идеи, интересные методы в этой области,
- выясняются недостатки предыдущих исследований,
- намечаются возможные пути дальнейших исследований.

Критический анализ выполненных исследований должен быть обоснованным и доказательным особенно в части замеченных недостатков (неполноты исследования, устарелости методики и др). Критика должна быть непредвзятой: с одной стороны, нельзя считать, что все сделанное ранее - плохо, с другой - неразумно безоговорочно принимать все, предложенное авторитетным предшественником.

В тех случаях, когда мнения и выводы авторов изученной литературы по оценке важности (весомости) отдельных фактов расходятся, рекомендуется прибегать к математическому анализу степени согласованности этих

мнений методом ранговой корреляции. Рассмотрим конкретный пример. Предполагается, что исследуется диагностическое оборудование для автомобилей по пяти его признакам: точность измерения, быстродействие, стоимость, простота управления и универсальность. Исследователем изучено шесть источников и мнения (оценки) о важности перечисленных факторов были им ранжированы, т.е. расположены в порядке натурального ряда чисел, так называемых рангов (отводимое место). Число 1 присвоено максимальной оценке, число 2 - следующей по важности и т.д. До числа 5 - наименее важной оценке признака по мнению данного источника или признаку вовсе им не учитываемому. Если тот или иной источник вовсе не учёл несколько признаков, то им присваивается одинаковый ранг, равный среднему арифметическому соответствующих чисел натурального ряда.

Результаты ранжирования и её обработки располагают в таблицу (см табл.3). Минус в скобках (-) указывает, что соответствующий источник информации не учитывал соответствующих признаков: №3 - универсальности, №4 - точности измерений. Источник № 1 одинаково оценил стоимость оборудования и его универсальность, поставив их после первых трех: точности, быстродействия и простоты; поэтому стоимости и универсальности присвоен средние арифметический ранг - $(4 + 5):2 = 4,5$. Аналогично с оценками источника №5: среднеарифметический ранг $(3 + 4 + 5):3 = 4$ присвоен трем последним признакам.

Показатель равных рангов для случаев определяется по формуле

$$T_j = t^3 - t,$$

где t - количество равных рангов; источник № 1 имеет их два, источник № 5 - три.

Таблица 3.

Ранговый анализ

Источник информации	Оцениваемые признаки					Показатель равных рангов
	Точность измерения	Быстродействие	Стоимость оборудования	Простота управления	Универсальность	
1 ()	1	2	4,5 (-)	3	4,5 (-)	6
2 ()	2	1	4	3	5	0
3 ()	1	3	4	2	5 (-)	0
4 ()	5(-)	1)	2	3	4	0
5 ()	2	1	4 (-)	4 (-)	4 (-)	24
6 ()	1	2	4	3	5	0
Сумма рангов по признакам	12	10	22,5	18	27,5	30
Отклонения (d) суммы рангов от среднеарифметической	-6	-8	4,5	0	9,5	Среднеарифметическая 18
Квадраты отклонений (d ²)	36	64	20,25	0	90,25	210,5

Отклонения (d) сумм рангов находятся от среднеарифметической суммы, равной $(12 + 10 + 22,5 + 18 + 27,5) : 5 = 90 : 5 = 18$.

Степень согласованности мнений о важности признаков определения величиной показателя степени согласованности (коэффициент конкордации) (конкордация (лат) - быть согласованным, согласованность)

$$W = \frac{12 \sum d^2}{N^2 (n^2 - n) - \sum T_j^2}$$

где N - число источников информации,

n - количество рассматриваемых признаков.

Коэффициент конкордации W может принимать значения в пределах от нуля до единицы; при полной согласованности оценок - $W=1$. Для рассматриваемого примера $W = 0,77$, что много больше 0,5 и поэтому можно считать, что оценки достаточно полно согласуются между собой.

Чем меньше сумма рангов признака, тем более важен этот признак; поэтому самым важным признаком диагностического оборудования, согласно оценок источников информации, является его быстродействие (сумма рангов 10), наименее важным - универсальность (сумма рангов 27,5).

Следующим этапом научного исследования после изучения и анализа литературных и других источников является разработка рабочей гипотезы.

5. Разработка гипотезы.

Анализ исходной информации позволяет выдвинуть рабочую гипотезу. Дело в том, что существующего в науке и технике знания в избранном направлении, как правило, вполне достаточно, чтобы поставить новую проблему или указать на не решенный вопрос, но недостаточно, чтобы их решить. Для разрешения новой научной проблемы необходимы новые научные знания, новые факты, то есть объективные явления или процессы, которые совершаются в действительности и обладают достоверностью в этом именно смысле говорят о фактах, как об упрямой вещи, их необходимо признавать независимо от нашего к ним отношения.

Собирание фактов - одна из важнейших составных частей научного исследования. Факты собираются в соответствии с поставленной научной проблемой, но сами по себе факты не составляют научного исследования. На первых этапах исследования факты нужны для выдвижения определенного предположения, т.е. рабочей гипотезы.

Рабочая гипотеза - это высказанное исследователем обобщенное предположение о вероятной причине возникновения наблюдаемых фактов, либо о вероятном, предположительном, развитии процесса или явления.

Для научной гипотезы характерно то, что в ней формулируются положения с новым содержанием, выходящим за пределы имеющегося знания, выдвигаются

новые идеи, носящие вероятный характер, на основе которых происходит поиск новых научных результатов. Именно в этом суть и ценность гипотезы как формы развития науки. На вопрос о том, как выдвигаются те или иные гипотезы в различных областях науки и техники, один крупный ученый ответил так: "Они возникают у людей, которые много думают".

Первоначально новая мысль появляется в форме догадки выдвигаемой в значительной мере интуитивно. (Интуиция (лат) - пристально, внимательно смотреть, в данном случае - без логических умозаключений). Большое значение в процессе догадывания имеет научная фантазия. Без фантазии, без воображения в науке и технике не выскажешь ни одной новой идеи. Что бы сделать догадку достоянием науки, необходимо превратить ее в научную гипотезу, а фантазию заключить в строгие рамки, установленные наукой. Следовательно, не всякое произвольное предположение о причине определенного явления есть гипотеза! Гипотезой является лишь такое предположение, которое во-первых, не противоречит всем научно установленным предположениям и законам в данной области науки, например, в механике, и, во-вторых, вероятность истинности высказанного предположения может и должна быть обоснована. Если высказанное предложение находится в противоречии с твердо установленными научными положениями, то его нельзя возратить в ранг научной гипотезы. Примером может служить "гипотеза" о возможности создания вечного двигателя, противоречащая безусловно верному закону сохранения энергии!

Рабочая гипотеза определяет причины, основные условия, движущие силы, обуславливающие развитие исследуемого явления, это минимум того, что требуется от рабочей гипотезы.

Рабочая гипотеза дает полное или почти полное вероятное объяснение всего процесса развития исследуемого явления, это максимум того, что может дать рабочая гипотеза. Но этот максимум можно получить лишь в процессе теоретического или экспериментального обоснования выдвинутой гипотезы, т.е. в процессе научного исследования. Последнее, собственно и выполняется для того, чтобы подтвердить или опровергнуть выдвинутую гипотезу, либо ее уточнить. Обоснованная, подтвержденная и развитая рабочая гипотеза перерастает в научную теорию.

Важно отметить, что четко и достаточно полно разработанная рабочая гипотеза, существенно облегчает дальнейшую работу, так как позволяет заложить в методике теоретических и главным образом, экспериментальных исследований вполне конкретные параметры, характеризующие изучаемое явление или объект подлежащее измерению. Кроме того, правильно осуществленная предварительная аналитическая разработка гипотезы, то есть ее математическое выражение, поможет наметить более полно и правильно основные черты и детали последующего эксперимента. Всегда желательно, чтобы теория предшествовала эксперименту.

6. Основные методы исследования.

Научное исследование не может осуществляться хаотически, беспорядочно, оно должно иметь определенную систему и подчиняться заранее разработанному плану. Если исследователь будет действовать наугад, то вряд ли можно ожидать от такого исследования ценных результатов, а если исследователь в конце концов и добьется чего-нибудь, то только ценой значительных и, иногда бесполезных затрат труда и времени. В руках исследователя должен быть компас, указывающий ему правильный путь, - таким компасом является метод исследования.

Метод - это путь исследования, способ, с применением которого достигаются определенные результаты. Это совокупность способов, приемов исследования. **Методика исследования** определяет какими способами, как будет проводиться данное научное исследование.

Каждая наука пользуется целым комплексом присущих ей конкретных или специальных методов исследования, которые обладают различной степенью универсальности. Некоторые из конкретно - научных методов могут применяться в различных науках, например, математические методы, другие - только в пределах данной науки, например, тензометрический метод в технических науках. Конкретно-научные методы направлены на познание сущности конкретного объекта с целью определения тех его свойств и особенностей, которые необходимы для решения определенной практической или научной проблемы. Однако, исследователь, помимо конкретно - научных методов, должен

владеть всеобщим методом познания, который помогал бы ему в изучении не только данного конкретного явления (объекта), но позволил бы вскрыть связи и взаимозависимости этого явления со всем окружающим объективным миром.

Таким всеобщим (философским) методом является **метод материалистической диалектики**, который вооружает исследователя знанием очень важных принципов познания в любой области материальной действительности.

В данном курсе лекции нет необходимости входить в подробности, сущности и особенностей диалектико - материалистического метода, но следует отметить, что он не подменяет конкретно - научные методы, а находится с ними в неразрывной связи и оказывает свое методологическое влияние на весь ход и результаты научного познания в целом и научного исследования, в частности.

Рассмотрим кратко основные конкретно - научные методы, обладающие наибольшей степенью универсальности и применяемые при научном исследовании в технических науках.

Анализ - метод научного познания, заключающийся в том, что объект исследования мысленно расчленяется на его составные части или выделяются присущие ему признаки и свойства для изучения их в отдельности.

Анализ дает возможность исследователю проникнуть в сущность отдельных элементов объекта, выявить в них главное, существенное и найти связи и взаимодействия между ними. Например, исследуя надежность автомобиля, расчленяют это свойство на три более простых, безотказность, долговечность и изучают каждое из них в отдельности.

Синтез - метод научного исследования, объекта группы объектов как единого целого во взаимосвязи всех его составных частей или присущих ему признаков. Метод синтеза характерен для исследования сложных систем после анализа всех его составных частей. Таким образом, анализ и синтез взаимосвязаны и дополняют друг друга.

Индуктивный метод исследования, заключающийся в том, что от наблюдения частных, единичных случаев приходят к общим выводам, от отдельных фактов - к обобщению. Индуктивный метод исследования самый распространенный в естественных и прикладных науках и суть его в переносе свойства причинных связей известных фактов и объектов на

неизвестные, ещё не исследованные. Например, многочисленные наблюдения и опыты показали, что железо, медь, олово расширяются при нагреве, отсюда делается общий вывод, что все металлы при нагревании расширяются.

Дедуктивный метод в противоположность индуктивному, основан на выводе частных положений из общих оснований (из общих правил, законов, суждений). Наиболее широко дедуктивный метод используется в точных науках, например, в математике, теоретической механике, в которых частные зависимости выводятся из общих законов или аксиом.

Абстрагирование научное. Метод абстракции применяется в научном исследовании при необходимости отвлечения от частных, иногда несущественных, сторон рассматриваемого явления для того, чтобы сосредоточить внимание на общих, существенных его сторонах, свойствах. Выделяя существенное, общее, научная абстракция углубляет познание объективной реальности.

Положение различных сил, действующих на автомобиль при его движении к центру (центр тяжести), есть пример типичной абстракции, так как при этом отвлекаются от размеров автомобиля, его формы, материала из которого он изготовлен.

В процессе теоретического научного исследования, исследователь оперируя мысленно выделенными отдельно свойствами, особенностями, связями и взаимодействиями, получает, в результате, научные понятия, закономерности (законы) и другие общие теоретические положения, которые и представляют собою научные абстракции. Они являются фундаментом каждой науки, в которых обычно конструируется вся система знаний в данной отрасли науки. Можно сказать, что научная абстракция помогает вскрыть определенную систему и закономерную связь в кажущемся хаотическом нагромождении явлений. Наиболее высокий уровень абстрагирования характерен для математики, которая в силу этого обладает и наибольшей всеобщностью.

Формализация, как метод научного исследования, заключается в том, что исследуемое явление, объект (его свойства, признаки), процесс выражаются (описываются) в математических терминах и формулах, с применением специальной символики, с которыми затем выполняют

действия по определенным правилам. Формализация является сущностью математического абстрагирования и позволяет использовать математический аппарат в отдаленных от математики науках, например, в медицине, науке о языках биологии и др. В прикладных технических науках, формализация и вообще математические методы применительно к теоретическому исследованию, применяются очень широко.

"Математизация" науки и, в частности, научного исследования, объясняется не только тем, что математика позволяет проводить расчеты (это исследователи использовали уже давно), а главным образом тем, что она позволяет конкретно формулировать исследуемые задачи, точно и четко определять условия их решения. Математика дисциплинирует мышление исследователя и придает логическую полноту его суждениям.

Процесс проникновения математики и ее методов в другие науки существенно ускорился в связи с распространением вычислительной техники и созданием на ее основе различных электронно-кибернетических устройств. Так, например, созданы логические диагностические машины для определения неисправностей автомобилей, а это стало возможным только после формализации процедур технической диагностики.

Особенно широко проникла в современную науку математическая статистика, без использования ее методов трудно представить в настоящее время проведение каких бы то ни было наблюдений или экспериментов. Умение статистически мыслить, необходимо сейчас не только исследователю, но даже рядовому инженеру на любом участке работ в автотранспортном или ремонтном предприятии.

Аналогия или подобие. как известно, есть сходство по какому-то признаку объектов в целом различных. Метод аналогий, заключается в том, что их сходства некоторых признаков или свойств изучаемых объектов делается вывод о сходстве и других их признаков или свойств, до того не уточненных. Простейший пример аналогии в технике - сходство колебательных процессов в электрическом контуре, состоящем из индуктивности, конденсатора, сопротивления и в механической системе, состоящей из массы, упругости и трения. Метод аналогий используют в процессе

моделирования.

Моделирование - это процесс научного исследования некоторых свойств и признаков объекта непосредственно на нем самом, а на других, более доступных изучению объектах (моделях), подобных или аналогичных данному.

Учитывая исключительную важность этого метода для прикладных технических наук в следующем разделе он будет рассмотрен подробно, вместе с методом аналогий.

Эксперимент - как метод научного исследования, то есть научно поставленный опыт, является наиболее надежным методом познания, особенно в прикладных науках. Человек с незапамятных времен наблюдал явления окружающей его природы, но лишь четыреста лет прошло с того времени, когда он начал экспериментировать. Должен был накопиться известный опыт наблюдения и определенный минимум знаний, чтобы воспроизводить объективные явления в специально созданных условиях, при которых эти явления лучше подаются познанию. Хотя эксперимент всегда сопровождается наблюдениями, но это не одно и то же.

Экспериментальное исследование заключается не только в пассивном наблюдении изучаемого явления, но и в активном вмешательстве в его протекании с тем, чтобы выделить отдельные его стороны и связи, искусственно их воспроизводить в условиях, которые можно менять по желанию исследователя. В результате исследуемое явление или объект проявляются в наиболее чистом, отчетливом виде. Так, например, горение рабочей смеси бензина и воздуха исследуют, отвлекаясь от реального двигателя в специальной бомбе, в которой можно изменять в широких пределах такие параметры, как давление, температура, состав среды и др.

Эксперимент важен не только тем, что он помогает раскрывать все новые и новые закономерности в реальной действительности, но и тем, что только эксперимент позволяет подтвердить правильность теоретических положений, разработанных исследователем.

В заключение этого параграфа следует отметить, что перечисленные в нем методы научного исследования никогда не используются в отдельности, а почти всегда в комплексе. Методы индукции и дедукции, анализа и синтеза, методы абстракции и аналогии, моделирования и формализации не только диалектически связаны между собою и дополняют друг

друга в конкретных исследованиях, но являются принадлежностью не одного лишь теоретического исследования, как это обычно себе представляют.

В прикладных технических науках, как правило, исследование является комплексным, включающим в себя и экспериментальную и теоретическую части. Как будет видно из дальнейшего, планирование эксперимента, отбор изучаемых факторов и признаков, анализ экспериментальных данных и результатов являются элементами теоретического обобщения.

Конечно, в каждом исследовании должна быть теоретическая часть (об этом уже было сказано) в которой исследователь имеет дело не с материальными объектами, а с их абстракциями, с их математическими моделями. Как не трудно порой некоторым исследователям оперировать с математическими формулами, но следует помнить, что от математики, как говорится, "никуда не денешься", ибо только теория освещает путь в правильно поставленный эксперимент, в практику!

7. Пример научного исследования.

Рассмотрим в виде примера небольшое элементарное исследование, в котором, несмотря на его упрощенность, содержатся почти все элементы большого "настоящего" научного исследования, и использованы многие методы, которые рассматривались ранее. Конечно, этот методический пример не претендует на глубину и серьезность поставленной проблемы!

Предположим, что в связи с покрытием полов в стоянке гаража новым составом, необходимо исследовать статическое удельное давление автомобильного колеса на опорную плоскость. Это удельное давление не должно превышать так называемую несущую способность состава, так как в противном случае колесо будет его продавливать.

Суть проблемы ясна, цель и предмет исследования сформулированы достаточно четко. Объектом исследования является автомобильное колесо с эластичной шиной, опирающейся под нагрузкой в горизонтальную опорную поверхность (рис.4,а).

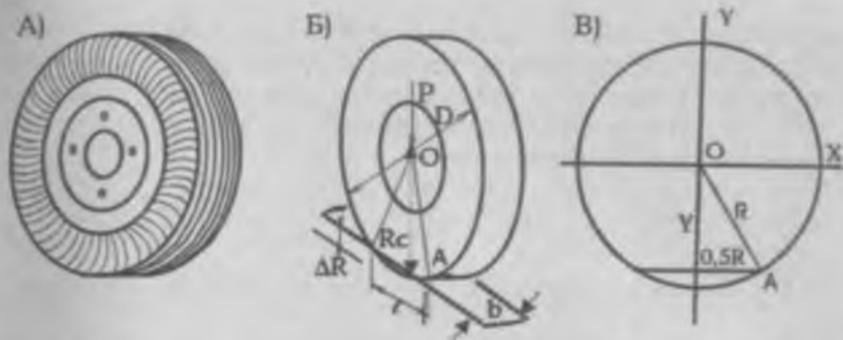


Рис. 4. Объект исследования и его последовательная идеализация: а) автомобильное колесо, б) упругий цилиндрический диск, в) окружность.

Ограничиться экспериментальной проверкой величины удельного давления нецелесообразно, так как, во-первых, неизвестно, какие автомобили будут находиться в гараже и, во-вторых, неизвестно от комплекса каких параметров зависит величина удельного давления. Поэтому предлагается провести теоретическое исследование с тем, чтобы установить закономерности влияния параметров колеса на исследуемый параметр - удельное давление.

Изучение состояния вопроса (исходная информация) показало, что в литературе отсутствует формулы для определения удельного давления p кг/см², вместе с тем физическая сущность понятия заключается в распределении некоторой нагрузки P кг равномерно по площади контакта F к см², математическое выражение для удельного давления, как известно, следующее

$$p = \frac{P}{F} \text{ кг/см}^2$$

Основываясь на этом выражении, выдвинется рабочая гипотеза о том, что величина удельного давления зависит от нагрузки на колесо и от его диаметра, так как площадь контакта F каким-то, пока неизвестным образом, зависит от размеров колеса и шины.

Развертывая выдвинутую гипотезу и используя метод анализа объекта, а также дополнительные наблюдения за автомобилями, утверждаем, что величина нагрузки так же

влияет на площадь F , так как упругая шина деформируется в радикальном направлении тем больше, чем больше величина нагрузки. Последнее утверждение наводит на мысль об аналогии с законом Гука, который известен из курсов физики и сопротивления материалов:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{P}{SE} \quad (1)$$

где L и ΔL - длина стержня и величина его абсолютного сжатия, см,

S - площадь поперечного сечения, см²,

E - модуль упругости материала стержня, кг/см²

Дальнейший анализ объекта возможен лишь при помощи метода абстрагирования, то есть последовательной идеализации его с выделением существенных признаков и принятия некоторых допущений. Для этого вообразим автомобильное колесо с эластичной шиной в виде эластичного (упругого) цилиндрического барабана диаметром D см. и высотой ℓ см. (Рис.4 б). Если приложить к оси этого барабана нагрузку P кг, то он деформируется на величину ΔR см, то есть вертикальный радиус OA , который в свободном без нагрузки состоянии равен $D:2$, уменьшится до размера

$$R_e = \frac{D}{2} - \Delta R \quad (2)$$

В результате этой деформации образуется площадка контакта на опорной плоскости прямоугольной формы, равная по площади $F = b \ell$ см². Но, учитывая, что протектор имеет рисунок, следует ввести коэффициент его полноты, который для дорожных шин равен 0,8. Поэтому фактическая площадь равна $F \approx 0,8 \ell b$ (3).

Как видно в процессе абстрагирования объект существенно упростился, принял простые геометрические формы, но конечно, потерял при этом целый ряд своих признаков, которые были признаны не важными для задач исследования. Основные упрощения - цилиндрическая форма колеса и однородность материала - требуют чтобы их допустимость была доказана в эксперименте.

Используя далее математические методы, можно (1) переписать в другом виде, имея ввиду, что есть следующие

соответствия

$$\Delta L \rightarrow \Delta R, L \rightarrow D/2 \text{ и } S \rightarrow F$$

Поэтому из выражения закона Гука получаем следующее соотношение

$$\frac{P}{\Delta R} = 2 \frac{FE}{D}. \quad (3)$$

Если правую часть обозначить $C_{ш}$, то будет получена известная формула для коэффициента жесткости шины

$$C_{ш} = \frac{P}{\Delta R}. \quad (4)$$

то есть вертикальное усилие, приходящее на единицу деформации. Строго говоря, выражение (4) можно было бы написать сразу, а не выводить из (1), но было желательно показать прямую связь (4) с законом Гука.

Для определения длины в площадке контакта доведем процесс абстрагирования до следующего уровня, до изображения вместо колеса - окружности и с центром в т.О - начало координат (рис. 4,в).

Как видно, ни свойства, ни структура, ни внешний вид, ни материал этой окружности (геометрическая модель объекта), не соответствуют и не зависят от свойств, структуры и др. особенностей объекта. Единственный общий признак, связывающий объект - автомобильное колесо и геометрический образ на рис. 4 в. - это то, что они оба имеют округлую форму. Но это как раз тот главнейший признак, который необходим в данном исследовании для математического анализа, изучаемого объекта. Этот признак обладает общностью, что так важно для теоретического исследования. Действительно, этот признак относится ко всем автомобильным колесам, независимо от их размеров, конструкции, материала, формы поперечного сечения шины и т.п. особенностей. Итак, в окружность вписана хорда (длина контакта) и надлежит определить величину l . Для этого осуществляется еще одна ступень абстрагирования: от геометрического образа перехода к математическим символам. Уравнение окружности $x^2 + y^2 = R^2$ является математической моделью исследуемого колеса. Так выполнена, как ее называют, операция предельного перехода от конкретного

автомобильного колеса переходят к совершенно абстрактной математической модели: уравнению окружности с центром в начале координат.

Так как $x = \frac{1}{2}$, $y = R_c$, а $R = \frac{D}{2}$, то очевидно, что

$$\frac{1}{2} = \sqrt{\frac{D^2}{4} - R_c^2} \quad \text{или} \quad 1 = \sqrt{D^2 - 4R_c^2} \quad (5).$$

В выражении (4) пока остается неизвестным R_c . Из формулы (2) определяем $\Delta R = D/2 - R_c$ и подставляем в (4) и, следовательно, будем иметь

$$C_{ш} = \frac{P}{\frac{D}{2} - R_c}$$

Теперь уже без труда находим величину R_c .

$$R_c = \frac{D}{2} - \frac{D}{C_{ш}}$$

Последовательными подстановками R_c в (5), а полученное выражение в (3) получим окончательное выражение для величины удельного давления

$$P = \frac{P}{1,6 \frac{b}{C_{ш}} \sqrt{P(C_{ш} D - P)}} \quad \text{кг/см}^2 \quad (6).$$

Формула (6) удельного давления автомобильного колеса, конечно, приближенная, так как в процессе теоретического анализа были приняты некоторые допущения, которые не могли не отразиться на окончательных выражениях. Для этого, чтобы убедиться в небольшой величине ошибки при расчетах по формуле (6), следует произвести по ней расчет, задавшись параметрами конкретной шины, а затем сравнить результаты расчета результатами эксперимента по определению удельного давления этих же конкретных шин. Для расчета принимаются две шины - легкового автомобиля 6,00 - 16 и грузового 260-20. Параметры этих шин и результаты расчета приведены в табл.4. Сравнение расчетных значений с данными эксперимента (табл.5) показывает, что расхождение составляет относительно незначительную величину в пределах 4,8 + 7,3%. Учитывая

допущения, сделанные в процессе исследования, можно считать, что полученная расчетная формула (6) достаточно точно отражает закономерность зависимости удельного давления от нагрузки и параметров шины.

Можно ли считать, что получив расчетную формулу (6) для удельного давления, задача теоретического исследования выполнена? Нет, нельзя, так как осталось неясным влияние изменения параметров шины и нагрузки на величину p . Действительно, из формулы (6) очевидно только то, что увеличение размеров шины, то есть величин её диаметра - D и ширины профиля - b , уменьшает удельное давление. Влияние же нагрузки - P и коэффициент жесткости - $C_{ш}$ совсем не очевидно, ведь P входит и в числитель и знаменатель формулы, так же обстоит дело и с коэффициентом жесткости. Можно лишь с большой степенью вероятности предположить, что значения P и $C_{ш}$, находящиеся под корнем, имеют существенно меньшее влияние на величину p , чем значение P и $C_{ш}$, находящиеся в числителе. Поэтому вероятно с их увеличением, удельное давление p так же будет расти.

Таблица 4.

Расчет удельного давления колеса.

Обозначение шины	Диаметр шины без нагрузки D , см.	Ширина профиля без нагрузки b см	Кэф-т жесткости $C_{ш}$ кг/см	Нагрузка на шину P кг	Удельное давление p кг/см ²
6,00-16	72,5	16,2	500	445	2,15
260-20	103,8	27,5	1240	1060	2,57

Таблица 5.

Сравнительный анализ фактических и расчетных данных.

Обозначение шины	Площадь контакта, F см ²			Удельное давление p кг/см ²		
	Факт.	Расчетн.	% расхожд.	Факт.	Расчетн.	% расхожд.
6,00-16	195	207	+ 6,2	2,3	2,15	- 6,5
260-20	385	413	+ 7,3	2,7	2,57	- 4,8

Для примера используем оба способа.

Дифференцирование в частных производных, принимая D и b за постоянные, дает следующие результаты (дифференцирование дроби):

$$\frac{dp}{dP} = \frac{C_{ш}DP}{3,2b(C_{ш}DP - P^2)^{3/2}} > 0 \quad \text{И} \quad \frac{dp}{dC_{ш}} = \frac{P^2(C_{ш}D - 2P)}{3,2b(C_{ш}DP - P^2)^{3/2}} > 0$$

Обе производные положительны, так как разности

$$C_{ш}D - P > 0 \quad \text{и} \quad C_{ш}D - 2P > 0$$

При всех практически возможных значениях P , $C_{ш}$ и D поэтому увеличение значений P и $C_{ш}$ действительно приводит к увеличению удельного давления p и, следовательно, высказанное предположение подтвердилось.

Графический метод даёт более наглядное представление об изменениях величины удельного давления p при изменениях нагрузки P , коэффициент жесткости $C_{ш}$ и диаметра шины D (рис.5).

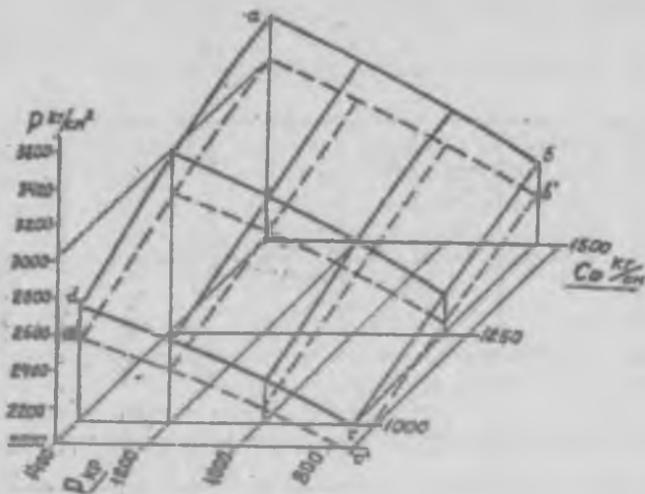


Рис. 5. Пространственный график зависимости удельного давления от жесткости шины и нагрузки.

На горизонтальной плоскости отложены прямоугольные координаты $S_{ш} - P$, а вертикальной оси (ось аппликат) - удельное давление p . Получилась поверхность $a-b-c-d$, аппликаты которой равны p при различной комбинации жесткостей $S_{ш}$ и нагрузок P . Эта несколько искривленная поверхность, практически может быть принята за плоскость, круто поднимающуюся в сторону больших значений $S_{ш}$ и P .

Как видно из показанного пространственного графика, чем меньше коэффициент жесткости и нагрузка, тем меньше и удельное давление колеса на опорную поверхность.

Увеличение диаметра колеса уменьшает удельное давление p . Значение p при $D = 120$ см. подсчитаны для разной нагрузки и коэффициента жесткости и показаны штриховыми линиями, образующими поверхность $a'-b'-c'-d'$, которая лежит ниже поверхности $a-b-c-d$.

Таким образом, в результате теоретического исследования получена математическая зависимость (расчетная формула) удельного давления колеса на опорную от нагрузки, коэффициента жесткости шины, её размеров. Определено и подсчитано влияние каждого из перечисленных факторов на искомую величину p .

РАЗДЕЛ II. МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУЧНОМ ИССЛЕДОВАНИИ.

1. Понятие о моделировании.

Одним из весьма эффективных методов научного исследования является метод моделирования. Учитывая, что в последние годы этот метод получил весьма широкое распространение и может с успехом применяться в исследованиях автомобильной и иной техники, в настоящем разделе он будет рассмотрен более подробно.

Модель, в буквальном переводе с французского языка, означает образец, но в научном исследовании под моделью понимается некоторая искусственно созданная исследователем система, которая в определенном отношении сходна с исследуемым объектом, то есть воспроизводит его характерные черты и явления происходящие в натуральных условиях. Метод моделирования - это исследование интересующего объекта или явления не в натуральных условиях, а на модели этого объекта или явления. Моделирование применяется обычно в тех случаях, когда исследование непосредственно на объекте почему-либо затруднительно, опасно или попросту неудобно.

Моделирование бывает двух видов: вещественное (физическое или механическое) и воображаемое (логическое или идеальное).

Если модель отличается от натурального объекта своими размерами (масштабами), но процессы происходящие в ней или с ней по своей природе не отличаются от процессов, происходящих в натуре, то это будет физическое моделирование, а для объектов техники (автомобилей, тракторов и т.п.) - механическое моделирование.

Если модель имеет совершенно другую физическую природу и в ней происходят явления, не имеющие физического сходства с объектом или явлением в натуре, но описываемые теми же уравнениями, что и явление в натуре, то это будет моделирование по аналогии; это тоже вещественное моделирование, но отличное от физического.

Если в качестве модели используется уравнение (дифференциальное или иное), описывающее процессы происходящие в натурном объекте, то это будет

математическое моделирование, которое относится к воображаемому, логическому моделированию.

Физическое или механическое моделирование позволяет в процессе эксперимента с моделями не только подтвердить результаты теоретического исследования, но и углубить знания о явлениях происходящих в изучаемом объекте, а также уточнить математическое описание этих явлений. Физическое моделирование особенно целесообразно в тех случаях, когда проводится исследование влияния изменения конструктивных параметров на те или иные результирующие процессы, так как изменение их на оригинале (натурном объекте) чрезвычайно трудоемко и дорого, а иногда и вовсе невозможно.

Моделирование по аналогии обычно гораздо проще и дешевле физического, так как оно осуществляется на электронных аналоговых вычислительных машинах (АВМ) непрерывного действия или с помощью электрических моделей. Однако далеко не всегда удается получить необходимое аналитическое выражение для процессов, исследуемых в данном натурном объекте, а без этого моделирования по аналогии практически невозможно.

Математическое моделирование (логическое или идеальное) осуществляется на вычислительных машинах позволяет получить результаты решения систем дифференциальных уравнений в форме так называемых табуляграмм или в форме графиков. При этом следует иметь ввиду, что любое аналитическое выражение описывает процесс или явление с более или менее грубыми допущениями.

В качестве примера физического или механического моделирования является исследование автором маневренных свойств автомобильного и тракторного поездов с помощью моделей прицепов (рис. 6). Металлическая модель с колёсами на резиновых сплошных шинах, выполненная в масштабе 1:20 перемещалась на листе бумаги и оставляла следы своих колес, то есть траектории движения. По характеру этих траекторий (радиусу кривизны, величине их сдвига к центру поворота и т.п.) можно судить о маневренных свойствах автомобильного или тракторного поезда.

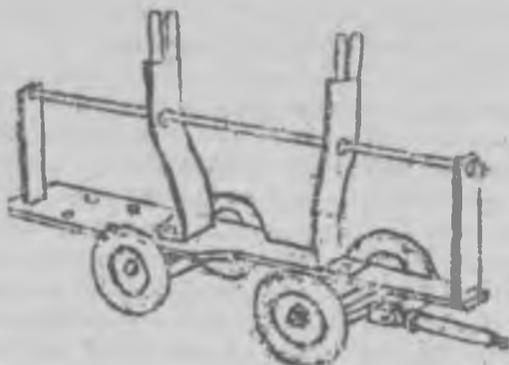


Рис. 6 Модель автомобильного прицепа (масштаб 1:20).

Примером моделирования по аналогии может служить изучение колебаний массы M на пружине с жесткостью C_n (резко упрощенная схема подвески автомобиля), с помощью электрического контура, включающего конденсатор (электрическая емкость - C_x) и катушку (индуктивность - L) которые представлены на рис. 7. Свободные колебания массы M . Как известно, описываются уравнением

$$M\ddot{x} + C_n x = 0,$$

где x - вертикальное перемещение массы M или величина деформации пружины.

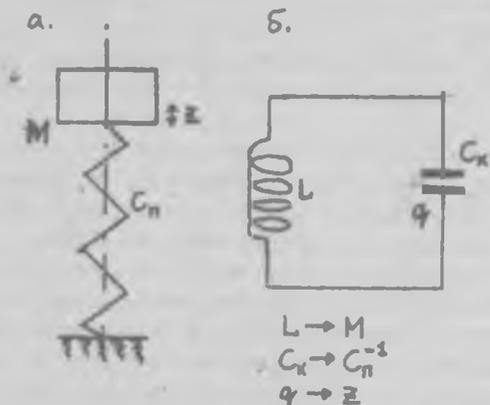


Рис. 7. Моделирование с помощью электромеханической аналогии.

Но таким же по форме уравнением описываются и электрические колебания в контуре

$$L\ddot{q} + \frac{1}{C_k}q = 0,$$

где q - количество электричества или заряд на одной из обкладок конденсатора.

Оба уравнения можно объединить по форме в одно $\ddot{x} + w^2 x = 0$ (7).

Частота w гармонических колебаний для механической системы будет равна:

$$w = \sqrt{\frac{C_n}{M}},$$

а для электрического контура $w = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C_k}}$

Следовательно, существует аналогия электрической и механической систем, в которых индуктивность L соответствует инертности (массе) - M и емкость - C_k соответствует обратной величине жесткости C_n .

Уравнение (7) является математической моделью исследуемого объекта (упрощенной схемы подвески) и может изучаться по всем правилам математического моделирования.

2. Условия механического подобия.

Из элементарной геометрии известно, что два треугольника подобны, если все соответствующие углы у них равны, а отношение длин соответствующих сторон так же одинаковы. Это отношение называется масштабом, то есть коэффициентом подобия. Имея треугольник определенного размера и умножая длины его сторон на известный масштаб, будет получен подобный треугольник, то есть треугольник другого размера, но точно такой же формы.

Механическое подобие является более высокой степенью геометрического подобия. Соблюдение геометрического подобия в механической модели обязательно, но кроме этого подобия необходимо ещё подобие физических параметров модели и натурального объекта. Например, должно соблюдаться подобие масс, сил, удельных давлений и т.д. Модели и природы. Однако подобие физических параметров

распространяется только на те из них, которые имеют существенное значение для изучаемого явления. Если, например, внутренние напряжения в материале натурального объекта не имеют влияния на исследуемый процесс, то модель может быть изготовлена из любого материала, так как в этом случае подобие характеристик материала необязательно.

Геометрическое и физическое подобия называются условиями однозначности модели и натурального объекта, то есть такими условиями, которые определяют особенности этого объекта и объединяют его с моделью в одном классе, в одной группе объектов и явлений. Это означает, что и модель и натуральный объект характеризуются одними и теми же параметрами, например упругостью, удельными давлениями, плотностью или температурой, отличающимися у модели и натуре лишь своим "масштабом".

Подобие двух объектов или явлений (натурного и модели) заключается в том, что их соответствующие определяющие характеристики - параметры - отличаются по величине друг от друга только масштабом, который называется либо коэффициентом подобия, либо множителем преобразования соответствующего параметра.

Таким образом, переход от характеристик натурального объекта к его модели и обратно состоит в пересчете (умножении) на соответствующие множители преобразования. Например, если натуральный объект характеризуется массой m_n , длиной l_n и скоростью v_n , то характеристики его динамически (механически) подобной модели будут следующие

$$m_m = \frac{m_n}{k_m} \quad , \quad l_m = \frac{l_n}{k_l} \quad \text{и} \quad v_m = \frac{v_n}{k_v} \quad ,$$

где k_m , k_l и k_v - коэффициенты подобия, соответственно массы линейных размеров и скорости.

Коэффициенты подобия для данной модели исследуемого объекта есть величины постоянные.

Известно, что международная система единиц (СИ) для механических систем имеет три основные единицы измерения так называемых первичных величин: длина, имеющая размерность L_m , масса с размерностью M кг и время - размерность T с. Эти независимые друг от друга единицы

измерения являются основными для образования остальных единиц измерения вторичных величин. Основные единицы измерения, выражается формулой размерности, которая находится из так называемого определенного уравнения.

Например, определительным уравнением для силы является второй закон Ньютона, то есть $P = mj$, где m - масса и j - ускорение.

Но ведь $j = d^2l:dt^2$ и, опустив знаки дифференцирования, которые не влияют на размерность, получим следующую формулу размерности для силы $P = MLT^{-2}$.

Совершенно таким же образом получают формулы размерности для:

$$\begin{aligned} \text{скорости } V &= LT^{-1} \\ \text{ускорения } j &= LT^{-2} \\ \text{работы } A &= ML^2T^{-2} \\ \text{мощности } N &= ML^2T^{-3} \end{aligned} \quad (8)$$

Если в качестве основных или исходных коэффициентов подобия принять три: k_m , k_l , k_t , то коэффициент подобия всех остальных величин, характеризующих объект и его модель, получаются при помощи формул размерностей этих величин, в которые вставлены исходные коэффициенты подобия. Например, коэффициент подобия для мощностей равен

$$k_N = k_m \frac{k_l^2}{k_t^3}$$

а коэффициент подобия для работ соответственно равен

$$k_A = k_m \frac{k_l^2}{k_t^2} \text{ и т.д.}$$

Из трех основных коэффициентов подобия (масштабов) произвольно выбирается лишь один - масштаб линейных размеров k_l , остальные же определяются (см. следующий параграф 3) через масштаб линейных размеров.

В условиях однозначности входит так же временное подобие, то есть соответствие сходственных моментов времени, очень важное при исследовании не установившихся процессов, например, при ускорении или замедлении движения. Соответствие времени называется гомохронностью (от греч. гомохронный - одновременный) и характеризуется коэффициентом подобия времени $k_t = t_n:t_m$. Коэффициент k_t определяет масштаб времени модели.

Таким образом, условие однозначности, как уже отмечалось ранее, позволяет как бы пересчитать полученные в эксперименте с моделями, количественные значения исследуемых факторов на натуру. Покажем это на небольшом примере.

Предположим, что при испытании модели автомобиля, выполненные в масштабе 1:10, то есть при $k_1 = 10$, при временном подобии с коэффициентом гомохронности $k_t = 3,16$ и коэффициенте подобия масс $k_m = 100$ получены значения скорости движения $v_m = 20$ м/с и ускорения $j_m = 2,5$ м/с². Следовательно, для натурального объекта значения скорости будет равно

$V_n = k_v v_m = \frac{k_1}{k_t} v_m = \frac{10}{3,16} 20 = 63,3$ м/с, а значение ускорения

$$j_n = k_j j_m = \frac{k_t}{k_1} j_m = \frac{10}{3,16} 2,5 = 2,5 \text{ м/с}^2.$$

Для осуществления физического моделирования соблюдения одних только условий "однозначности, то есть выбор произвольно коэффициентов подобия k_m, k_t, k_v , недостаточно. Необходимым является еще тождество уравнения, описывающих изучаемый объект или процесс. Предположим, что две динамические системы совершают движения согласные с уравнениями второго закона Ньютона

$$P_1 = m_1 \frac{dv_1}{dt_1} \text{ и } P_2 = m_2 \frac{dv_2}{dt_2} \quad (9).$$

Все величины, входящие в эти два уравнения, связаны между собой следующими соотношениями, вытекающими из факта существования подобия

$$P_1 = k_p P_2; \quad m_1 = k_m k_2; \quad v_1 = k_v v_2; \quad t_1 = k_t t_2,$$

где k_p, k_m, k_v, k_t - соответствующие коэффициенты подобия, а индекс 1 соответствует натурному объекту, а индекс 2 - модели.

Подставив полученные выражения в первое из уравнений (9), будем иметь

$$k_p P_2 = k_m m_2 \frac{k_v dv_2}{k_t dt_2}$$

Сгруппируем все коэффициенты подобия в левой части этого уравнения, то есть

$$\left[\frac{k_p k_t}{k_m k_v} \right] P_2 = m_2 \frac{dv_2}{dt_2} \quad (9.1)$$

Для тождественности уравнений (9) и (9.1) необходимо, чтобы величина, заключенная в квадратную скобу, равнялась единице. Иначе, очевидно, можно записать это условие так

$$\frac{P_{нt_n}}{m_n v_n} = \frac{P_{нt_n}}{m_n v_n} = \text{idem} \quad (10).$$

Безразмерный комплекс (10), который должен быть одинаковой величины для модели и натурального объекта, называется критерием подобия или инвариантом подобия. В частности (10) - это критерий подобия Ньютона и обозначается буквой N; он может быть записан и несколько иначе

$$\frac{P_{нt_n}^2}{M_{нv_n}} = \frac{P_{нt_n}^2}{m_n v_n} = \text{idem} \quad (10.1).$$

Критерий подобия N может быть получен непосредственно из уравнений (9) путем приведения их к безразмерному виду, то есть

$$\frac{P}{I m \frac{dv}{dt}} = 1$$

И заменой дифференциала $dv:dt$ отношением $v:t$.

В теории подобия доказывается, что не только критерии подобия имеют одинаковые численные значения для натурального объекта и модели, но и любые безразмерные комплексы, составленные из параметров, характерных для исследуемого явления.

Кроме того, критерии подобия могут быть получены из формул размерностей (8). Этот путь особенно удобен в тех случаях, когда у исследователя нет уравнения, связывающего параметры характеризующие изучаемый объект или явление. Так, например, из формулы размерности для силы (см. Выше) можно получить критерий подобия Ньютона:

$$P = MLT \quad \text{или} \quad \frac{P T^2}{ML} = 1 \quad \text{или} \quad \frac{P T^2}{ml} = \text{idem}, \quad \text{то есть - полное}$$

соответствие выражению (10.1).

Вообще, теория подобия и размерностей дает определенный простор исследователю для безразмерных

комплексив критерией подобия при моделировании. Можно привести наиболее распространенную группу таких безразмерных комплексов, которые могут использоваться самостоятельно или служить в качестве так называемых множителей преобразования для получения новых безразмерных комплексов. Многие из них являются простым следствием определенных уравнений.

$$\frac{v l}{l}; \quad \frac{v}{\phi l}; \quad \frac{v^2}{j l}; \quad \frac{v^2}{\phi l^2}; \quad \frac{P l^2}{m l}; \quad \frac{P l}{\rho l^3 v^2}, \quad (11)$$

где ϕ - угловая скорость вращения,
 ρ - плотность материала, кг/см³.

Используя безразмерные комплексы (11), путем умножения или деления на них критериев подобия, можно получить самые разнообразные соотношения, которые необходимы для расчетов.

Например, в процессе эксперимента на моделях потребовалось пересчитать замеренные промежутки времени на натурные условия. В качестве критерия подобия в этом эксперименте являлось число Фруда, которое равно

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gl}} = idem \quad (12)$$

Чтобы получить необходимое соотношение, введем добавочное условие из перечня (11), а именно

$$\frac{v l}{l} = idem \quad (12.1)$$

Поделив почленно выражение (12) на выражение (12.1), получим, что

$$\frac{v t \sqrt{gl}}{l v} = t \sqrt{\frac{g}{l}} = 1 \text{ или } t = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Учитывая, что величина ускорения силы тяжести g одинакова для модели и натурального объекта Б то есть коэффициент подобия $kg = 1$, получим, что $k = \sqrt{k l}$.

Таким же образом можно масштабы (коэффициенты подобия) любого параметра выразить через масштаб линейных

размеров объекта и модели.

3. Критерии подобия и масштабы моделирования.

Критерии подобия имеют различное значение при соблюдении подобия двух объектов или явлений. В каждом частном случае моделирования выделяют критерии подобия, имеющие определяющее значение. Их так и называют - определяющие критерии подобия. Рассмотрим некоторые из основных, определяющих критериев.

Наиболее общим критерием подобия является полученный выше в предыдущем параграфе, критерий подобия Ньютона - N . Этот критерий практически действителен во всех случаях моделирования и используя этот критерий, выводят более частные критерии для различных конкретных случаев эксперимента с моделями. Рассмотрим три основных случая моделирования, наиболее вероятные для автомобильной техники.

А. Объект движется ускорено в поле тяготения.

В этом случае используется критерий подобия Фруда F_r (12), который может быть получен с помощью критерия подобия Ньютона.

Масштабы моделирования в этом случае получаются следующим образом. Масштаб скоростей - непосредственно из критерия F_r :

$$\frac{v}{\sqrt{gl}} = 1, \text{ следовательно, } k_v = k_g k_l, \text{ но } k_g = \frac{g_m}{g_n} = 1 \text{ и } k_v = \sqrt{k_l}$$

Масштаб времени: $k_t = k_l : k_v = k_l : \sqrt{k_l} = \sqrt{k_l}$.

Масштаб сил - непосредственно из критерия N :

$$\frac{P_t}{\rho l^3} = 1, \text{ след., } k_p = \frac{k_m k_l}{k_l^3} \text{ но } k_m = k_l^3$$

При одинаковом материале модели и объекта, то есть считая $k_p = 1$, поэтому:

$$k_p = \left(\frac{k_l k_l}{k_l^3} \right) = k_l^3$$

Остальные коэффициенты подобия (масштабы) в этом случае

см. Таблицу 6.

**Б. Объект движется ускоренно, к нему приложены
Силы упругости.**

Если на объект исследования и его модель действуют помимо прочих сил, силы упругости, подчиняющиеся закону Гука, то принимая во внимание силы инерции и критерий подобия Н, для рассматриваемого случая имеем определяющий критерий подобия Коши, который равен

$$C = \frac{\rho V^2}{E}, \quad (13)$$

где E - модуль упругости, кг/см²
 ρ - плотность, кг./см³

Из выражения (13) для критерия подобия Коши непосредственно получается формула масштаба скоростей

$$k_v = \sqrt{\frac{k_E}{k_\rho}}$$

Масштаб времени k_t равен $k_t = k_l : k_v = k_l \sqrt{\frac{k_\rho}{k_l}}$

Масштаб сил k_p получается из следующего соотношения

$$\frac{P_n}{P_m} = \frac{E_n S_n \varepsilon_n}{E_m S_m \varepsilon_m},$$

где S_n S_m - поперечные сечения объекта и его модели, м²;
 ε_n и ε_m - относительные удлинения объекта и его модели.

Так как из геометрического подобия модели и натурального объекта следует, что $\varepsilon_n = \varepsilon_m$, а отношение $S_n : S_m = k_l^2$, то очевидно, $k_p = k_l$.

Остальные соотношения в таблице 6.

Если вместо удлинения имеет место явление сдвига, то учитываются модули сдвига и относительный сдвиг вместо модуля упругости и относительного удлинения.

**В. Объект движется с ускорением в вязкой
несжимаемой жидкости.**

В данном случае моделирования помимо общего критерия подобия Ньютона следует принимать как

определяющий критерий - критерий Re (Рейнольдса), который учитывает внутренне вязкое трение. Критерий подобия Рейнольдса имеет следующую форму:

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} = \text{idem},$$

где ν - кинематическая вязкость жидкости, см²/сек

Непосредственно из выражения для критерия Re получается масштаб скоростей, который, очевидно, равен

$$k_v = \frac{k_l}{k_i}$$

Масштаб времени k_t равен в этом случае $k_v = \frac{k_l}{k_v} = \frac{k_l^2}{k_v}$

Масштаб сил получается из выражения для критерия Ньютона

$$k_p = \frac{k_l k_i}{k_i} = \frac{k_l k_i^2 k_v^2}{k_i} = k_p k_i^2$$

Если моделируется явление в одинаковых жидкостях или газах, то $k_p k_v = 1$ и в подобных явлениях получаются соответственно равные силы, так как $k_p = 1$

Таблица 6.

Сводка масштабов (коэффициентов) механического подобия.

№	Наименование моделируемых параметров	Обозначение	Определительное уравнение	Основная единица	Формула для размерности	Единица измерения	Масштабы подобия при моделировании с учетом критерия Бюссэ		Критерий Рейнольдса
							Критерий Фруда	Критерий Коши	
1.	Длина	l		Основная единица	L	метр	k_l	k_l	k_l
2.	Масса	m		Основная единица	M	килограмм	$k_m = k_p k_l^3 = k_l^3$	$k_m = k_p k_l^3 = k_l^3$	$k_m = k_p k_l^3 = k_l^3$
3.	Время	t		Основная единица	T	секунда	$k_t = \frac{k_l}{\sqrt{k_p}} = \sqrt{k_l}$	$k_t = \frac{k_l}{\sqrt{k_p}} = k_l$	$k_t = \frac{k_l^2}{k_p} = k_l^2$
4.	Скорость	v	$v = \frac{dl}{dt}$		LT^{-1}	м/сек	$k_v = \sqrt{k_l k_p} = \sqrt{k_l}$	$k_v = \sqrt{\frac{k_p k_l}{k_p}} = 1$	$k_v = \frac{k_l}{k_p} = \frac{1}{k_l}$
5.	Ускорение	j	$j = \frac{dv}{dt}$		LT^{-2}	м/сек ²	$k_j = \frac{k_l}{k_p} = \frac{1}{k_p}$	$k_j = \frac{1}{k_p} \sqrt{\frac{k_p k_l}{k_p}} = \frac{1}{k_p}$	$k_j = \frac{k_l^2}{k_p^2} = \frac{1}{k_l^2}$
6.	Сила	P	$P = mj$		MLT^{-2}	Ньютон	$k_P = k_l^2 k_p = k_l^2$	$k_P = k_l^2 \sqrt{k_p k_p} = k_l^2$	$k_P = k_p k_l^2 = 1$
7.	Работа	A	$A = Pl$		ML^2T^{-2}	Джоуль	$k_A = k_l^3 k_p = k_l^3$	$k_A = k_l^3 \sqrt{k_p k_p} = k_l^3$	$k_A = k_p k_l^3 = k$
8.	Мощность	N	$N = \frac{Pl}{t}$		ML^2T^{-3}	Ватт	$k_N = \frac{k_l^3}{\sqrt{k_p}} = k_l^{5/2}$	$k_N = \frac{k_l^3 \sqrt{k_p k_p}}{k_p \sqrt{k_p}} = k_l^2$	$k_N = \frac{k_p k_l^3}{k_l} = \frac{1}{k_l}$
9.	Плотность	ρ	$\rho = \frac{m}{V}$		ML^{-3}	кг/м ³	$k_\rho = \frac{\rho_l}{\rho_m} = 1$	$k_\rho = \frac{\rho_l}{\rho_m} = 1$	$k_\rho = \frac{\rho_l}{\rho_m} = 1$
10.	Кинематическая вязкость	ν	$\nu = \frac{P}{\rho j}$		L^2T^{-1}	м ² /сек	$k_\nu = \frac{k_l^2}{k_l \sqrt{k_p k_p}} = \sqrt{k_l}$	$k_\nu = \frac{k_l^2 \sqrt{k_p k_p}}{k_l k_p \sqrt{k_p}} = k_l$	$k_\nu = \frac{\nu_l}{\nu_m}$

В таблице 6 приведена сводка масштабов подобия и соответствующих формул перехода при моделировании для всех трех случаев, определяющих критериев подобия Фруда, Коши и Рейнольдса.

При получении критериев подобия с помощью приведения уравнений движения к критериальному то есть безразмерному виду (см. Параграф 2), может случиться, что найденные критерии будут несовместимы. Несовместимость критериев обычно выражается в том, что масштаб линейных размеров модели не может быть выбран произвольно или в том, что он равен единице, $k_1 = 1$. Так, например, при моделировании автомобильных или тракторных прицепов с целью исследования явления их поперечных колебаний при определенных скоростях движения автотрактор поезда, оказалось, что точное соблюдение масштабов, одновременно удовлетворяющих критериям подобия Фруда и Коши практически неосуществимо.

В таких случаях приходится осуществлять так называемое приближенное моделирование, при котором масштабы подобия выбираются в соответствии с требованиями одного из критериев в частности критерия F_r , но в них вносятся поправочные коэффициенты, учитывающие требования и другого критерия подобия, например, критерия C .

Приближенное моделирование объекта или процесса, при удачном подборе поправочных коэффициентов и соблюдении достаточной точности измерений величины в модельном эксперименте, дает относительно небольшую погрешность результатом порядка $6 + 10\%$.

4. Примеры механического моделирования.

Рассмотрим два примера определения критериев подобия и масштабов моделирования, используя в первом из них методы анализа размерностей, а во втором более сложном примере, приведение дифференциального уравнения движения к критериальному виду.

Пример 1-й. Математический маятник (рис.8) с тяжеломатериальной точкой массы m подвешен на невесомой и нерастяжимой нити l , которая закреплена в неподвижной точке O . Движение маятника плоское; углы отклонения от

вертикали и натяжение нити P .



Рис. 8. Математический маятник.

Величина натяжения нити, полагаем, зависит от следующих параметров:

Название величины	Обозначение	Формула размерности
Масса груза	m	M
Длина нити	l	L
Время	t	T
Ускорение силы притяжения	g	LT^{-2}
Угол отклонения	φ	I
Сила натяжения	P	MLT^{-2}

Следовательно, можно записать такую функциональную зависимость

$$P = f(m, l, t, g, \varphi) \quad (14)$$

В теории подобия известна так называемая Π - теорема, согласно которой такое функциональное соотношение можно выразить через соотношение безразмерных комплексов. Для их определения обычно используется метод Рэлея, который заключается в следующем. Предположим, что функциональное соотношение (14) можно представить в виде степенных зависимостей, то есть

$$P = f(m^a, l^b, t^c, g^d, \varphi^e) \quad (14.1)$$

Подставим в обозначения величины их значения из формул размерностей, получим

$$MLT = f \{M^a, L^b, T^c, (LT^2)^d, 1\}.$$

Для того, чтобы полученное уравнение было однородным, то есть чтобы все его члены имели одинаковую размерность, между показателями степени должны быть следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \text{Для степени } M & - 1 = a \\ \text{Для степени } L & - 1 - b + d \\ \text{Для степени } T & - -2 = c - 2d \end{aligned}$$

Следовательно: $a = 1$; $d = 1 - b$; $c = 2d - 2 = 2(1 - b) - 2 = -2b$.

Подставим полученные значения показателей степени в (14.1).

$$\text{Будем иметь: } P = f(m, l, t^{-2b}, g^{(1-b)}, \varphi)$$

или объединив члены с одинаковыми показателями степени

$$\frac{P}{mg} = f\left(\varphi, \frac{l}{gt^2}\right) \quad (15)$$

Таким образом, в результате использования анализа размерностей, получена зависимость в безразмерной форме между тремя безразмерными комплексами, из которых наибольший интерес представляет третий, то есть

$$\frac{l}{gt^2} = idem .$$

Нетрудно показать, что это несколько измененный критерий подобия Фрида. Достаточно помножить числитель и знаменатель на длину l , и извлечь квадратный корень, чтобы получить:

$$\sqrt{\frac{l}{gt^2} \cdot l} = \sqrt{\frac{l^2}{gt^2}} = \sqrt{\frac{V^2}{g}} = \frac{V}{\sqrt{g}},$$

то есть критерий подобия Фрида.

Все масштабы моделирования находятся по таблице 6.

Непосредственно из выражения для критерия Фрида можно получить следующую зависимость.

$$t = c \sqrt{\frac{l}{g}}$$

где c - некоторая постоянная. Из курса механики известно, что $c = 2\pi$. Получено выражение для периода колебаний математического маятника.

Из курса механики известно так же, что натяжение нити механического маятника равно

$$P = mg \left(\cos \varphi + \frac{v^2}{gl} \right).$$

Сопоставляя с (15) видно, что неизвестная функция равна

$$f \left(\varphi, \frac{l}{gl^2} \right) = \cos \varphi + \frac{v^2}{gl} = \cos \varphi + \frac{l}{gl^2}.$$

Как видно, анализ размерностей не только позволил установить масштабы подобия, то есть моделирования в эксперименте, но и без помощи уравнения движения маятника вполне точно позволил установить некоторые зависимости его колебаний.

Пример II-ой. Одноосный неподрессоренный автомобильный прицеп совершает поперечные горизонтальные свободные колебания при прямолинейном движении точки сцепки со скоростью V м/сек. Схема виляний такого прицепа представлена на рис. 9.



Рис.9 Схема виляний одноосного автомобильного прицепа.

Уравнение движения прицепа следующее

$$mz^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{l_n^2 k}{V} \frac{d\varphi}{dt} + l_n k \varphi = 0, \quad (16)$$

Где m - масса прицепа, кг;

Z - радиус инерции относительно вертикальной оси;

l_n - база прицепа, м;

K -коэффициент сопротивления боковому уводу шин колес на оси прицепа, н/рад.

Уравнение (16) приводится к безразмерной форме с помощью деления всех его членов на степенную комбинацию x параметров $\rho l^3 V^2$.

Эта комбинация, имеющая размерность кг.м /сек² или (Ньютон метр), то есть момента силы входит в группу безразмерных комбинаций (2) и подобрана к данному случаю.

После некоторых преобразований, которые рекомендуется читателю проверить самому, получается следующее безразмерное критериальное уравнение

$$\frac{m}{\rho l^3} \cdot \frac{x^2}{g l^2} \cdot \frac{g l}{V^2} \cdot l^2 \varphi + \frac{l_n^2}{l^2} \cdot \frac{k}{\rho l^3 V^2} \cdot \frac{l_n}{l} \cdot l \varphi + \frac{l_n}{l} \cdot \frac{k}{\rho V^2 l^2} \cdot \varphi = 0, \quad (16.1)$$

Которое в более сокращенной записи можно представить так:

$$(m(x)^2(\varphi)Fr^{-1} + (l_n)^2(k)(\frac{\varphi}{l^2}) + (l)(k)\varphi = 0, \quad (16.2)$$

где $(m) = \frac{m}{\rho l^3}$; $(x) = \frac{x}{g l^2}$; $(l) = \frac{l_n}{l}$; $(V) = \frac{l}{V}$; $(\varphi) = l \varphi$; $(\varphi) = l^2 \varphi$

$(k) = \frac{k}{\rho l^3 V^2}$ - безразмерные соответственно масса, радиус инерции, база (эталонная длина), скорость поступательного движения, угловая скорость поперечных колебаний, угловое ускорение колебаний и коэффициент сопротивления боковому уводу эластичных шин колес прицепа.

Теоретические исследования поперечных колебаний прицепа убедительно показали, что в возникновении и поддержании этих колебаний определяющую роль играют инерционные, зависящие от массы прицепа и упругие, обусловленные свойствами эластичной шины.

Критерий Фруда Fr в первом члене критериального уравнения (16.2) подтверждает сказанное. Остается доказать, что безразмерный коэффициент сопротивления боковому уводу во втором члене (16.1) соответствует обратной величине критерия Коши C , то есть что

$$\frac{K}{\rho l^3 V^2} + \left(\frac{\rho V^2}{E} \right)^{-1}$$

(Знак \rightarrow означает соответствие двух величин и равенство их размерностей)

расчетные формулы и специальные методы, основывающиеся на теории вероятности, дает специальный её раздел, называемый математической статистикой.

Математическая статистика - наука, которая разрабатывает методы получения необходимой информации путем специальной математической обработки данных массовых явлений или событий, носящих вероятностно - случайный характер с целью их анализа и получения обобщенных характеристик этих явлений или событий.

Под массовыми явлениями или событиями, которые носят вероятностно - случайный характер, понимаются такие многократно повторяющиеся явления, которые, несмотря на неизменность условий, относятся в большей или меньшей степени, друг от друга, то есть имеют, как говорят, случайное рассеяние.

Таким образом, математическая статистика исследует случайные явления и события в их закономерности.

Для лучшего понимания понятия случайное явление или случайная величина, рассмотрим примеры. Предположим, что в АТП имеется 150 однотипных автомобилей примерно с одинаковым пробегом от начала эксплуатации и одинакового технического состояния. Потребовалось выяснить, какой средний расход топлива в литрах на 100 км. имеют автомобили. Было выделено тридцать пять автомобилей и проведено испытание. При этом были получены следующие результаты: 26,9; 28,1; 28,5; 25,8; 28,3; 29,7; 27,5; 29,3; 28,5; 29,3; 26,6; 30,4; 28,2; 27,6; 30,1; 28,8; 26,3; 29,4; 28,6; 27,3; 28,4; 29,9; 28,7; 28,3; 29,1; 27,7; 28,2; 28,7; 27,2; 29,5; 28,3; 29,6; 28,3; 29,6; 28,9; 27,8 и 28,9. Можно ли из получившейся вереницы значений расхода извлечь какую-либо полезную информацию? Вряд ли! Расположенные в совершенно случайном порядке, полученные данные не наглядны и единственное заключение, которое можно сделать, очевидно состоит в том, что расход топлива существенно колеблется от 25,8 л/100км до 30,4 л/100 км то есть имеет случайное рассеивание, о котором говорилось выше. Наглядно это рассеивание видно на графике рис. 10, позволяющего так же предположить, что значения расходов топлива колеблются около какого-то среднего значения, которое показано штриховой жирной линией 1.

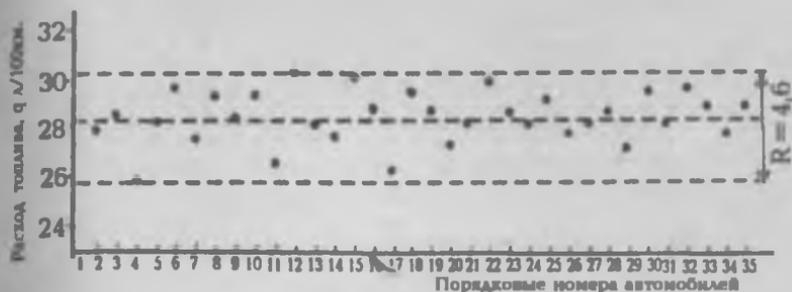


Рис. 10. Рассеивание результатов измерений расходов топлива у тридцати пяти автомобилей.

Другой пример: известно, что между крутящим моментом на валу M кгм (Ньютон.метр) и окружной силой F кГ (Ньютон) имеется простая зависимость

$$F = 2 \frac{M}{D},$$

где D - диаметр вала или маховика на валу.

Если изобразить эту зависимость графически, то получится прямая линия (рис.11). Следовательно, при известной величине диаметра D можно точно рассчитать величину момента M при разных значениях силы F или наоборот.

Эти величины являются детерминированными, подчиняющимися функциональным зависимостям, в отличие от случайных, о которых говорилось выше, и для которых заранее предсказать результат невозможно, так как он в большей или меньшей степени обусловлен случаем.

В примере с получением различных расходов топлива, случай проявляется в индивидуальных особенностях автомобилей, некоторой, возможно, очень незначительной, разнице регулировок, в индивидуальных свойствах водителей и во многих других не контролируемых обстоятельствах.

Однако, если во втором примере перейти от расчетов к фактическим измерениям величины окружной силы F , для чего необходимо измерить диаметр D и установить и измерить несколько значений крутящего момента M , то результаты могут получиться случайными.

Помножив числитель и знаменатель выражения для

критерия на l^2 , получим, что $C = \frac{\rho l^2 V^2}{E l^2}$. Следовательно, условие (к) $\rightarrow C$ соблюдается в том случае, если соблюдается условие $K \rightarrow E l^2$ (17), то есть что коэффициент сопротивления боковому уводу соответствует произведению модуля упругости E и квадрата эталонной длины. Размерности левой и правой частей (17) совпадают полностью, что нетрудно проверить. Но обе части (17) имеют и физическое соответствие.

Известно, что коэффициент k равен отношению поперечной силы P к углу бокового увода шины δ . Если бы можно было вообразить реальную эластичную шину в виде некоторого условного упругого бруса, модуль упругости которого равен модулю упругости шины, то угол её бокового увода соответствовал бы углу закручивания этого бруса. Последний равен

$$\varphi = \frac{M_k l}{E J_k}$$

где M_k - крутящий момент, который может быть представлен произведением некоторой силы P на плечо l , то есть $M_k = P l_{\text{нм}}$, J_k - момент инерции сечения при кручении, который как известно из курса "Сопромат", равен линейному размеру в четвертой степени, то есть $J_k = a l^4$.

Следовательно, можно написать такое соответствие

$$\delta \rightarrow \varphi = \frac{P l^2}{E a l^4}$$

Так как $k = P \delta$, то очевидно имеет место соответствие между безразмерным коэффициентом сопротивления боковому уводу и обратной величиной критерия подобия Коши.

Однако, как уже отмечалось выше, и как хорошо видно по таблице 6, совместить масштабы подобия с одновременным учетом критериев Фруда и Коши практически невозможно, следовательно, точное моделирование в данном случае тоже невозможно.

Действительно, в поперечном направлении колеблется поступательно движущаяся масса прицепа, моделирование которой следует осуществлять с учетом критерия подобия Фруда, но на колебание этой массы оказывают влияние упругие силы эластичных шин на колесах, моделировать

которые необходимо с учетом критерия подобия Коши. Поэтому в основном моделирование осуществляется по критерию Фруда, но с введением поправочного (корректирующего) коэффициента на наличие упругих элементов в модели.

Поправочный коэффициент α_p вводится в масштаб сопротивления боковому уводу K_k , который будет равен $K_k = \alpha_p K_1^3$. Но так как согласно таблице 6: $K_k = K_m = K_p$, то и $K_m = K_p = \alpha_p K_1^3$. Остальные масштабы подобия остаются прежними, то есть соответствующими таблице 6.

Поправочный коэффициент α_p на наличие и влияние упругих сил действующих в контакте шины и опорной поверхности, определяется в соответствии с требованиями соблюдения граничных условий. Они заключаются в равенстве удельных давлений в плоскости контакта шин натуре и модели, то есть масштаб подобия удельных давлений должен быть равен единице:

$$K_s = \frac{P_M S_M}{P_N S_N} = 1.$$

Так как отношение сил натуре и модели $K_p = \alpha_p K_1^3$ а отношение площадей контакта $S_M : S_N = K_1^2$, то получаем, что

$$K_s = \frac{\alpha_p K_1^3}{K_1^2} = \alpha_p K_1 = 1$$

и, следовательно, $\alpha_p = \frac{1}{K_1}$.

Таким образом, зная величину поправочного коэффициента α_p можно установить все масштабы подобия для моделирования одноосного прицепа. Эти масштабы будут следующие: длины - k_l ; массы - k_m ; времени - $\sqrt{k_t}$; скорости - $\sqrt{k_v}$; сил и сопротивления уводу - k_f ; момента инерции - k_i ; удельного давления - $k_s = 1$; коэффициента жесткости - $k_c = k_l$.

Общий вид двухосной модели прицепа, выполненной в масштабе $k_l = 20$, был показан на рис.6. Масса модели могла изменяться от 4,15 кг до 8,50 кг, то есть моделировать двухосные прицепы полной массой от 1,66 тонн до 3,4 тонны. Скорости поступательные при исследованиях на специальном барабанном стенде, с установленными на нем моделями, доходились до 10-12 м/с, то есть в пересчете на натуре ($k_v = k_c = 4,47$) до 44,7 - 53,6 м/с или 161 - 193 км/час. Конечно, осуществить такие скорости в натуральных условиях было

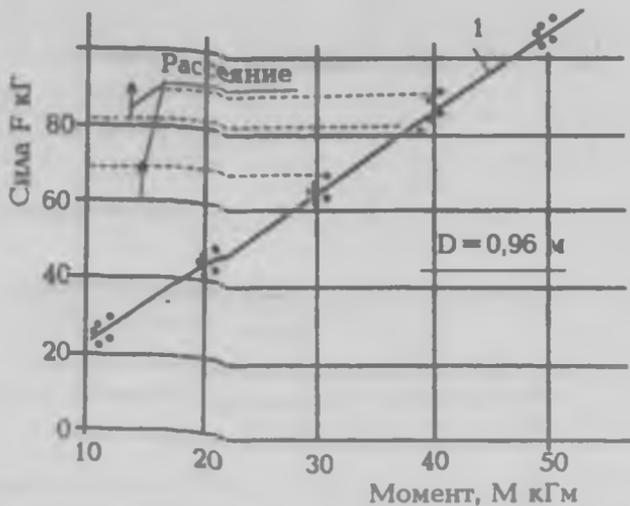


Рис. 11. К примеру функциональной зависимости и рассеиванию результатов измерений.

Эти случайные значения величины силы F изображены на графике рис.11 точками, не совпадающими с прямой и лежащими с некоторым рассеянием относительно этой прямой.

В этом примере значения силы F получились случайными из-за неточных замеров моментов M и диаметра D .

Таким образом, приведенные примеры показали два различных источника возникновения случайного явления или случайных величин: первый источник - воздействие на исследуемый объект большого количества не контролируемых, а часто и не учитываемых факторов, второй источник - погрешности измерения детерминированной величины.

Однако, независимо от источника возникновения случайных явлений, в их основе лежат определенные закономерности, тем более четко выраженные, чем больше эти явления изучаются, то есть чем более массовым является изучаемое явление. Но исход (результат) каждого отдельно взятого явления предсказать невозможно.

2. Случайная величина и её распределения.

Полученные в предыдущем параграфе случайные величины расхода топлива или значения силы F относятся к непрерывным случайным величинам, которые могут теоретически принять любое значение в определенном интервале. Действительно, расход топлива автомобилями может быть любым между 25,8 л/100 км и 30,4 л/100 км и не только теми, что приведены выше. Ошибка измерения во втором примере так же может принять любое значение, определяемое несовершенством измерительных средств.

Другая группа случайных величин может принимать только конечное число различных значений, то есть область (промежуток) значений этих случайных величин может состоять только из, как говорят, с четного количества значений. Например, при изучении простоев автомобилей по техническим причинам, можно получить 20 или 32 или другое целое количество этих простоев, но нельзя получить 18,75 простоя!

Случайная величина принимающая конечное или счетное число различных значений, называется дискретной (прерывной).

Результаты измерений или испытаний (экспериментов) представляют собой, как правило, ряд значений измеряемой величины, который называется часто вариационным рядом обычно не упорядоченным. Это значит, что вариационный ряд состоит из случайных величин, расположенных также в случайной последовательности (см. таблицу 7 п.1). Для того, чтобы исходные данные наблюдений сделать обозримыми и удобными для дальнейшего анализа, неупорядоченные случайные величины упорядочивают, то есть распределяют на группы. Для этого весь промежуток их возможных значений разбивают на части (интервалы) равной "длины". Как показано в таблице 7 п.2 для примера измерения расхода топлива автомобилями промежуток от 25 л/100 км до 31 л/100 км разбит на шесть интервалов "длиной" в 1 л/100 км.

Характерной особенностью, встречающихся в науке и технике расположений результатов наблюдений является то, что имеется один интервал, в который особенно часто попадают измеряемые величины. Таким интервалом оказался четвертый слева - 15 значений расхода топлива попали между 28 и 29 л/100

Количество значений случайной величины попавших в данный интервал называется частотой; масса всех частот равна объему вариационного ряда, количеству случайных величин в ряду.

Если разделить частоту m на объем ряда, то получим частость, относительную частоту, которую выражают в процентах или сотых долях

$$\omega_i = m_i : n = \frac{m_i}{\sum m_i}$$

где i - порядковый номер интервала.

Например, частость четвертого интервала ($i=4$) равна частоте $m_4 = 15$, деленной на объем ряда $n = 35$, т.е. $\omega_4 = 0,429$ или 42,9%. Сумма всех частостей равна единице: $\sum \omega_i = 1$.

В целом представленная таблица 7 п.2 называется таблицей частот. При составлении таблицы частот практически не выписывают в столбцы значения результатов, а делают штриховые отметки по 5 отметок в группе и по их общему количеству определяют частоту.

Количество интервалов k при заданном объеме ряда n можно определить по такой формуле: $k = 4 \log n$.

Таблица частот и колонка штриховых отметок ли количественных, цифровых значений, дает распределение частот или эмпирическое (статистическое) распределение случайной величины x , так как показывает, каким образом, распределены по всему промежутку значений результатов наблюдений или измерений её реализации x_1, x_2, x_3 и т.д.

Эмпирическое то есть опытное распределение может быть представлено графиком, как это показано в таблице 7 п 3 - полигон частот. По оси абсцисс откладываются значения результатов измерения и в точках соответствующих серединам интервалов (а данном случае в точках 25,5; 26,5 и т.д.) Восстанавливаются перпендикуляры, высотой равной частоте m_i . Соединяя их концы прямыми, получают полигон (буквально по-гречески - многоугольник) частот или эмпирическую кривую распределения.

Полученные из наблюдений или по экспериментальным данным эмпирическое распределение приводят или как говорят математики, аппроксимируют (приближают) каким-либо подходящим теоретическим распределения.

Таким образом, эмпирическое, опытное распределение

случайной величины для закономерности, которой оно подчиняется, заменяется наиболее подходящим теоретическим распределением.

Таблица 7.

1. Исходные данные (Неупорядоченные результаты испытаний).

Расход топлива в л/100км автомобилями.

№1	26,9	№2	28,1	№3	28,5	№4	25,8	№5	28,3	№6	29,7
№7	27,5	№8	29,3	№9	28,5	№10	29,3	№11	26,6	№12	20,4
№13	28,2	№14	27,6	№15	30,1	№16	28,8	№17	26,3	№18	29,4
№19	28,6	№20	27,3	№21	29,9	№22	28,7	№23	28,3	№24	29,1
№25	27,7	№26	28,2	№27	28,7	№28	27,2	№29	29,5	№30	28,3
№31	29,6	№32	28,9	№33	27,8	№34	28,9				

2. Упорядочение и обработка исходных данных.

				28,1			
				28,5			
				28,3			
				28,5			
				28,2			
				28,8			
				28,6			
				28,4	29,7		
				28,7	29,3		
			27,5	28,3	29,3		
			27,6	28,2	29,4		
			27,3	28,7	29,9		
			26,9	27,7	28,3	29,1	
			26,6	27,2	28,9	29,5	30,4
	25,8	26,3	27,8	28,9	29,6	30,1	
Частота	1	3	6	15	8	2	35
Интерва.	25-26	26-27	27-28	28-29	29-30	230-31	
Частость	0,029	0,086	0,171	0,429	0,228	0,057	1,0
$\sum x$	25,8	79,8	165,1	427,4	235,8	60,5	994,4
$\sum x^2$	665,6	2122,9	4543,3	12179,0	6950,7	1830,2	28291,6

3. Числовые характеристики распределения случайной величины.

Эмпирическое распределение случайной величины получается либо в табличной форме, либо в графической, что обеспечивает наиболее полную информацию о нем. Однако, весьма часто необходимо знать цифровую характеристику распределения в более сжатой, компактной форме. Таких характеристик математическая статистика знает два вида:

- характеристики положения центра рассеивания. Под центром рассеивания понимается тот интервал значений случайной величины, в котором она повторяется с наибольшей частотой (например, в таблице 7 п.3 это интервал 28 + 29 л/100 км.) Иными словами, это некоторые средние значения случайной величины, вокруг которых и происходит ее группирование, более или менее плотно. Поэтому-то и говорят, что в центре группирования плотность распределения случайной величины наибольшая.

- характеристики рассеивания (меры колеблемости) случайной величины. Рассеивание характеризует насколько разбросана случайная величина около центра группирования. Степень рассеивания и показывает числовая характеристика рассеивания.

Оба вида характеристик называются статистическими мерами или коротко - статистиками случайной величины.

Характеристики положения центра рассеивания: среднее арифметическое \bar{x} , медиана или срединное значение - x и мода M_0 . Наиболее важны: \bar{x} и M_0

Среднее арифметическое вариационного ряда определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (18)$$

где n - объем вариационного ряда.

Пример вариационного ряда, приведенный в таблице 7, дает $\sum_{i=1}^{35} x_i = 994,4$ и следовательно, среднее арифметическое равно

$$\bar{x} = 994,4 : 35 = 28,41 \text{ л/100 км.}$$

Однако, в некоторых наблюдениях могут быть сотни

значений случайной величины и суммирование их очень сложно. Можно, с некоторой небольшой погрешностью рассчитывать среднее арифметическое по упрощенному методу.

Формула расчета по этому методу следующая

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i m_i, \quad (18.1)$$

где \bar{x}_i - среднее значение i -того интервала,
 m_i - частота в i -том интервале,
 k - число интервалов.

Расчет примера таблицы 7 по этому методу дает практически тот же результат - 28,41 л/100 км. Разница лишь в третьем знаке после запятой. Чем шире интервалы, на которые разбит ряд наблюдений, тем существеннее отличие средней, рассчитанной по упрощенному методу от определенной по (18).

Мода вариационного ряда - важнейшая его характеристика - представляет собою наиболее вероятное значение или наиболее часто встречающееся значение случайной величины. Моду практически определяют как значение середины интервала, в котором частота или частость наибольшая.

В примере таблицы 7 таким интервалом является четвертый слева, середина которого равна 28,5 л/100 км. Это и есть мода эмпирического распределения расходов топлива. На полигоне частот это его вершина.

Если распределение случайной величины симметричное относительно центра рассеивания (центра группирования), то среднее арифметическое и мода равны между собою, то есть $\bar{x} = M_0$.

Пример таблицы 7-ой соответствует условию симметрии, так как расхождение между модой и средней арифметической составляет всего лишь 0,09 л/100 км или 0,3%.

Однако, для характеристики эмпирического распределения случайной величины определения только средней арифметической и моды недостаточно, так как два таких распределения с одинаковыми средними могут иметь совершенно различные формы (рис.12). Полигон 1 гораздо круче, чем полигон 2 и частоты полигона 2 сгруппированы теснее около среднего значения \bar{x} , чем у полигона 1. Характеристики рассеивания и служат для определения этого

свойства случайной величины.

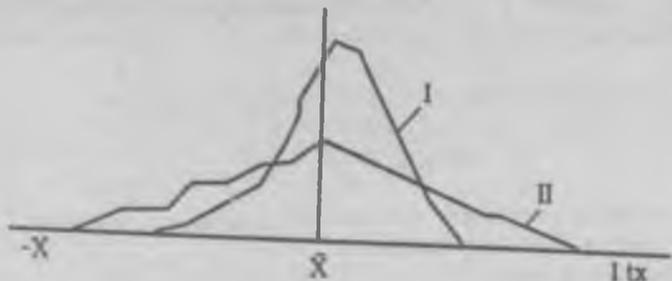


Рис.12. Два различных распределения случайной величины при одинаковых средних.

Характеристики рассеивания или разброса случайной величины следующие: размах рассеивания (разброса) - R , среднее квадратическое отклонение или стандарт - σ , дисперсия - σ^2 и коэффициент вариации - v .

Размах рассеивания равен разности между максимальным и минимальным значениями случайной величины и ее распределении, то есть

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (19).$$

Для рассматриваемого примера измерения расхода топлива автомобилями размах $R = 4,6$ л/100 км (см.рис.10).

Размах рассеивания обычно используется при относительно небольшом объеме вариационного ряда.

Среднее квадратическое отклонения - наиболее часто применяется как мера рассеивания (колеблемости) случайной величины, это корень квадратный из средней арифметической квадратов отклонений значений случайной величины от ее средней арифметической. Расчетная формула следующая.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (20)$$

Каждое, как говорят, линейное отклонения ($x_i - \bar{x}$) от среднеарифметического значения случайной величины возведено в квадрат, чтобы не учитывать знаки этих отклонений. В противном случае может получиться, как это имеет место в примере таблицы 7. Величина суммы отрицательных отклонений от средней равна - 14,3, а в положительных - 14,6 л/100 км. Чтобы получить величину

среднего линейного отклонения, приходится прибегать к искусственному приему: складывать суммы без учета их знаков.

Среднее квадратическое отклонение кроме того удобно тем, что имеет ту же размерность, что и сама случайная величина.

Для примера таблицы 7 среднее квадратическое отклонение равно 1,097 л/100 км.

Дисперсия (латин.слово) - означает рассеяние и определяется квадратом среднего квадратического отклонения, по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (20.1)$$

Существенное значение величина σ^2 играет в дисперсионном анализе, который применяется при обработке результатов эксперимента (см.п.7 раздела 5).

Средний квадрат отклонения - дисперсия - обладает некоторыми свойствами, из которых укажем два важнейших:

- дисперсия постоянной величины равна нулю,
- дисперсия не меняется, если ко всем значениям вариационного ряда прибавляется или вычитается постоянная величина

Следовательно, если $x = \text{const}$, то $\sigma^2 = 0$ и, если имеется вариационный ряд $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ с дисперсией σ^2 , то другой вариационный ряд: $x_1 - a, x_2 - a, x_3 - a, \dots, x_n - a$ - будет иметь дисперсию $\sigma^2 = \sigma_1^2$.

В практических расчетах дисперсию гораздо проще вычислять по формуле

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2, \quad (20.2)$$

которая полностью равносильна (20.1).

Дисперсия вариационного ряда, представленного в таблице 7, равна $\sigma^2 = 1,203$.

Коэффициент вариации характеризует величину среднего квадратического отклонения в процентах от среднего арифметического и поэтому удобно для сравнения эмпирических распределений по величине их относительного рассеяния

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (21).$$

Коэффициент вариации для примерного вариационного ряда (таблица 7) равен

$$v = \frac{1,33}{28,41} 100 = 4,68\%.$$

Такая величина может считаться очень незначительной. Весьма существенно для дальнейшего изложения (раздел 5-й) понятие о частных или групповых дисперсиях.

Вариационный ряд, в силу весьма разнообразных причин, может оказаться разбитым на несколько групп. Каждая группа значений случайной величины конечно имеет "свою" внутри групповую дисперсию δ_j^2 , где j - означает номер группы. Частная дисперсия может существенно отличаться от общей, то есть дисперсии всего ряда. Средняя дисперсия (не путать с общей) находится из частных, то есть групповых по формуле

$$\bar{\delta}^2 = \frac{\sum_{j=1}^P \delta_j^2 n_j + \sum_{j=1}^P h_j}{P}, \quad (22)$$

где n_j - частота j -ой группы (объем группы),
 P - число групп, на которые разбит вариационный ряд.

Средняя из частных дисперсий характеризует среднее рассеяние значений случайной величины внутри групп.

Внутри каждой группы значений случайной величины могут быть определены так называемые частные или внутри групповые средние арифметические (\bar{x}_j), которые обычно не совпадают с общей средней, рассчитанной по формуле (18), поэтому полезно определять так называемую межгрупповую дисперсию - δ_{MG} , то есть рассеяние частных средних вокруг общей средней.

Формула межгрупповой дисперсии аналогична формуле (20.1) для общей дисперсии, но с учетом групповых частот n_j :

$$\delta_{MG}^2 = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P (x_j - \bar{x})^2 n_j \quad (23)$$

Между общей дисперсией - $\bar{\delta}^2$, средней из частных дисперсий - $\bar{\delta}_j^2$ и межгрупповой дисперсией - δ_{MG}^2 существует простая связь, часто называемая правилом сложения дисперсий

$$\bar{\delta}^2 = \bar{\delta}_j^2 + \delta_{MG}^2 \quad (24)$$

Пример, по таблице 7, п.2 определить групповые дисперсии, межгрупповую дисперсию и проверить формулу (24), разбив вариационный ряд на три группы (см. таблицу 8).

Таблица 8.

	1-ая группа	2-ая группа	3-я группа
Групповые частоты, n_j	$1 + 3 + 6 = 10$	15	$8 + 2 = 10$
Ср. арифметическая группа, \bar{x}_j	27,07	28,49	29,63
Групповая дисперсия, σ_j^2	0,39	0,25	0,15
Средняя из частных дисперсий	- 0,26		
Межгрупповая дисперсия	- 0,94		
Общая дисперсия	- 1,20		

Как видно, результат суммирования дал тот же результат и расчет общей дисперсии по формуле (20.1).

4. Законы распределения.

При статистическом подходе к результатам наблюдений или экспериментов (параграф 1-й), количество так называемых реализаций случайной величины, как правило, ограничено. Это в лучшем случае несколько десятков измерений или данных наблюдений, а часто и того меньше. Эмпирические распределения частот случайной величины являются поэтому, в определенной степени, приближенными, так же как и их характеристики. Их значения зависят от объема вариационного ряда и, как говорят, не устойчивы. Действительно, если в примере таблицы 7 подсчитать величину средней арифметической не по полному объему $n = 35$, а по меньшему, то получим следующую таблицу:

Объем ряда, n	5	10	15	20	25	30	35
Средняя арифметическая \bar{x}	27,52	28,19	28,30	28,26	28,38	28,36	28,41

Аналогичная неустойчивость наблюдается и для частот случайной величины при разном значении n :

Интервал, м/100 км		25-26	26-27	27-28	28-29	29-30	30-31
Частота	При $n = 15$	0,067	0,133	0,133	0,334	0,200	0,133
	$n = 25$	0,040	0,120	0,120	0,400	0,240	0,080
	$n = 35$	0,029	0,086	0,171	0,429	0,228	0,057

При увеличении количества наблюдений и результатов опытов, значения характеристик (средних, дисперсий и др), а также относительных частот (частостей) эмпирического распределения приближаются к некоторым постоянным величинам, которые при $n \rightarrow \infty$ характеризуют закон распределения. Для закона распределения характерна устойчивость значений относительных частот, независимость характеристик от объема вариационного ряда. Именно такое положение утверждается в теории вероятности (в несколько другой формулировке) и называется законом больших чисел.

Теоретический закон распределения, к которому в большей или меньшей степени приближается эмпирическое, то есть полученное из опытов, распределение случайной величины - эта та математическая модель, которая устанавливает зависимость между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Под вероятностью случайного события или случайной величины понимается та постоянная величина, к которой стремится (приближается) относительная частота (частость) эмпирического распределения при бесконечном возрастании объема n вариационного ряда. Однако, на практике при большом числе наблюдений за численное значение вероятности случайного события или случайной величины приближенно принимается относительная частота этого события или величины, то есть

$$P(A) = \frac{m}{n},$$

где A - случайное событие или величина.

Центр группирования для теоретического распределения - это математическое ожидание, то есть то значение случайной величины, к которому приближается

среднее арифметическое \bar{x} при бесконечном возрастании n , то есть при $n \rightarrow \infty$. В этом случае $\bar{x} \rightarrow M$.

Статистические методы в научном исследовании, как правило, приводят к эмпирическому распределению результатов наблюдений за исследуемым параметром. Полученное из экспериментов или наблюдений, распределение необходимо аппроксимировать теоретическим законом распределения. Такая аппроксимация позволяет математически описать и проанализировать результаты исследований. Иными словами, необходимо для данного эмпирического распределения подобрать такую теоретическую кривую распределения, которая выражала бы лишь существенные черты собранного статистического материала, а не то случайное его "поведение", обусловленное недостаточным объемом экспериментальных данных или результатом наблюдения.

Наиболее распространенным теоретическим законом распределения, которому подчиняются многие эмпирические распределения, является нормальное распределение, иногда называемое законом Гаусса-Лапласа по именам великих математиков прошлого века.

Нормальному распределению подчиняются случайные величины, представляющие собою результат суммарного действия множества независимых или слабо зависимых причин (факторов). Основное условие образования нормального распределения состоит в том, чтобы все случайные причины действовали с одинаковой силой и, среди них не было доминирующей (преобладающей).

Ошибки измерения линейных величин, веса и т.п., отклонения от номинального размера деталей и многие другие явления приводят к нормальному распределению. Важность нормального распределения в математической статистике заключается не только в его распространенности, но и в том, что это распределение является предельным, то есть таким, к которому приближаются другие теоретические распределения.

Закон нормального распределения задается следующей функцией

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (25)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение;

μ - математическое ожидание.

Если в прямоугольной системе координат на оси абсцисс отложить значения случайной величины x , а по оси ординат, соответствующие им значения $f(x)$, то получится колоколообразная кривая Гаусса. Максимальная ордината кривой нормального распределения соответствует значению $x = \mu$ то есть, математическому ожиданию, является осью симметрии кривой и равна $1:\sigma\sqrt{2\pi}$. Форма кривой зависит от одного из двух характерных ее параметров, а именно - от величины среднего квадратического отклонения σ . Чем больше величина σ , то есть чем больше рассеянное случайной величины, тем больше плоской выглядит кривая нормального распределения (рис. 13) и тем она выше и круче, чем меньше σ .

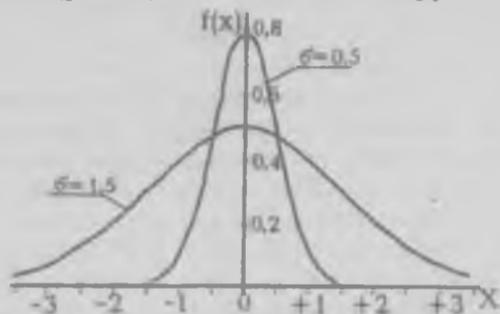


Рис. 13. Влияние на форму нормального распределения величины среднего квадратического отклонения.

Величина $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$ табулирована и может быть

найдена в различных математико-статистических таблицах. Величина t - это так называемое нормированное отклонение равно $t = \frac{1}{\sigma} (x - \mu)$.

Для построения нормального распределения, которое аппроксимирует полученное эмпирическое распределение, следует вероятностные параметры в формуле (25) заменить на статистические, полученные из эмпирического распределения. Так, пример эмпирического распределения к таблице 7, дает значения $\bar{x} = 28,41$ л/100 км и $\sigma = 1,097$ л/100 км.

Следовательно, расчет теоретических частот (ординат кривой нормального распределения) для данного случая можно вести по формуле

$$f(x) = \frac{1}{1,097\sqrt{3\pi}} e^{-\frac{(x-28,41)^2}{2 \cdot 1,097^2}} = 0,364 e^{-\frac{(x-28,41)^2}{1,407}} \quad (25.1).$$

Рассчитанные по формуле (25.1) теоретические частоты представлены в таблице 9.

Таблица 9.

Интервал		25-26	26-27	27-28	28-29	29-30	30-31
Частота	Эмпирически	0,029	0,086	0,171	0,429	0,228	0,057
	Теоретически	0,012	0,081	0,259	0,363	0,225	0,060

Графическое изображение рассчитанного закона нормального распределения представлено на рис.14. Как видно, эмпирическое (табл.7) и теоретическое распределения хорошо совпадают и, следовательно, можно считать, что измеренные расходы топлива автомобилями подчиняются нормальному распределению.

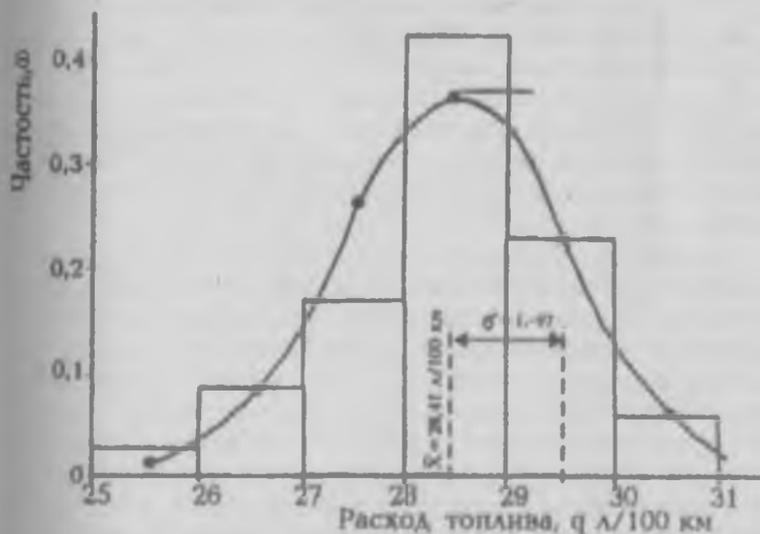


Рис.14. Аппроксимация эмпирического распределения теоретическим нормальным.

В математической статистике разработаны количественные методы - так называемые критерии согласия - позволяющие объективно оценить близость эмпирического распределения аппроксимирующему теоретическому.

Кроме нормального распределения, определенную роль в научно - исследовательских работах, главным образом, в области надежности, играют распределения экспоненциальное и Вейбулла.

5. Понятие о выборочном методе.

Во многих научных исследованиях, особенно в области исследования, надежности автомобилей, их агрегатов и деталей в условиях эксплуатации, а также при статистическом контроле качества выпускаемой продукции, используется так называемый выборочный метод.

Выборочный метод состоит в том, что вместо общей или генеральной совокупности, то есть значительной массы некоторых единиц, обладающих определенными общими свойствами, существенными для их характеристики (совокупность автомобилей данной модели в АТП, совокупность одноименных деталей, выпускаемых цехом АРЗ и т.п. изучается только часть этих единиц - выборка из генеральной совокупности. По результатам исследования выборки делается заключение о характеристиках и численных пропорциях в генеральной совокупности. Так, например, по результатам замера расхода топлива у 35 автомобилей, делается заключение по расходу топлива всех автомобилей той же модели данного АТП.

Основным признаком выборочного метода является случайный (наугад) отбор единиц из генеральной совокупности. Иначе говоря, любая из единиц генеральной совокупности имеет равную возможность с остальными единицами попасть в выборку. Полученная в результате выборка, является представительной с точки зрения генеральной совокупности и называется случайной выборкой.

Закон распределения генеральной совокупности, как правило, неизвестен. Источником информации о нем служит взятая из этой совокупности случайная выборка объемом n , которая состоит из реализаций случайной величины X . По вариационному ряду выборки (см. выше) рассчитывается

эмпирическое распределение и числовые характеристики - среднее арифметическое, дисперсия и т.д. Эмпирическое распределение в выборочном методе и его характеристики рассматриваются как оценки, то есть приближенные значения неизвестных параметров генеральной совокупности (математического ожидания, среднего квадратического отклонения и т.д.).

Существует два типа оценок: точечная и доверительная или интервальная оценки.

Точечная оценка статистической характеристики дается одним значением, единственным числом.

В качестве точечных оценок для математического ожидания и дисперсии генеральной совокупности применяют - среднюю арифметическую выборку - \bar{x} (см. формулу 18) - выборочную (исправленную) дисперсию - $\hat{\sigma}^2$, однако, в отличие от формулы (20.1) ее рассчитывают по формуле

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (26).$$

К точечным оценкам предъявляются три требования: состоятельности, несмещенности и эффективности.

Состоятельность оценки заключается в том, что при увеличении объема выборки n оценка стремится (приближается) к своему математическому ожиданию.

Несмещаемость - отсутствие систематической ошибки в сторону завышения или занижения то есть чтобы и при небольшом n среднее значение выборочных оценок совпадали с параметрами генеральной совокупности. Именно для исправления смещенности выборочной дисперсии (формула 20.1) и выводится формула (26).

Эффективность оценки - наименьшая её дисперсия, то есть рассеяние вокруг несмещенной оценки.

Указанные выше точечные оценки отвечают этим требованиям.

Доверительная оценка статистической характеристики. Точечные оценки не дают представления о точности этой конкретной оценки. Этот недостаток устраняется при использовании доверительной или интервальной оценки. Последние позволяют указать по данной выборки тот интервал (доверительный интервал) значений, в котором с заранее заданной вероятностью, лежит

истинное, но не известное значение параметра распределения генеральной совокупности.

Доверительные границы для среднего, то есть границы доверительного интервала, при неизвестных среднем значении и дисперсии генеральной совокупности (а так чаще всего бывает на практике) определяются по следующим формулам

$$J_H = \bar{x} - \epsilon_B \quad J_B = \bar{x} + \epsilon_B$$

или доверительный интервал записывается так:

$$J_B = [(\bar{x} - \epsilon_B), (\bar{x} + \epsilon_B)] \quad (27)$$

В выражении (27) величина ϵ_B - ошибка, возникающая при замене математического ожидания генеральной совокупности на среднюю выборки, при заданном уровне доверительной вероятности β . Последнюю толкуем как вероятность того, что доверительный интервал "накроет" значение математического ожидания генеральной совокупности.

$$\text{Величина ошибки } \epsilon_B \text{ равна } \epsilon_B = t_B \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (28)$$

где σ - выборочное среднеквадратичное отклонение, n - объем выборки;

t_B - величина, определяемая для данных β и n по таблице 10.

Доверительная вероятность β в практике расчетов обычно принимается равной 95%. Величина t_B зависит от значения β и величины выборки n .

Таблица 10.

Значение величины t_B .

Объем выработки, n		20	25	30	40	60	120	>120
Доверительная вероятность β в %	$\beta = 0,90$	1,73	1,71	1,70	1,68	1,67	1,66	1,64
	$\beta = 0,95$	2,09	2,06	2,04	2,02	2,00	1,98	1,96
	$\beta = 0,99$	2,85	2,79	2,75	2,70	2,66	2,62	2,58

Для примера таблицы 7, расход топлива определен со следующей ошибкой t_B , если считать, что $\sigma = 1,097$ л/100 км, $n = 35$, а доверительная вероятность $\beta = 95\%$.

$$\epsilon_B = \pm 2,03 \frac{1,097}{\sqrt{35}} = \pm 0,376.$$

Следовательно, ширина доверительного интервала равна:

$\varepsilon_p = 0,753 \text{ л/100 км}$, а границы его равны:

$$J_H = 28,41 - 0,753 = 27,66 \text{ л/100 км}$$

$$J_p = 28,41 + 0,753 = 29,16 \text{ л/100 км}$$

Как видно, доверительный интервал весьма узок и выборочное среднее, равное $28,41 \text{ л/100 км}$, весьма близко к систематическому ожиданию генеральной совокупности.

Для того, чтобы выборка, по которой определяются характеристики генеральной совокупности, была репрезентативной (см. Выше) необходимо, чтобы её объем, то есть число измерений n удовлетворяло формуле (28), то есть величине ошибки ε_p . Преобразуем (28) таким образом, чтобы представить ошибку в долях среднего квадратического отклонения. Тогда

$$n = \frac{t_p^2}{\Delta^2}, \quad (29) \quad \text{где } \Delta = \varepsilon_p : \sigma -$$

относительная ошибка или точность, которая задается для данных исследований. Желательно задавать $\Delta < 0,5$.

Величина t_p может быть принята из таблицы 10, в зависимости от заданной вероятности β или надежности. Так как обычно принимают $\beta = 0,95\%$, то $t_p = 1,96$. Для более точного определения объема необходимой выборки дается таблица 11, рассчитанная по формуле (29) с учетом данных таблицы 10.

Таблица 11.

Необходимое количество опытов.

Относительная ошибка, Δ		1,0	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Заданная надежность или вероятность	$\beta = 0,80$	3	7	11	19	42	182
	$\beta = 0,90$	4	11	18	31	71	282
	$\beta = 0,95$	6	16	26	45	102	408
	$\beta = 0,99$	10	29	46	81	173	729

6. Понятие о статистической проверке гипотез.

Под статистической гипотезой понимается определенное предположение относительно распределения или статистических характеристик случайных величин. Проверяемая гипотеза или нулевая гипотеза формулируется например так: автомобиль данной модели с определенным типом карбюратора расходует 20 литров топлива на 100 км

пути, запись нулевой гипотезы следующая: $H_0: \mu = 20 \text{ л/100 км}$. Это гипотеза о величине математического ожидания и принимается на основе предварительных опытов.

Проверка гипотезы - правило, по которому гипотеза принимается или отвергается. Например, можно установить правило, что нулевая гипотеза (см. Выше) отвергается в том случае, если при испытаниях $n = 25$ карбюраторов, среднее арифметическое \bar{x} выборки будет превышать, скажем, 22 л/100 км .

Проверка гипотез может сопровождаться ошибкой, так как принятие решения основывается на выборочных характеристиках. Вероятность ошибки, при которой отвергается верная в действительности гипотеза, обозначается $\alpha = 0,05$. По величине уровня значимости определяется критическая область ограниченная односторонне или двусторонне (рис. 15) критическим отклонением Z_α , при котором нулевая гипотеза отвергается. Величина Z_α определяется по таблице распределения Стьюдента (таблица 12).

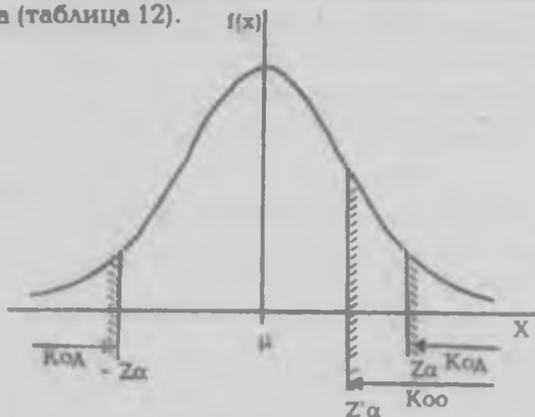


Рис. 15. К статистической проверке гипотез: одно и двусторонние критические отклонения.

При проверке гипотезы о среднем значении (полагая распределение нормальным) принимают обычно в качестве критерия нормированное отклонение выборочной средней от математического ожидания генеральной совокупности, которое равно

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \sqrt{n} \quad (30)$$

Таблица 12.

Критические отклонения Z_α
(из таблицы Стьюдента)

		α при двухсторонней критической области:					
Z_α		0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001
		1,64	1,96	2,33	2,58	3,09	3,29
		0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,005
	$1 - \alpha$ при односторонней критической области:						

Предположим, что принята по-прежнему нулевая гипотеза $H_0: m = 20$ л/100км, уровень значимости $\alpha = 0,05$ и величина $Z_\alpha = 1,64$ (см. Табл.12), проводится испытание $n = 25$ карбюраторов, при этом $\bar{x} = 20,45$ л/100 км. Вычисление по формуле (30) дает

$$Z = \frac{20,45 - 20}{1,5} \sqrt{2,5} = 1,50.$$

Так как $Z < Z_\alpha$ ($1,5 < 1,64$), то гипотеза H_0 не отвергается - она не попала в критическую область (рис.15).

Критическую область можно определить так же через значение X_k , если в формуле (30) принять $Z = Z_\alpha$ и решать её относительно \bar{x} . Тогда критическое значение x_k будет равно

$$X_k = \mu + \sqrt{\frac{\sigma}{n}} Z_\alpha \quad (30.1)$$

Для рассматриваемого случая $X_k = 20,49$ л/100 км, то есть больше, чем выборочное среднее $\bar{x} = 20,45$ л/100 км. Следовательно и по этому критерию гипотеза $H_0: \mu = 20$ л/100 км не отвергается.

Вычислительная процедура, приведенная выше, может применяться для проверки различных статистических гипотез. Конечно, в каждом конкретном случае характер задачи подскажет, какой критерий следует применить для проверки гипотез.

Если в результате проверки гипотезы она не отвергается, так как полученные результаты опытов ей не противоречат, это не означает, что гипотеза доказана. Смысл опровержения или принятия статистической гипотезы заключается в том, что решение принято с определенной

степенью достоверности, а это не исключает возможности ошибки в оценке результатов опытов.

Статистический подход, о котором говорилось в п.1 этого раздела, не обеспечивает, да и не может обеспечить абсолютно достоверных суждений или категорических решений, так как приходится иметь дело со случайными величинами и их распределениями, то есть с понятием вероятности. В то же время статистический подход в научном исследовании позволяет количественно исследовать массовые явления и принимать весьма целесообразные решения в условиях, как говорят, большой неопределенности. И не только в исследовании. В настоящее время, статистическая обработка данных, умение пользоваться статистическими сведениями в практической работе, необходимы каждому инженеру и, особенно, на автомобильном транспорте.

Раздел IV. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ.

1. Вводные замечания.

Великий русский химик Д.И. Менделеев говорил, что наука начинается с измерений. Действительно, невозможно себе представить научное исследование в технике, которое не сопровождалось бы определением той или иной величины. Исследователю приходится измерять и длину, и вес, и количество, и электрическое напряжение, и емкость, и десятки, если не сотни других величин самой различной физической природы. Численные величины, полученные в результате измерений, позволяют установить не только качественное, но и количественное отношение, характеризующее связь между исследуемыми явлениями или закономерность развития исследуемого процесса.

Измерение это процесс сравнения путем специального физического эксперимента данной величины, подлежащей определению с некоторым её значением, принятым за единицу:

Если измеряемая величина обозначена - A , а единица измерения - a , то числовой результат измерения n будет равен $N = A : a$.

Измеряемая величина, называемая так же переменной, может быть независимой, зависимой и внешней. Независимая переменная может изменяться по воле исследователя и независимо от других величин. Например угол открытия дроссельной заслонки карбюратора при испытании двигателя.

Зависимая переменная, это физическая величина, которая изменяется при изменении независимых переменных, например, скорость движения автомобиля при изменении угла открытия дроссельной заслонки или при переключении передач в коробке передач.

Внешняя переменная - это физическая величина, оказывающая влияние на результаты эксперимента, но неконтролируемая исследователем, например, скорость встречного ветра при определении скорости движения автомобиля.

Измерение независимых, зависимых и внешних

переменных при экспериментальном исследовании машин (автомобилей) и механизмов выполняется с помощью мерительного инструмента (линейки, щупы, штангенциркуля и т.п.), Приборов измерительной аппаратуры, как переносной, так и стационарной. К первой относятся индикаторы, осциллограф и т.п.

К стационарной относятся всякого рода стенды и другое лабораторное оборудование, например, для испытания автомобиля.

По физической основе приборы и измерительная аппаратура может быть классифицирована следующим образом:

- механические, например, пружинные динамометры, механические десселерометры (измерители ускорений), штанген-инструменты и т.п.

- оптические, например, измерительные микроскопы, динамометры, интерферометры, спектрометры и др.

- пневматические, например, пневмомикрометры и др.

- гидравлические, типа маслянных мессдоз, манометрических трубок.

- акустические, типа шумомеров и звукоанализаторов.

- электрические, практически все типы современных измерительных приборов.

- специальные, использующие некоторые физические эффекты при измерениях, например, радио-изотопные методы, методы лаков и пленок, фотоупругости и некоторые другие.

Неэлектрические методы измерения (механические и др) в настоящее время применяются, главным образом, для измерения в статике или при медленно изменяющихся процессах, например, температура подкапотного пространства. Измерение быстро протекающих процессов, вплоть до ударных, возможно лишь при применении электрических методов. С их помощью возможно измерение практически любых механических, тепловых, акустических и др. параметров автомобилей и их агрегатов и систем, а также технологического оборудования в автотранспортных предприятиях и на АРЗ.

2. Основные измеряемые величины.

Научные исследования, проводимые в области эксплуатации автомобильного транспорта отличаются значительным разнообразием, поэтому измеряемые величины так же весьма разнообразны. Так, например, при исследованиях надежности автомобилей приходится измерять износ деталей, то есть их линейные размеры и веса: при исследовании в области технической диагностики измерения могут относиться к кинематике движения отдельных узлов: перемещения, скорости и ускорения кинематических пар, а также к динамике: величины усилий в отдельных узлах, напряжения, давления и т.д. Исследования в области технического обслуживания чаще всего связаны с измерением времени (хронометраж), расходом эксплуатационных материалов (воды, топлива, смазки) и рядом других измерений.

Некоторое представление об основных физических величинах, подлежащих измерению при проведении научных исследований в области техники, дает таблица 13.

Таблица 13.

Основные измеряемые величины при научных исследованиях.

Изменяемые величины	Характерные примеры измерений
Геометрические	Размеры и деформации деталей автомобиля и технического оборудования. Зазоры в клапанах, свечах и др. Объемы баков и цистерн, рабочих цилиндров, объемы жидкостей.
1. Линейные размеры	Углы поворота колес, рулевых тяг. Углы подъема, углы поворота автомобиля, углы между продольными осями дышла и прицепа.
2. Объемы	Амплитуды колебаний колес, рамы, поддрессоренных и неподдрессоренных масс автомобиля.
3. Углы	Амплитуды вибрации двигателя
4. Перемещения -линейные -угловые	
5. Амплитуды колебаний (вибраций)	

<p>Кинематические</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Скорости движения <ul style="list-style-type: none"> -линейные -угловые 2. Ускорения <ul style="list-style-type: none"> -линейные -угловые 3. Частоты вращения 4. Частоты колебаний (вибраций) 	<p>Скорости движения автомобиля, скорости перемещения (линейные и угловые) рычагов и тяг; угловые скорости поворота рулевого колеса, управляемых колес автомобиля. Скорость движения конвейера, транспортной ленты и др.</p> <p>Ускорения автомобиля при разгоне и замедления при торможении. Ускорения колебаний и вибрации (линейные и угловые) колес, поддресоренных масс автомобиля. Угловые ускорения валов.</p> <p>Частота вращения валов двигателя и трансмиссии автомобиля. Частота вращения колес автомобиля. Частоты вращения электродвигателей технологического оборудования.</p> <p>Частоты колебаний и вибрации масс и валов.</p>
<p>Динамические</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Массы 2. Расходы <ul style="list-style-type: none"> - жидкости - газов 3. Силы (усилия) 4. Напряжения 5. Давления 6. Моменты сил 7. Работа 8. Мощности 	<p>Взвешивания автомобилей, прицепов, агрегатов, деталей и т.п.</p> <p>Расходы топлива (объемные и мгновенные) расходы воздуха при испытании двигателя, при испытании пневмоподъемника, в пневмоприводе тормозов. Производительность компрессоров.</p> <p>Усилия в различных тягах, на крюке автомобиля. Усилия в гидро- и пневмоподъемниках. Реакции вертикальные и горизонтальные на колесах автомобиля при разных режимах движения.</p> <p>Напряжение в отдельных точках конструкций, например, в рамках, кузовах, на валах и т.д.</p> <p>Давление в системах пневмо- и гидроприводов тормозов, в гидроцилиндрах подъемников.</p>

Разрежения во впускном трубопроводе.

Моменты на коленчатом валу двигателя, валах трансмиссии автомобиля, полуосях. Реактивные моменты в подвеске. Моменты затяжки креплений.

Величина работы подъема, трения, сопротивлений.

Мощности на коленчатом валу двигателя, валах трансмиссии, мощности электромоторов технологического оборудования и др.

Другие величины

1. Время
2. температура
3. цвета
4. Освещенность и сила света
5. Акустические сигналы
6. Параметры структурных свойств
7. Параметры химических свойств
8. Излучения

Время движения, разгона и торможения автомобиля. Время срабатывания тормозного привода, механизмов подъема кузова и др.

Температуры охлаждающей воды, масла в картерах.

Цвета

Сила света фар. Освещенность рабочего места, яркость свечения дорожных сигналов и др.

Шум в помещении. Стуки и шумы в отдельных автомобилях.

Определение твердости материалов. Жесткость воды.

Измерение вязкости масел, дизельного топлива. Анализ концентрации продуктов износа в картерном масле.

Плотность электролита.

Анализ выхлопных газов. Состав нагара. Примеси в масле. Анализ конденсата в тормозной системе и т.д. Радиометрические измерения при использовании активных радиозотопов.

Диапазоны (пределы) измеряемых величин чрезвычайно широки. Например, линейные размеры могут меняться от микронов при измерении износов деталей до десятков и сотен метров при изучении тормозных путей автомобилей или путей их разгона. Давления приходится измерять от 400-500 мм рт. Столба. При исследованиях системы питания (карбюраторов) двигателей до 200 кг/см² при изучении тормозных гидравлических приводов автомобилей.

Такие широкие пределы измеряемых величин предъявляют особые требования к измерительной аппаратуре. Одни и те же параметры, например, температура в одних случаях приходится измерять высоко чувствительными термопарами, в других - обычными ртутными термометрами. Величину износа детали измеряют на весьма точном измерительном микроскопе, а путь торможения или путь выбега автомобиля - металлической мерительной лентой, которая может дать ошибку в один, полтора сантиметра.

Поэтому одной из самых важных проблем правильной постановки эксперимента, это выбор соответствующей измерительной аппаратуры, наиболее целесообразным образом подходящей для исследуемых параметров.

3. Общие характеристики измерительной аппаратуры.

Эксперимент в целом может быть представлен в виде сложной системы, созданной для того, чтобы давать ответы на задаваемые вопросы (рис. 16). Эта система включает в себя не только материальное оборудование (объект исследования, установку или стенд и измерительную аппаратуру), но и такие нематериальные элементы, как комплекс подготовительных операций к эксперименту, план эксперимента, данные (необработанные) эксперимента, их обработку и анализ.



Рис. 16. Экспериментальное исследование как сложная система.

Если эксперимент проводится в натуральных (производственных) условиях или заключается в пассивном наблюдении, то материальное оборудование состоит лишь из объекта исследования (автомобиля, технологического оборудования и т.п.) и измерительной аппаратуры. Если же проводится лабораторный эксперимент, то объект эксперимента, как правило, устанавливается на специальный стенд (установка). Например, автомобиль устанавливается на роликовый или барабанный стенд (рис.17, а), коробка передач на испытательный электростенд (рис. 17,б) и т.д.

Диапазоны (пределы) измеряемых величин чрезвычайно широки. Например, линейные размеры могут меняться от микронов при измерении износов деталей до десятков и сотен метров при изучении тормозных путей автомобилей или путей их разгона. Давления приходится измерять от 400-500 мм рт. Столба При исследованиях системы питания (карбюраторов) двигателей до 200 кг/см² при изучении тормозных гидравлических приводов автомобилей.

Такие широкие пределы измеряемых величин предъявляют особые требования к измерительной аппаратуре. Одни и те же параметры, например, температура в одних случаях приходится измерять высоко чувствительными термопарами, в других - обычными ртутными термометрами. Величину износа детали измеряют на весьма точном измерительном микроскопе, а путь торможения или путь выбега автомобиля - металлической мерительной лентой, которая может дать ошибку в один, полтора сантиметра.

Поэтому одной из самых важных проблем правильной постановки эксперимента, это выбор соответствующей измерительной аппаратуры, наиболее целесообразным образом подходящей для исследуемых параметров.

3. Общие характеристики измерительной аппаратуры.

Эксперимент в целом может быть представлен в виде сложной системы, созданной для того, чтобы давать ответы на задаваемые вопросы (рис.16). Эта система включает в себя не только материальное оборудование (объект исследования, установку или стенд и измерительную аппаратуру), но и такие нематериальные элементы, как комплекс подготовительных операций к эксперименту, план эксперимента, данные (необработанные) эксперимента, их обработку и анализ.

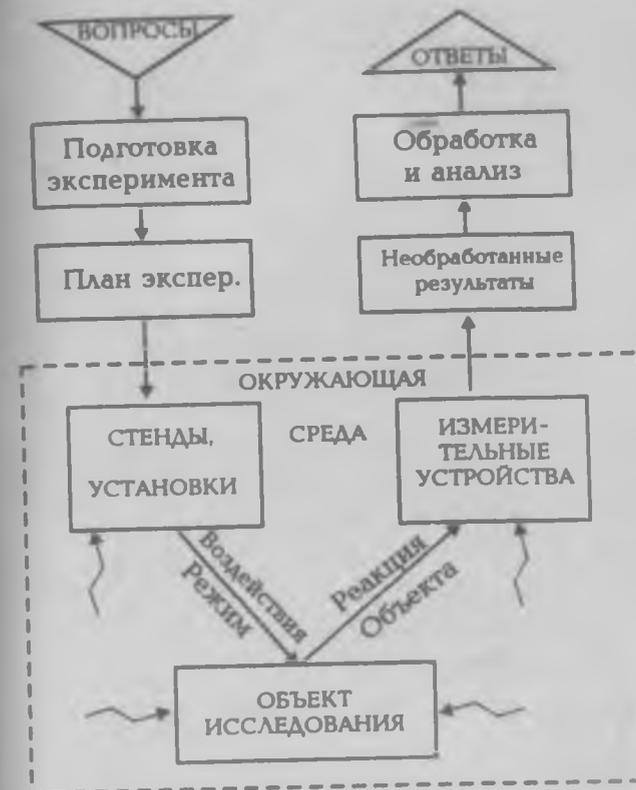


Рис. 16. Экспериментальное исследование как сложная система.

Если эксперимент проводится в натуральных (производственных) условиях или заключается в пассивном наблюдении, то материальное оборудование состоит лишь из объекта исследования (автомобиля, технологического оборудования и т.п.) и измерительной аппаратуры. Если же проводится лабораторный эксперимент, то объект эксперимента, как правило, устанавливается на специальный стенд (установка). Например, автомобиль устанавливается на роликовый или барабанный стенд (рис.17, а), коробка передач на испытательный электростенд (рис. 17,б) и т.д.

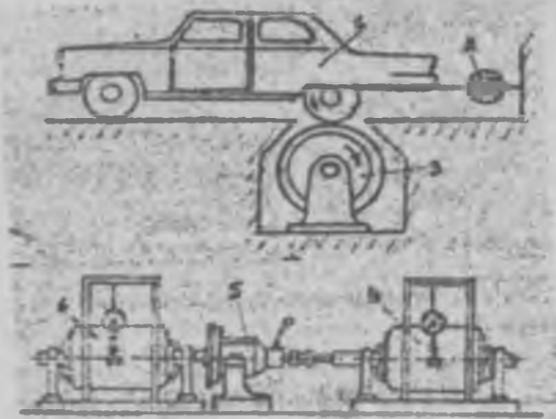


Рис. 17. Лабораторные установки: а - схема барабанного стенда, б - схема стенда для испытания коробок передач.

1 - испытуемый автомобиль,
 2 - тяговый динамометр,
 3 - беговые барабаны,
 4 - балансирующий электротормоз,
 5 - испытуемая коробка передач,
 6 - балансирующий электродвигатель

Исследовательские или испытательные стенды являются имитаторами, стимуляторами или регуляторами режима, на котором исследуется объект. Стенд - имитатор (от лат. - подражание) поддерживает заданный режим работы объекта. Например, барабанный стенд для исследования автомобиля может поддерживать постоянный или переменный (по программе) скоростной и нагрузочный режим движения автомобиля.

Стенд - стимулятор (от лат. - побуждать к действию) дает как бы толчок для работы объекта. Например, для исследования подвески автомобиля имеется стенд, который сбрасывает переднюю или заднюю оси с некоторой высоты, а затем специальные приборы записывают колебания подвески.

Стенд - регулятор - позволяет изменять в заданных пределах режим работы объекта, переходить от одного режима к другому. Например, стенд для испытания двигателей с тормозной установкой позволяет проводить испытание при различной частоте вращения коленчатого вала и при разном

степени нагрузки.

Исследуемые параметры объекта фиксируются измерительной аппаратурой, в основном, построенной на принципе преобразования измеряемой величины в электрический сигнал.

Представим себе измерение расхода топлива по понижению его уровня в баке (рис.18). Измеряемой величиной является высота h уровня, которая воспринимается поплавком 1, укрепленном на рычажной передаче 2. Изменение величины h вызывает перемещение движка реостата 3 и изменение (удлинение или ускорение) длины l его ветви, включенной в электрическую цепь 6. Реостат с равномерной намоткой (реостатный преобразователь) дает однозначную зависимость сопротивления R или $R=f(l)$. Электрическая цепь при условии постоянств всех её электрических параметров кроме сопротивления реостата, обеспечивает однозначную зависимость тока I от сопротивления R . Поэтому шкала электроизмерительного прибора 5 (обратный преобразователь) градуируется непосредственно в значениях величины уровня h . Структура или блок - схема данного измерения показаны на рис. 18.б. Таким образом, структура подавляющего большинства электрических приборов для измерения неэлектрических величин включает датчик, регистратор или измерительное устройство с источником питания и, при необходимости усиления первичного сигнала - усилитель.



Рис. 18. Схема преобразования измеряемых параметров

Преобразователь - устройство воспринимающее измеряемую величину (давление, деформацию и т.п.) и преобразующее её в величину, удобную для передачи по линиям связи, усиления, измерения или регистрации электрическими средствами.

Датчик - более общее понятие нежели преобразователь. Датчик - это конструктивно завершённый преобразователь, предназначенный для измерения вполне определенной величины (датчик давления) независимо от принципа преобразования. Часто в названии датчика указывается принцип преобразования, например, "тензометрический датчик напряжений".

Усилитель - промежуточный элемент измерительной аппаратуры, как показывает само его название, предназначен для усиления сигнала, поступающего от датчика. Если величина этого сигнала достаточно велика, например, у тахогенератора, то усилитель может в схеме отсутствовать.

Регистратор или измерительное устройство служит для фиксирования величины напряжения или тока, в которую преобразованы неэлектрические измеряемые величины.

В качестве измерительного устройства обычно используются так называемые, показывающие приборы, стрелочные или цифровые, например, вольтметры, а в качестве регистраторов - самописцы перьевые, катодные и шлейфные (выборочные) осциллографы или магнитные регистраторы. Следует отметить, что преобразователи в измерительной аппаратуре, наиболее существенный элемент, от правильного выбора и использования которого во многом зависит "судьба" проводимого эксперимента.

По принципу работы известны два основных типа преобразователей: активные или генераторные и пассивные или параметрические.

Активные преобразователи. Механическая измеряемая величина непосредственно преобразуется в электрический сигнал, который генерируется с соответствующим напряжением или частотой, вследствие чего активный преобразователь не требует питания.

Пассивные преобразователи. Механическая измеряемая величина изменяет параметры электрической схемы (емкость, сопротивление и т.п.). Пассивный преобразователь требует для себя источника питания.

Преобразование механической величины в электрический сигнал не всегда удается осуществить непосредственно, иногда требуется промежуточное преобразование. Например, в тензометрических преобразованиях (пассивный тип) измеряемая механическая величина (например, усилие) преобразуется в деформацию упругого элемента, а последняя уже изменяет электрическое сопротивление тензометрического преобразователя.

К наиболее распространенным пассивным преобразователям относятся многочисленные резистивные преобразователи: контактные, реостатные, тензорезисторы, емкостные преобразователи, а также многие электромагнитные преобразователи.

К активным преобразователям относятся пьезоэлектрические и индукционные преобразователи, в том числе тахогенераторы.

Одна и та же механическая или неэлектрическая величина может дать измерение с использованием датчиков, имеющих различный принцип преобразования.

К датчикам предъявляются технико-экономические требования, во многом зависящие от конкретных условий их применения. К основным относятся:

- определенность и однозначность зависимости (по возможности линейной) между входной измеряемой величиной и выходной величиной сигнала, т.е. отсутствие гистерезиса (рис.19);

- высокая чувствительность к изменениям измеряемой величины, то есть возможно большая величина отношения изменения выходной величины к вызвавшему это изменение изменению входной измеряемой величины (рис.19), то есть

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \text{ или } S = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta X/X}$$



Рис. 19. К понятию чувствительности преобразователя (датчика).

- Низкий порог чувствительности, то есть минимальное изменение измеряемой величины, вызывающее изменение выходного сигнала;

- Минимальное обратное воздействие датчика на измеряемую величину;

- Стабильность характеристик датчика во времени и при изменении условий внешней среды (температуры, влажности и т.д.);

- Устойчивость к внешним воздействиям (механическим вибрация, химическим и др.).

4. Преобразователи и датчики для измерения неэлектрических величин.

А. Резистивные преобразователи преобразуют изменения неэлектрических величин в изменение сопротивления в электрической цепи прибора. Простейшим подтипом резисторных преобразователей является реостатный или реохордный преобразователь.

В реостатном (реохордном) преобразователе движок перемещается в точном соответствии с изменением значения измеряемой неэлектрической величины, изменяя сопротивления в цепи по линейному или некоторому другому закону перемещения движка (см. Рис.18).

Движок 1 реостатного преобразователя перемещается по виткам 2 обычно константовой проволоки, плотно намотанной на каркас 3 (рис.20,а). В реохорде движок 1 перемещается по натянутой проволоке 4 (рис. 20,б).

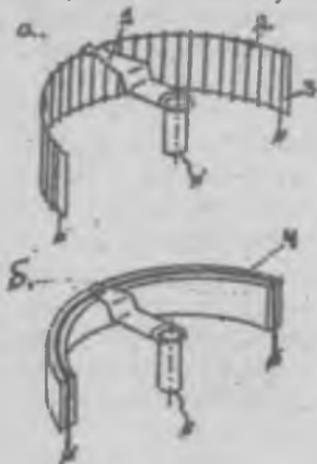


Рис. 20, Схемы реостатного (а) и реохордного (б) преобразователей.

Включая реостатный преобразователь в мостовую схему (рис.21), что обеспечивает линейную зависимость тока от перемещения движка.

Реостатные преобразователи и реохорды чаще всего применяются для измерения углов поворота, например, дышла прицепа по отношению к продольной его оси, или поворота управляемых колес автомобиля. Однако, реостатные преобразователи в сочетании с механическими передачами могут использоваться для измерения уровня жидкости (см.рис.18).

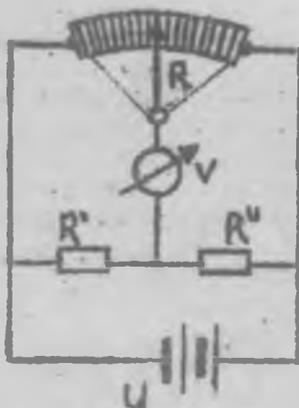


Рис.21. Мостовая схема включения реостатного преобразователя.

Реостатные преобразователи используются в датчиках ускорений, схема которого представлена на рис. 22. Движок D реостатного датчика укреплен на массе m , подвешенной на плоских пружинах C и перемещается по реостату R при колебаниях или отклонениях массы m от нулевого положения. В качестве резисторных преобразователей с весьма широким диапазоном применения, имеют большое распространение тензорезисторы, тензосопротивления или тензометры сопротивления. Эти преобразователи изменяют свое сопротивление при их деформации (растяжении и сжатии). Благодаря малым размерам и весу и чрезвычайному удобству монтажа, почти не нарушая конструкции исследуемого объекта, тензорезисторы имеют широчайшее распространение.

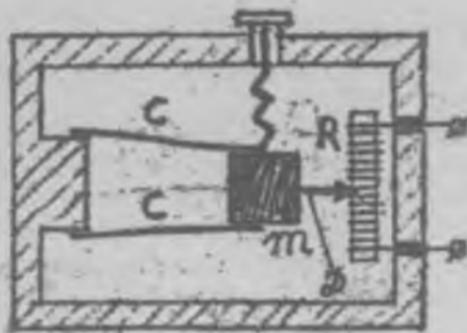


Рис. 22. Датчик ускорений с реостатным преобразователем.

Тензорезисторы бывают проволочные и фольговые.

Проволочные тензорезисторы представляют собою плоскую проволочную спираль (решетку), состоящую из нескольких петель (витков, наклеенную на тонкую бумажную или лаковую (пленочную) основу. Сверху решетка так же защищена бумагой или пленкой (рис. 23). Проволочные тензорезисторы с номинальным сопротивлением от 50 до 500 ом и с базой (длиной решетки) от 5 до 30 мм. Максимальная относительная деформация не должно превышать 0,3% в пределах упругой деформации. Наиболее употребительным материалом для изготовления тензорешетки является константановая проволока диаметром 20-30 мкм.

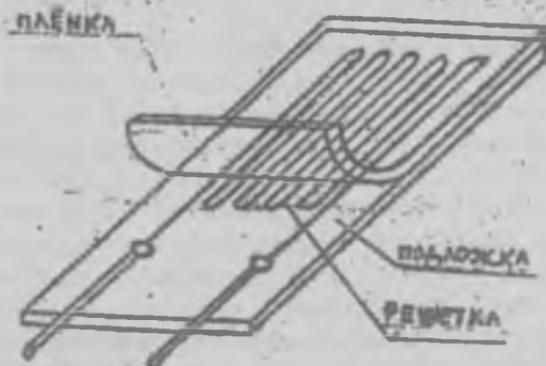


Рис. 23. Проволочный тензорезистор.

Фольговые тензорезисторы имеют решетку, выполненную не из проволоки, а из тонких полосок фольги прямоугольного сечения (4-12 мкм), наклеенных на лаковую основу. Существенных преимуществ фольговых тензорезисторов перед проволочными два:

- увеличенная сила рабочего тока - до 0,2, а вместо 30 мм, что резко повышает их чувствительность,
- возможность изготовления тензорешеток любой формы и рисунка (рис.24), что упрощает их монтаж и позволяет лучше приспособиться к различным условиям измерений.

Тензорезисторы наклеиваются на деформируемую в процессе эксперимента деталь, например, на полуось, в которой измеряется величина крутящего момента или на раму автомобиля, если необходимо изучить напряжения в ней. Правильная работа тензорезисторов в очень большой степени зависит от клея и качества их наклейки. Приклеиваемые тензосопротивления представляют собою преобразователь одноразового использования.



Рис. 24. Примерные формы фольговых тензорезисторов для измерения: а - напряжений сжатия и растяжения; б - давления на мембраны и диафрагмы; в - напряжения кручения.

Область применения тензосопротивлений весьма широка. Непосредственно тензорезисторы позволяют измерять напряжения и деформации в различных узлах автомобиля технологического оборудования и строительных конструкциях. Тензорезисторы применяются в датчиках давления (рис.25), представляющих трубку с утолщенным дном.

На металлическую трубку (стакан) наклеивается два тензорезистора: R_1 - рабочий и R_2 - для температурной коррозии. Оба тензорезистора - намотанная тензочувствительная проволока - реагируют на увеличение давления в стакане, так как происходит его упругая деформация, растягивающая проволоку.

Для измерения крутящего момента используют скручивающие деформации и напряжение самого вала, на который наклеивают тензорезисторы в виде розетки (рис.26) или используют фольговую преобразователь типа, показанного на рис. 24 в.

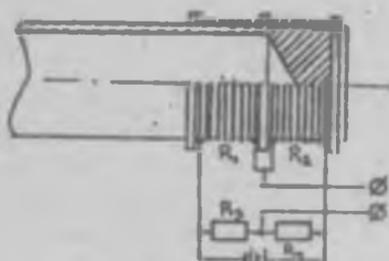


Рис. 25. Проволочный тензорезистор в датчике давления.

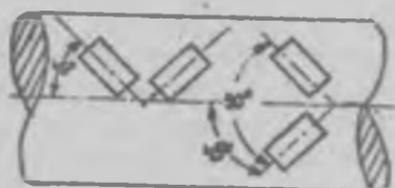


Рис. 26. Тензорезистор для измерения напряжения кручения.

К резисторным преобразователям относятся так же контактные преобразователи, у которых измеряемая величина (чаще всего механическое перемещение) преобразуется в замкнутое или разомкнутое состояние контактов, управляющих электрической цепью измерительного устройства. Обычно замыкание контактов изменяет сопротивление в цепи (рис.27) скачками, то есть измерение проводится дискретно. Широко применяется контактный преобразователь для измерения числа оборотов колес, валов и др. Вращающихся деталей. Для этого используется датчик по схеме рис. 27 а.

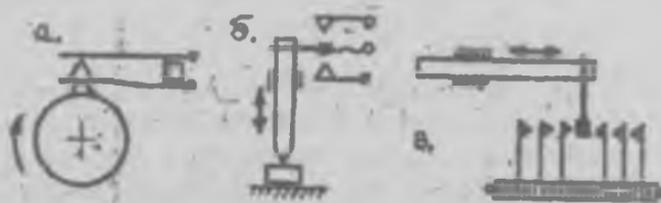


Рис. 27. Контактные преобразователи: а - для измерения частоты вращения вала; б - двухпредельный; в - многопредельный.

Б. Емкостные преобразователи представляют собой конденсатор, емкость которого изменяется под действием измеряемой неэлектрической величины. Так как емкость конденсатора зависит от расстояния между обкладками, площади обкладок и диэлектрической проницаемости среды между обкладками, то возможны измерения перемещений, давлений, толщины (изменения зазора), углов поворота (измерение площади обкладок), уровней жидкостей (изменение диэлектрической постоянной).

Однако, применение датчиков с емкостным преобразователем требует весьма значительной точности его установки, тщательной экранировки, постоянства температурного режима, что конечно сужает область их применения.

В. Фотоэлектрические преобразователи, в которых используется фотоэффект, заключающийся в том, что величина выходного сигнала изменяется в зависимости от величины светового потока, падающего на преобразователь.

Датчики с фотоэлектрическим преобразователем, коротко называемые фотоэлементами, обычно применяются полупроводниковыми. Полупроводники, например, селенид кадмия обладает так называемым внутренним фотоэффектом и под действием светового потока меняют свое сопротивление; Поэтому их часто именуют фотосопротивлениями (фоторезисторами).

В настоящее время наиболее распространены фотосопротивления типа ФСК (сернисто-кадмиевые), обладающие высокой чувствительностью и во многих случаях их использование не требует усилителей. ФСК имеют практически неограниченный срок службы и очень стабильны в эксплуатации.

Область применения фоторезисторов достаточно широка, их используют в качестве измерителей частоты вращения (тахометров), объемных и тахометрических расходов топлива, измерителей концентрации и мутности растворов (нафелометры) и т.д. измерений.

В качестве примера на рис. 28 представлена принципиальная схема расходомера с фотоэлектрическим преобразователем. В бензопровод между топливным насосом или карбюратором включается корпус 1 расходомера. Внутри расположены две легкие крыльчатки 2, которые поток топлива вращает на опорах 5. Осветитель в виде лампочки 4 через линзу

3 освещает фоторезистор 7, расположенный на оптической оси осветителя. Между ним вращается флажок 6, который дважды за один оборот крыльчаток перекрывает луч света от осветителя. Таким образом, в электрической цепи, в которую включен фоторезистор возбуждаются импульсы тока, количество которых пропорционально частоте вращения крыльчаток. Последняя же зависит от масс топлива проходящего через корпус расходомера в единицу времени.

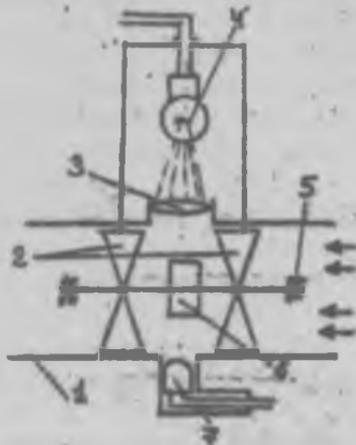


Рис.28.Схема расходомера топлива с фотоэлектрическим преобразователем.

Г. Пьезоэлектрические преобразователи построены на использовании пьезоэлектрического эффекта, который заключается в возникновении электрических зарядов на гранях кристалла - пьезоэлектрика при появлении напряжения в его материале вследствие действия механической силы.

В качестве пьезоэлектрика применяются кристаллы кварца, из которых вырезается параллелепипед с гранями параллельными главным осям кристалла: оптической - z (рис. 29,а), электрической - х и механической - у. При сжатии или растяжении вдоль оси х возникает так называемый продольный пьезоэффект, вдоль оси у - поперечный пьезоэффект. Упругая деформация вдоль оптической оси z эффекта не вызывает.

Пьезоэлектрические преобразователи используются исключительно в высокочастотных датчиках динамических процессов, их использование для измерения статических сил полностью исключено. Это обстоятельство объясняется тем,

что в реальных условиях происходит утечка заряда с пьезоэлемента и при действии постоянной силы эта утечка происходит тем быстрее, чем меньше сопротивление изоляции. При высокой частоте исследуемого процесса заряд пьезоэлемента не успевает стекать с его граней и входное сопротивление измерительной цепи может быть относительно большим, порядка 1000 мегаом при частоте более 10 гц.

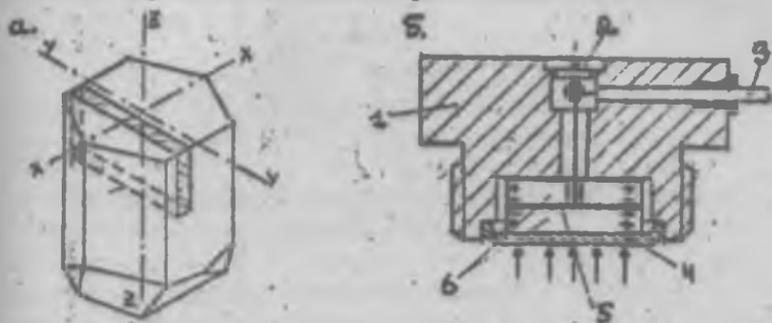


Рис. 29. Пьезоэлектрические преобразователи: а - пьезоэлектрик (кристалл кварца), б - датчик давления в виде пробки.

Схема датчика давления с пьезокварцевым преобразователем показана на рис. 29,б. Давление на мембрану 4 передается двум параллельно включенным кварцевым пластинкам 6, заряды от которых передаются латунной фольгой 5 на кабель 3, заключенный в корпусе 1. Пробка 2 - для удобства припайки фольги к кабелю.

Д. Индукционные преобразователи. В этом типе активных преобразователей используется явление индуктирования электродвижущей силы в электрическом контуре при пересечении им магнитного поля. Фактически используется тот же эффект электромагнитной индукции, что и в электрогенераторах, поэтому датчики для измерения частоты вращения валов, колес и т.д. с индукционным преобразователем называются тахогенераторами (рис.30).

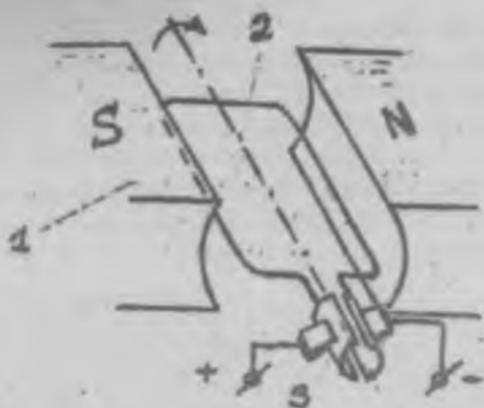


Рис. 30. Схема индукционного преобразователя (тахогенератор).

В магнитном поле постоянного магнита 1, вращается рамка 2, связанная с валом, частоту вращения которого необходимо измерить. Наведенная в рамке э.д.с. Имеется линейная зависимость.

Индукционные преобразователи могут быть использованы так же в датчиках линейных скоростей малых перемещений (например, клапанов двигателя) или вибраций (виброметры и вибрографы).

Е. Термоэлектрические преобразователи относятся к тепловым преобразователям, в которых используется эффект термоэлектричества. Суть этого эффекта заключается в том, что при соединении двух проводников из различных материалов (рис. 31, а) и нагревании масс спая, по проводникам будет течь электрический ток, появится термоэлектродвижущая сила.

Проводники, из которых состоит преобразователь, изготавливаются из следующих материалов: для измерения температур до 500°C - медь-копаль; для температур не более 1250°C - из хромель-алюмеля (наиболее распространенная пара); для температур до 1600°C из благородных металлов на основе платины (платинородий-платина); при измерении температур свыше 1600°C - термоэлектроды делаются из тугоплавких металлов, обычно вольфрам-молибден.

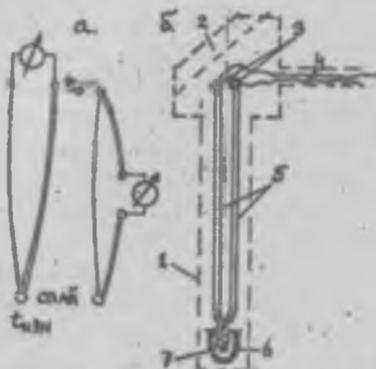


Рис. 31. Термоэлектрический преобразователь: а - схема получения термоэлектрического эффекта, б - термопара: 1- защитный корпус, 2- крышка, 3-контакты, 4- привод, 5- проводник, 6-спай, 7 - защитный колпачок.

В целом, датчик температур с термоэлектрическим преобразователем называется термопарой (рис. 31,б) и применяется для измерения температур, величина которых изменяется весьма медленно, например, масла в картерах двигателя и других агрегатов автомобиля в процессе эксплуатации.

Для измерения температур поверхностей, например, наружной поверхности головки блока, применяют те же термопары, но без защитного корпуса 1.

Выше рассмотрены наиболее "ходовые" типы преобразователей и датчиков, применяемых при научных исследованиях в области автомобильного транспорта. Количество разнообразных типов преобразователей и области их применения расширяются буквально с каждым днем и во многом зависят от изобретательности исследователя.

5. Измерительные устройства.

Электрические сигналы вырабатываемые, рассмотренными выше датчиками, подаются на измерительное устройство, которое предназначено для численной оценки результатов измерения исследуемой величины.

Выбор измерительных устройств зависит от характера

измеряемой величины и скорости её измерения во времени. Эта скорость определяет требования к быстродействию измерительного устройства. Так, например, при измерении среднего значения исследуемой величины или вообще медленно изменяющегося во времени процесса, выбирается измерительное устройство с малым быстродействием. Наоборот, при измерении мгновенных значений быстропеременного процесса надо выбирать измерительное устройство с большим быстродействием.

По способу снятия отчета измеряемой величины, измерительные устройства разделяются на две группы:

- **визуальные указатели**, то есть приборы, имеющие стрелочное (шкальное), оптическое (экран, табло) или цифровое отчетное устройство. Визуальные указатели применяются для статистических или медленно изменяющихся измеряемых величин, главным образом, в лабораторных условиях или при исследованиях явления на постоянных режимах. Например, при получении характеристик двигателя на постоянных оборотах коленчатого вала.

Как правило, результат большинства измерений должен быть представлен в виде чисел (в цифровом виде), которые получают при последовательных отсчетах со шкал указательных приборов через определенные промежутки времени. При этом вносится некоторая ошибка и затрачивается относительно большое время. Некоторыми преимуществами обладают цифровые указатели, так как они автоматически выдают числовое значение измеряемой величины.

- **Регистраторы** или регистрирующая аппаратура для регистрации и фиксации (записи) быстро изменяющихся во времени величин, когда на носителе (фото-киноплёнка, фотобумага и т.п.) Записываются все мгновенные значения непрерывного процесса.

Обычно при научном исследовании замеряются одновременно несколько величин, иногда даже различной физической природы. Такая синхронная регистрация нескольких измеряемых величин осуществляется с помощью многоканальных регистраторов.

Тип измерительного устройства во многом зависит от мощности сигнала, вырабатываемого датчиком. С этой точки зрения преобразователи следует разделить на три группы:

- мощные преобразователи (десятки милливольт) - контактные, реостатные и реохордные, тахогенераторы, термодары, индукционные и индуктивные преобразователи.

Указанные преобразователи (за исключением применения особо малогабаритных датчиков) могут работать без усилителей в измерительной цепи.

- маломощные преобразователи (десятки микроватт) - тензорезисторы проволочные, емкостные, фотосопротивление. При применении этих преобразователей необходимо включение в измерительную цепь усилителей;

- преобразователи, требующие измерительные устройства с весьма большим входным сопротивлением. К этим преобразователям относятся пьезоэлектрические.

Регистрирующая аппаратура.

А. Визуальные указатели. К ним относятся магнитоэлектрические измерительные механизмы стрелочного типа, например, амперметры, вольтметры и др.. Рассматриваемые в общем курсе физики и электротехники, а также цифровые указатели, являющиеся наиболее прогрессивными в настоящее время и получающие весьма большое распространения; их преимущество - высокая точность измерения и возможность передачи результата измерений в вычислительные цифровые машины.

К цифровым указателям относятся также суммирующие цифровые электромагнитные счетчики, обеспечивающие визуальный отсчет. Наиболее характерным примером применения этих счетчиков является статистическое исследование режимов работы автомобиля в определенных условиях эксплуатации. С этой целью используются электроконтактные преобразователи (см.рис. 27) вместе с комплектом электромагнитных счетчиков импульсов тока. Последние дают количественные данные о числе включений той или иной передачи, о распределении движения автомобиля с различными скоростями, о числе поворотов рулевого колеса на те или иные углы и т.д.

Схемы получения распределений углов поворота, рулевого колеса автомобиля с помощью контактных преобразователей в комплекте со счетчиками, представлена на рис. 32. К рулевому колесу укреплен подвижный контакт 1, который скользит по неподвижным контактам 2. Количество их выбирается исходя из соображений точности распределения, но обычно 7-9 контактов для регистрации поворотов руля в обе

стороны от нейтрального положения. С неподвижными контактами электрически соединены электроимпульсные счетчики 3, которые включаются в цепь выключателем 4. Питание от аккумуляторной батареи 5.

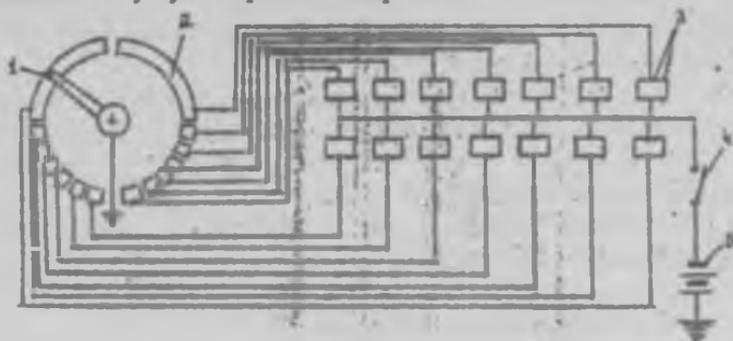


Рис. 32. Схема измерения углов поворота рулевого колеса с помощью контактных преобразователей и электроимпульсных счетчиков.

Через определенные промежутки времени (полчаса, час) или через один, два... пять км пройденного пути снимаются показания счетчиков или они фотографируются и таким образом получают готовые частоты распределения режимов поворота автомобиля, так как на каждом счетчике, соответствующем определенному углу поворота руля фиксируется число поворотов с таким углом.

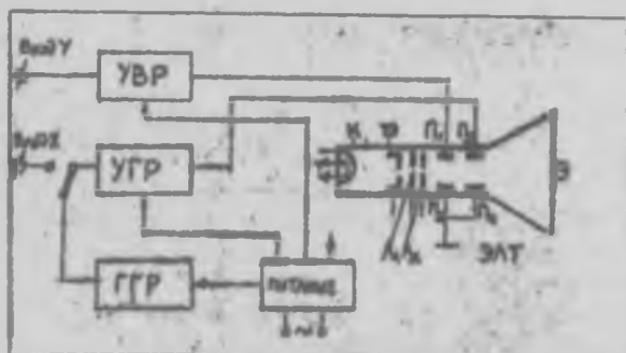


Рис. 33. Блок схема электронно-лучевого осциллографа.

Быстро протекающие периодические процессы удобно регистрировать с помощью электронного осциллографа. Упрощенная схема осциллографа представлена на рис. 33. Основным элементом является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) с экраном (Э), покрытым люминофором, то есть веществом, светящимся под ударами электронов. ЭЛТ - вакуумный баллон, внутри которого имеется катод (К), испускающий электроны, притягиваемые положительными анодами А1 и А2. Аноды фокусируют пучок электронов, дающих светящееся пятно на экране. Управляющий электрод (УЭ) регулирует яркость изображения этого пятна. Отклоняющие пластины П1, П2, П3 и П4, расположенные попарно и взаимно перпендикулярно, обеспечивают горизонтальное и вертикальное отклонение луча на экране. Напряжение, соответствующее исследуемой величине, подается от датчика через электрическую цепь на вход у осциллографа, затем через усилитель вертикальной развертки (УВР) на вертикально отклоняющие пластины П1 и П2 (отклонение по оси У), а напряжение, соответствующее изменяемому параметру на вход Х и через усилитель горизонтальной развертки (УГР) на горизонтально отклоняющие пластины П3 и П4 подается напряжение от генератора горизонтальной развертки (ГР), перемещающее луч равномерно по времени. Таким образом, исследуемая величина будет представлена на экране осциллографа в зависимости от времени.

Применение электронно-лучевого осциллографа целесообразно для наблюдения, главным образом, периодических процессов типа колебаний. Эти осциллографы могут успешно применяться и для наблюдения относительно медленно изменяющихся непериодических процессов, например, траекторий движения звеньев автомобильного поезда.

Фиксация визуального наблюдения на экране электронного осциллографа осуществляется фотографированием с экрана, либо отдельными кадрами, либо специальной приставкой типа кинокамеры.

Б. Самопишущие указатели. К этой группе указателей относятся самопишущие электроприборы (самописцы), магнитоэлектрические осциллографы и магнитографы.

Для регистрации медленно изменяющихся процессов

применяют самопишущие амперметры и вольтметры. Регистрация и запись быстротечных процессов и высокочастотных переменных, как правило, осуществляют магнитоэлектрическими осциллографами. Их называют также шлейфовыми и вибраторными осциллографами (Н-700, Н-105, К9-21 и др.). Основной частью таких осциллографов является вибратор (шлейф), который представляет собою либо проволочную петлю из тонкой металлической нити, либо любую рамку с проволочной катушкой 1 (рис. 34,а).

Петля, либо рамка, растягивается пружинными растяжками 3 и к ней подается сигнал от датчика непосредственно или через усилитель. Петля или рамка помещается в зазоре между полюсами постоянного магнита и поворачивается вследствие электромагнитной индукции, когда через нее проходит импульс тока. Так как к 1 прикреплено зеркальце 2, луч света от осветителя 1 (рис. 34,б) направленный через оптическую систему 2 на вибратор 3 отклоняется от нейтрального положения и чертит на светочувствительной фотобумаге в фотокамере 5 кривую изменения напряжения в вибраторе. Последнее пропорционально измеряемой величине. По окончании записи (одновременно можно записать до 20 величин, количество кривых зависит от числа вибраторов в осциллографе (бумага проявляется в темноте и после просушки лента осциллограммы готова для расшифровки. Методы расшифровки осциллограммы см. Раздел 5-й.

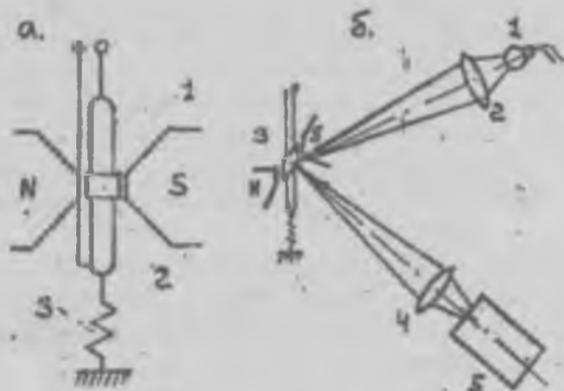


Рис. 34. Схема принципиальная магнитоэлектрического (вибраторного) осциллографа: а -рамочный вибратор, б - оптическая схема.

Вибраторы осциллографов характеризуются чувствительностью к току, которая определяется величиной ординаты, записанной на бумаге при токе в 1 ма (размерность мм/ма) и частотой собственных колебаний в герцах. Чувствительность вибратора определяет масштаб записи кривой изменения исследуемой величины. Частота собственных колебаний вибратора должна быть выше в 5-10 раз частоты исследуемого процесса и чем выше частота вибратора, тем точнее он будет воспроизводить кривую процесса.

Вибраторные осциллографы являются универсальными приборами и стали незаменимыми помощниками исследователя. В настоящее время выпускается промышленностью целая гамма осциллографов, различающихся шириной фотобумаги для зарядки и, главное, количеством вибраторов. При проведении исследований в условиях движения автомобилей вибраторные осциллографы устанавливаются в кузове с использованием виброизоляции, что обеспечивает большую надежность записи.

Пример записи на многоканальном магнитоэлектрическом осциллографе процесса изменения давлений в различных элементах тормозного привода при торможении автомобильного поезда показан на рис. 35. По мере того как в магистрали к прицепу давление падает (кривые 1 и 2), давление в тормозных камерах автомобиля (кривая 3) и прицепа 4) растёт с некоторым запаздыванием.

Падение давления в тормозном приводе: 1-автомобиль

2- прицепа

Повышение давления в тормозных камерах:

3- автомобиля

4- прицепа

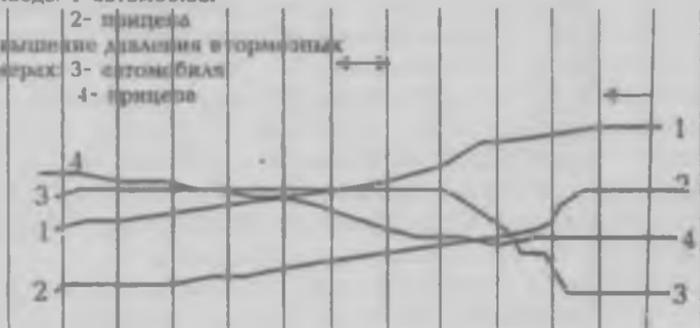


Рис. 35. Пример осциллографической записи измерения давлений в магистрали тормозного привода автопоезда.

Вибрационные осциллографы требуют четкого согласования характеристик вибратора и поступающего к нему электрического сигнала. Недопустимы перегрузки вибратора, которые выводят его из строя и несоблюдение соотношения собственных частот вибратора и первой гармонической составляющей исследуемого процесса (кратность 5 - 10).

Использование в качестве носителя информации кинопленки или фотобумаги требует химической её обработки, что связано со значительной потерей времени. Поэтому, последнее время в практику измерений внедряется применение ферромагнитной ленты. Регистраторы с её использованием именуется магнитографами, которые выполняются многоканальными. Достоинство применения магнитографов в отсутствии химического проявления записи, возможности воспроизведения записи с помощью воспроизводящего устройства или электронного осциллографа и возможность непосредственного ввода результатов измерения в ЭВМ или специальный анализатор.

Промышленный магнитограф НО36 общего назначения имеет семь дорожек для записи, четыре скорости записи и запас ленты в рулоне 750 м.

Усилители, как уже указывалось, применяются в случае использования маломощных датчиков, имеющих слабый сигнал на выходе, например, тензорезисторов проволочного типа (рис. 23).

В виду разнообразия характеристик измеряемых процессов, применяемых для исследования датчиков и регистрирующей аппаратуры, так же разнообразны схемы, принципы усиления и характеристики усилителей.

Основными требованиями к усилителям являются минимум помех, то есть наименьший порог чувствительности (см. выше), стабильность начального уровня (нуля) и постоянство коэффициента усиления. Обычно в научных исследованиях применяются усилители переменного тока с амплитудной модуляцией, так как они обеспечивают большую точность и обладают малым весом и габаритами.

Модуляция сигнала обеспечивается за счет применения для питания измерительного моста (в который включен датчик) переменного тока относительно высокой частоты. При этом на выходе моста имеется переменное напряжение, модулированное по амплитуде исследуемой переменной.

Питание измерительного моста переменным током можно применить ко всем датчикам с параметрическими преобразователями.

Модулированный сигнал усиливается до необходимого уровня и подается на фазочувствительный демодулятор (рис. 36), который выделяет не только огибающего сигнала, но и определяет полярность или фазу. Несущая частота выбирается в 5-8 раз больше, чем верхняя составляющая частоты сигнала на выходе моста. Рассматриваемая схема является основной для всех промышленных усилителей, рассчитанных для работы с тензорезисторами, емкостными и индуктивными преобразователями. Это так называемые тензостанции ЗАНЧ-7М, ТАЧ, ТУП-101 и др., имеющие от четырех до 10-ти каналов.

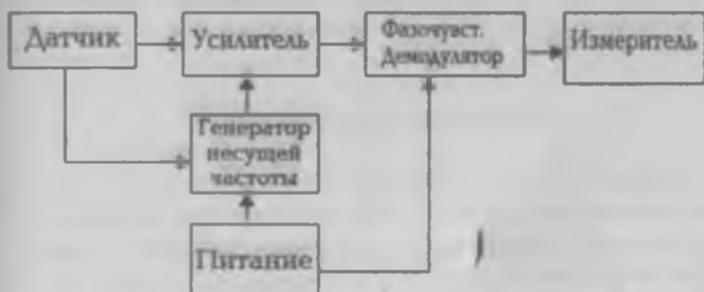


Рис. 36. Блок-схема усилителей переменного тока.

Выше описаны очень кратко лишь отдельные типичные представители многочисленных регистрирующих устройств, применяемых в технике измерений.

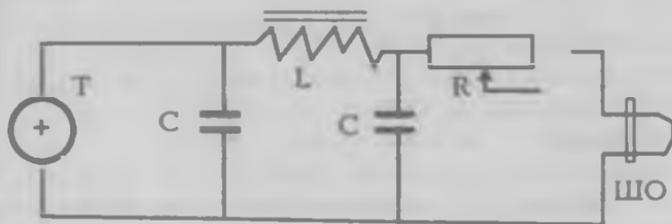


Рис. 37. Электрическая цепь от тахогенератора (Т) к шлейфу осциллографа (ШО) с LC - фильтром.

Электрическая цепь должна полностью соответствовать типу применяемых датчиков, регистрирующей аппаратуры и весьма разнообразна в зависимости от конкретных задач и условий эксперимента. Простейшая двухпроводная электрическая цепь применяется для датчиков с активным преобразователем, например, тахогенераторов. В эту цепь включают иногда лишь LC (индуктивно-емкостный) фильтр для получения более четкой записи на ленте осциллографа (рис.37). Значительно выше электрическая цепь соединяющая датчик с регистром, представляет собою сложное параллельно-последовательное соединение ряда электронных (ламповых и полупроводниковых) приборов, подбор которых, расчет параметров, схема соединений, настройка должны быть поручены специалисту, имеющему опыт эксплуатации измерительной аппаратуры.

6. Точность измерений

Надежность результатов исследований в значительной степени зависит от точности измерений. Трудно представить себе измерение совершенно лишенное ошибки, ошибки же опыта в зависимости от их величины и характера могут привести к серьезным последствиям: неясности полученных закономерностей или, что еще хуже, к неверным выводам. **Точность** есть степень соответствия результата измерения действительному значению измеряемой величины. Чем это соответствие меньше, тем значит больше ошибка измерения. Существуют три источника ошибки:

Первый источник заключен в датчике, который неправильно реагирует на измеряемую величину. Например, тензосопротивление плохо наклеено на упругий элемент и деформация его решетки не будет соответствовать деформации упругого элемента.

Второй источник - измерительное устройство, в котором возможны погрешности из-за неправильного функционирования его механических или электрических элементов.

Третий источник - сам наблюдатель или исследователь, который из-за неопытности или усталости неправильно считывает показания прибора или ошибается при обработке

осциллограммы.

Эти три источника ошибок приводят к появлению двух типов ошибок: - систематических, то есть возникающих от вполне определенных причин, главным образом, связанных с измерительным устройством (заедание, люфт то есть мертвый ход, подтекание и т.п.). Систематическая ошибка возникает как правило, в одну сторону от действительного значения измеряемой величины и появления независимо от количества последовательных отсчетов. Примером систематической ошибки может служить график на рис. 38 а, показаний тахометра.

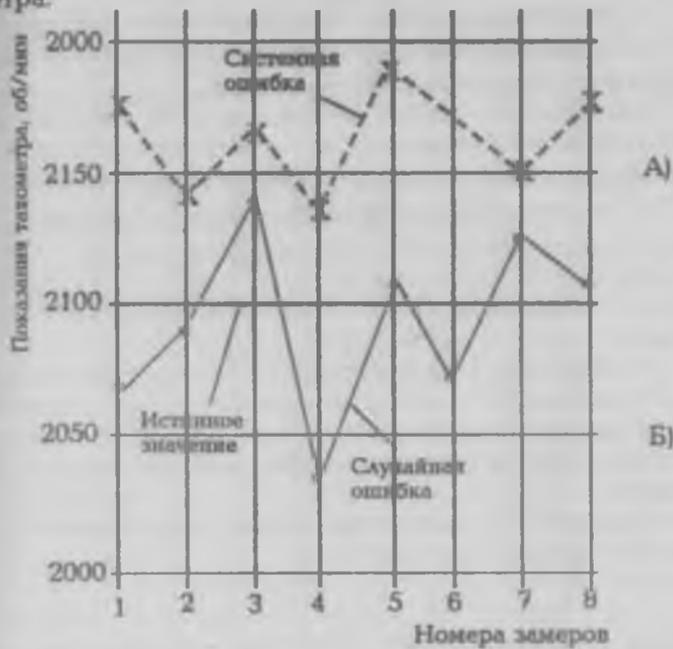


Рис. 38. Ошибки показания измерительного прибора (тахометра): а - систематическая, б - случайная.

При наличии систематической ошибки в показание прибора вносят соответствующие поправки. Устранить систематическую ошибку можно калибровкой прибора, то есть проверкой его во всем диапазоне измеряемых величин с помощью известного эталона или так называемого образцового прибора (высокоточный прибор), или ремонтом.

- Случайных ошибок, причины которых неизвестны и из-за которых при последовательных отсчетах постоянной величины, получаются различные результаты. Пример см. Рис. 38 б. Именно, случайные ошибки обычно характеризуют точность измерений.

Полностью избежать при измерениях случайных ошибок практически невозможно, но установить возможную ошибку опыта и, следовательно, точность выполненных измерений, необходимо во всех случаях.

Случайные ошибки измерений по своей величине и характеру могут быть следующими:

- абсолютная ошибка Δ представляет собою разность между измеренной величиной a и действительным (истинным) значением этой величины - x , т.е. $\Delta = a - x$.

Абсолютная ошибка всегда имеет ту же размерность, что и измеряемая величина, так что если последняя имеет линейный размер, то и Δ имеет линейную размерность.

- относительная ошибка Δ_0 есть отношение абсолютной ошибки к действительному значению величины $\Delta_0 = \pm \frac{\Delta}{x}$. Безмерным значением относительной ошибки или выражением её в процентах, то есть $\Delta_0 = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100\%$ оценивают точность измерения.

- предельная ошибка Δ_p - наибольшая случайная абсолютная ошибка, которая получается при правильной эксплуатации измерительного оборудования и после устранения систематических ошибок или внесения поправок (см. Выше).

Предельные ошибки некоторых приборов и способов измерения приведены в таблице 14.

Таблица 14.

Измерительные устройства и методы измерения	Предельная ошибка в % к наибольшему значению измерений
Мерная металлическая лента (20 м)	0,20 - 0,30
Угломер оптический	0,50 - 2,00
Тахометр центробежный	0,40 - 2,50
Тахогенератор	2,50 - 4,00

Стробоскоп электронный	0,10 - 1,00
Весы автомобильные	0,80 - 1,20
Весы технические	0,10 - 0,20
Динамометры пружинные	1,00 - 3,50
Динамометры гидравлические	0,70 - 2,00
Манометры (с трубкой Бурдона)	1,00 - 10,00
Манометры ртутные	1,00 - 2,00
Датчики фотоэлектрические	0,40 - 2,00
Секундомеры стандартные	0,40 - 0,70
Термометры ртутные технические	0,30 - 2,00
Термометры (без усиления)	0,50 - 2,50
Газоанализаторы с поглощением	0,50 - 5,00
Газоанализаторы хроматографические	0,80 - 2,00
Вязкозиметры стандартные	1,00 - 4,00
Запись осциллографом при усилении	1,50 - 4,00

Данные таблицы могут быть использованы для грубой (прикидки" точности результатов опыта при разных методах его проведения. Допустим, что требуется определить путь, проходимый автомобилем при разгоне с места до достижения им некоторой определенной скорости. Это можно сделать по разному. Первый способ - установить на колесе автомобиля датчик с контактным преобразователем, который даёт отметки на самописце или ленте осциллографа. Рабочий же радиус колеса измеряется линейкой. Другой способ заключается в том, что путь определяется лентой по отметкам в момент трогания с места и в момент достижения необходимой скорости.

Несомненно, что второй способ, несмотря на свою кажущуюся примитивность, более точен, так как измерение расстояния металлической мерной лентой даёт предельную ошибку 0,3%, а записи на осциллографе с учетом, что отметки идут не непрерывно, а на каждые оборот или пол-оборота колеса, могут дать ошибку почти в 5 раз большую!

В процессе проведения эксперимента, как правило, проводится измерение нескольких величин, связанных между собою той или иной функциональной зависимостью.

Изменение каждой из величин неизбежно дает какую-то ошибку; если эту величину измеряли не один раз, а несколько (так обычно и бывает), то определяется так называемая статистическая ошибка этих неоднократных измерений. Случайные ошибки в этом случае оцениваются в среднем арифметическим результатов измерений и средним квадратическим отклонением от среднего, которые находятся по известным формулам (18) и (20). В теории ошибок доказывается, что во-первых, случайные ошибки распределяются по нормальному закону (закону Гаусса) и, во-вторых, что чем больше производится измерений какой-либо величины, тем меньше суммарная случайная ошибка средней.

Средне квадратическое отклонение (стандарт) является мерой точности среднего арифметического значения измеряемой величины. Наибольшей ошибкой средней арифметической $\bar{\alpha}$ измерений является величина, равная 3σ то есть сигмам, что вытекает из закона Гаусса о случайных ошибках.

Поэтому наибольшая, возможная статистическая относительная ошибка равна

$$\frac{\Delta_n(\bar{\alpha})}{\bar{\alpha}} = \pm \frac{3\sigma}{\bar{\alpha}} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta_n(\bar{\alpha})}{\bar{\alpha}} = \pm \frac{3\sigma}{\bar{\alpha}} 100\%.$$

Таким образом, точность измерений оценивается:

- для однократных по предельной ошибке, а
- для многократных по наибольшей возможности статистической ошибки (относительной).

Случайные ошибки (статистические) результатов многократных измерений нескольких различных величин, связанных функциональной зависимостью показаны в табл 15.

Формулы для статистических ошибок результата (табл.15) используют не только при обработке полученных опытных данных, но и для сравнительной оценки точности измерений при различных методах исследования, а так же для определения наиболее целесообразных условий проведения опытов с точки зрения точности получаемых результатов.

Теория ошибок и некоторые приведенные выше формулы позволяют определить, с какой точностью следует проводить измерения отдельных величин в процессе

эксперимента, если предварительно задана необходимая точность окончательных результатов.

Таблица 15.
Некоторые формулы для ошибки результата.

Измеряемая величина	Функциональная зависимость	Ошибка результата	
		среднеквадратичная	относительная
Суммарное время движения автомобиля	$T = t_{пр} + t_{оп}$	$\sigma_T = \pm \sqrt{\sigma_{t_1}^2 + \sigma_{t_2}^2}$	$\delta_T = \pm \frac{1}{T} \sqrt{\sigma_{t_1}^2 + \sigma_{t_2}^2}$
Средняя часовая скорость автомобиля	$v_T = l : T$	$\sigma_{v_T} = \pm \sqrt{\frac{1}{T^2} \sigma_l^2 + \frac{l^2}{T^4} \sigma_T^2}$	$\delta_{v_T} = \pm \frac{1}{v_T} \sqrt{\frac{1}{T^2} \sigma_l^2 + \frac{l^2}{T^4} \sigma_T^2}$
Усредненный путь	$l = 2kzD_0$	$\sigma_l = \pm 2k \sqrt{n^2 \sigma_z^2 + z^2 \sigma_D^2}$	$\delta_l = \pm \frac{2k}{l} \sqrt{n^2 \sigma_z^2 + z^2 \sigma_D^2}$
Противозависимое отношение (ширине) в воздушной среде	$P_w = k_w F_0 \frac{V^2}{13}$	$\sigma_{P_w} = \pm \frac{k_w V}{13} \sqrt{V^2 \sigma_F^2 + 4F^2 \sigma_V^2}$	$\delta_{P_w} = \pm \frac{1}{P_w} \sqrt{V^2 \sigma_F^2 + 4F^2 \sigma_V^2}$
в подвесе	$P_i = \sigma_0 \sin \alpha$	$\sigma_{P_i} = \pm \sqrt{\sigma_0^2 \sin^2 \alpha + G^2 \sigma_0^2 \cos^2 \alpha}$	$\delta_{P_i} = \pm \frac{1}{P_i} \sqrt{\sigma_0^2 + G^2 \sigma_0^2 \cot^2 \alpha}$

РАЗДЕЛ 5. ПЛАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Определение и этапы эксперимента

Произведение экспериментального исследования связано со значительными затратами труда и материальных средств, часто требует отвлечения от нормальной эксплуатационной работы большого числа автомобилей и других машин на длительное время. Поэтому, чрезвычайно важно изучить методы экспериментального исследования, которые обеспечили бы существенное сокращение времени и затрат на проведение опытов. Таким требованиям эксперимента и его анализа до недавнего времени, математические методы, в частности, методы математической статистики, применялись только на завершающем этапе экспериментального исследования для обработки результатов, полученных при эксперименте. Планирование же эксперимента осуществлялось без привлечения математических методов. Экспериментальное исследование всегда конечно планировалось, но это планирование строилось целиком на интуиции экспериментатора, это было в основном, искусством, своеобразным искусством, которому можно было научиться после длительного периода проб, удач и неудач, после того, как экспериментатор накопил достаточный исследовательский опыт. Вместе с тем, многим элементам экспериментального искусства научить можно после того, как процесс эксперимента был формализован методами математической статистики. Формализация (см. Раздел 1-й, методы научного исследования) процесса эксперимента с использованием аппарата математической статистики, позволяет:

- получить математическую модель эксперимента, обладающую некоторыми оптимальными свойствами, например, уменьшенным числом опытов, дающих в то же время большую точность результатов,
- производить обработку результатов эксперимента некоторыми наилучшими приемами и принимать решения по полученным обработанным результатам на основе четких формализованных правил.

Итак, что же подразумевается под планированием эксперимента?

Планирование эксперимента - это процедура проведения эксперимента, последовательность постановки опытов и изменения переменных по некоторой заранее разработанной схеме, обладающей определенными оптимальными свойствами.

Основная цель планирования эксперимента - получить максимум информации при меньших материальных затратах и при повышении точности получаемых результатов.

Любой эксперимент может быть разбит на четыре основные этапа.

Первый этап. Постановка задачи эксперимента (его цель), которая вытекает из принятой рабочей гипотезы и некоторых дополнительных предложений.

Второй этап. Планирование эксперимента, то есть определение последовательности опытов и их количества.

Третий этап. Подготовка и проведение эксперимента. В этот этап входит подбор испытательного оборудования, его подготовка к работе (опробование, калибровка), проведение опытов, проверка полученных промежуточных результатов.

Четвертый этап. Анализ результатов эксперимента и принятие решений на основе анализа.

В целом эксперимент и его составные элементы выглядят так, как показано в таблице 16.

Более наглядное представление о последовательности некоторых этапов и элементов эксперимента можно получить, сопоставив таблицу 16 с рис. 16 (4-й раздел), на котором изображена схема эксперимента как сложной системы.

2. Постановка задачи эксперимента.

Постановка задачи эксперимента - это комплекс будто самоочевидных работ, однако, как показал многолетний опыт, далеко не всегда выполняемый, в результате чего возникает много ошибок недоговоренностей и просто неудач.

Четкая постановка задачи - это построение логической модели исследуемого объекта или явления (процесса), которая включает в себя прежде всего указание ясной цели эксперимента на основе разработанной ранее рабочей гипотезы. Хорошо, четко поставить, сформулировать задачу -

большой шаг на пути к её решению, это искусство, в котором используется опыт исследователя, его предыдущие знания и, в значительной степени, его интуиция!

Таблица 16.

Составные элементы эксперимента.

Этапы	Составные части этапов эксперимента	Примечание
1. Постановка задачи	<p>А. Разработка цели эксперимента.</p> <p>Б. Установление искомой зависимой переменной или нескольких переменных (функция F).</p> <p>В. Выбор независимых переменных (факторов), варьируемых при эксперименте (аргументы x_i).</p> <p>Г. Определение фиксируемых уравнений (значений) для независимых переменных - уровни факторов.</p> <p>Д. Подбор сочетаний уровней факторов.</p>	<p>С о г л а с н о выдвинутой гипотезы.</p> <p>Ф у н к ц и и цели. Отклики. Параметр оптимизации $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$</p> <p>Диапазон или интервал варьирования.</p> <p>Исключаются "несовместимые" уровни.</p>
2. Планирование эксперимента	<p>А. Определение необходимого числа опытов или наблюдений.</p> <p>Б. Выбор типа плана эксперимента.</p> <p>В. Разработка плана эксперимента (математическая модель и матрица планирования).</p> <p>Г. Календарный и временный план эксперимента.</p>	<p>См. формулу (29) или табл. 11.</p> <p>М е т о д р а н д о м и з а ц и и и ограничения на неё.</p> <p>Длительность проведения эксперимента.</p>
4. Анализ результатов	<p>А. Систематизация необработанных опытных данных.</p> <p>Б. Обработка опытных данных (статистическая, аналитическая и графическая)</p>	<p>В основном - сведение в табличную форму.</p>

<p>В. Вычисление статистик для проверки гипотезы. Г. Интерпретация (истолкование) результатов эксперимента. Д. Принятие решения (выводы и рекомендации).</p>	<p>К р и т е р и й Ф и ш е р а (F).</p>
--	---

Примечание: в настоящей таблице опущен 3-й этап - проведение эксперимента, так как частично он освещен в разделе 3-ем и в дальнейшем рассматриваться не будет.

Цель эксперимента. Эксперимент может ставиться с целью идентификации или оптимизации.

Идентификация (лат.) - Проверка гипотезы о соответствии данных, полученных в результате эксперимента, некоторой предполагаемой теоретической зависимости. Иными словами, эксперимент проводится с целью проверки и подтверждения результатов теоретического исследования и тех функциональных или статистических зависимостей, которые были получены в его ходе.

Большинство инженерных экспериментов в технике относится в этой группе.

Оптимизация (лат). - поиск наилучшего решения, то есть нахождение экспериментальным путем - крайнего (максимум или минимум) - значения исследуемого параметра или функции цели (параметра оптимизации, отклика). При решении задач оптимизации, эксперимент обычно проводится без предварительного теоретического обоснования, и поэтому его результаты являются самодовлеющими, не требующими аналитической проверки.

Цель эксперимента должна формулироваться как можно конкретнее: недопустимо ограничиваться общими фразами типа: эксперимент ставится для подтверждения результатов теоретического исследования: или - исследование надежности автомобиля такой - то модели. Следует четко оговорить в формулировке цели эксперимента, для чего он проводится, например, для планирования текущих ремонтов или для расчетов снабжения запчастями, что и как измеряется и другие уточнения.

Функция цели и независимые переменные. Очень важно правильно выбрать зависимые переменные или одну

переменную, которые будут исследоваться. Это так называемая функция цели, то есть функция, связывающая независимые варьируемые (факторы) с исследуемой зависимой переменной:

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где x_i - независимые переменные или аргументы.

Например, в маленьком исследовании, которое было проведено в п.7 раздела 1-го, функцией цели была величина удельного давления в плоскости, контакта шины и опорной поверхности. Независимыми переменными или факторами были геометрические размеры шины, масса автомобиля, внутреннее давление воздуха в камере шины.

Можно было бы выбрать в качестве функции цели величину нагрузки, приходящейся на колесо автомобиля, понимая под нагрузкой сосредоточенную на колесо силу тяжести автомобиля. Это ведь тоже относительная величина автомобиля к числу его колес. Но нетрудно уловить "грубость" решения задачи при такой целевой функции, масса автомобиля "распределенная" на суммарную площадь контактов шин с опорной поверхностью гораздо тоньше решает поставленную задачу.

Функцию цели необходимо выбирать в результате тщательного непредубежденного анализа всей задачи или проблемы, стоящей перед исследователем, с учетом того, что функция цели должна быть однозначно и с возможно большей полнотой количественно характеризовать объект исследования.

Если цель эксперимента - идентификация, то функция цели характеризуется формулой, полученной в результате теоретического исследования и по этой формуле находятся независимые переменные (факторы), которые варьируются, управляются в процессе эксперимента, воздействуя тем или иным образом на объект исследования. Например, в формуле (6) величина p кг/см² - функция цели, а величина P, D, C и l - независимые переменные или факторы.

Если цель эксперимента - оптимизация, то функция цели математически моделируется полиномиальным уравнением с неизвестными коэффициентами регрессии:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n, \quad (31)$$

Где β_i - коэффициенты регрессии,

x_i - факторы, которые предполагается варьировать в процессе эксперимента.

С математической точки зрения, уравнение (31) описывает некоторую геометрическую поверхность, так называемую поверхность отклика. В результате эксперимента находят численные значения коэффициентов регрессии и, следовательно, определяется "удельный вес" или значимость каждого фактора в его воздействии на функцию цели.

Факторы и их уровни. Факторы бывают трех типов: управляющие, контролируемые и возмущающие (неконтролируемые).

Управляющие факторы, полученные на основе теоретического исследования или выбранные после анализа поставленной задачи, считаются заданными, если указаны их наименования (диаметр колеса или давления воздуха в шине) и количественные значения, которые он может принимать.

Например, диаметр колеса может изменяться от 72,5 см. до 103,8 см, а нагрузка на колесо от 445 кг до 1060 кг.

Количественные значения фактора, а иногда его качественные значения, называются уровнями фактора.

Выбор управляющих факторов должен выполняться с учетом следующих к ним требованиям:

- измеримость фактора, то есть возможность его измерения имеющимися средствами измерительной техники с необходимой степенью точности.

- управляемость, то есть возможность поддерживать данный фактор на нескольких заранее заданных уровнях,

- независимость фактора, то есть отсутствие зависимости от других факторов, функцией которых является данный фактор,

- совместимость факторов, то есть возможность практически осуществления намеченных комбинаций двух или нескольких факторов,

- некоррелированность факторов, так как существует положение о том, что наличие линейной корреляции между выбранными факторами не допускает планирование эксперимента.

Удовлетворить всем перечисленным требованиям при выборе факторов необходимо очень строго, так как

характерной чертой современного планирования эксперимента является одновременное варьирование нескольких факторов. Если при таких изменениях одного из факторов окажется, что меняется и другой фактор, то весь план эксперимента будет нарушен. Произойти же такое изменение возможно при нарушении требования независимости и некоррелированности факторов. В другом случае, возможно, что осуществить намеченную комбинацию факторов невозможно, например, при испытании двигателя невозможно получить максимальную мощность при минимальных оборотах коленчатого вала.

Пределы изменения факторов определяются исходя из конкретных условий задачи эксперимента. Интервалы же варьирования должны выбираться из условий различимости, относительной точности измерений при разных значениях факторов и предполагаемого характера исследуемой функции.

Различимость заключается в том, что интервал уровней фактора должен быть не меньше, чем удвоенное среднеквадратическое отклонение измерения этого фактора, так как в противном случае будет невозможно различить полученные результаты.

Относительная точность измерений в различных точках измерения фактора может быть различной. Обычно при малых значениях мощностей, скоростей, движения и т.п. Точность измерения будет наименьшей. Это объясняется главным образом тем, что при малых нагрузках обычно велико влияние всяческих "помех". Поэтому на участках малых нагрузок следует уменьшить величину интервала.

Характер функции влияет на величину интервала уровней фактора в том смысле, что при криволинейном её характере следует равномерно разбивать на интервалы не абсциссы и ординаты, а саму кривую (рис.39,а), а в случае перегиба кривой, в окрестностях экстремума интервал должен быть меньше (рис. 39,б).

Следует иметь в виду, что указанные выше требования связаны не со стремлением "эстетики", стремлением получить гладкую "красивую" кривую, а со стремлением обеспечить одинаковую или почти одинаковую точность во всех её точках.

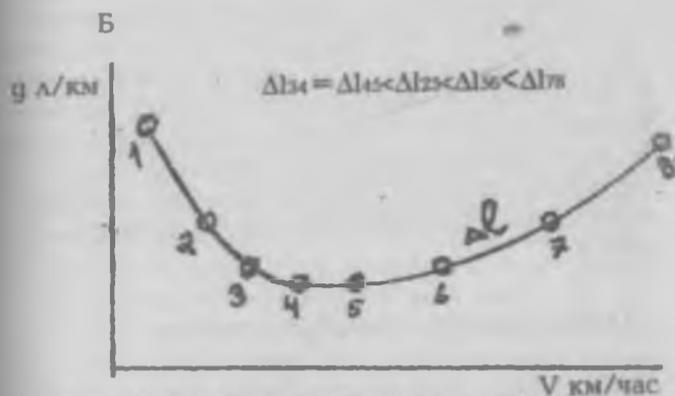
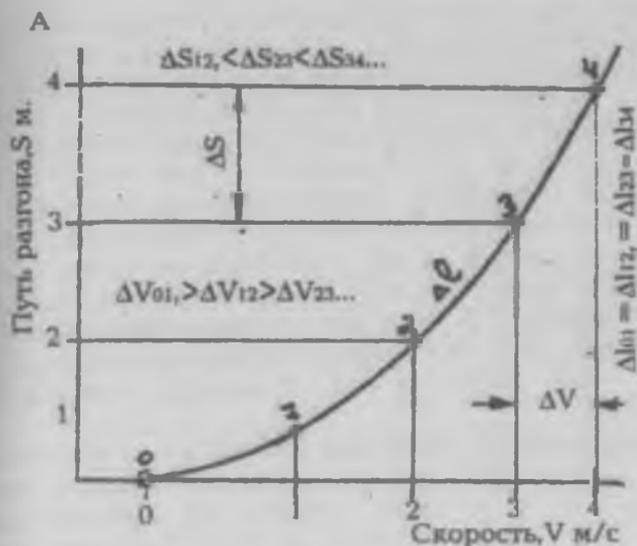


Рис. 39. Выбор интервалов уровней факторов при криволинейном характере функции: а - равномерное разбиение кривой, б - неравномерное разбиение.

Контролируемые факторы. К этой группе факторов обычно в научном эксперименте относят факторы внешней среды, которые могут воздействовать на функцию цели. Например, при лабораторных исследованиях автомобиля и его агрегатов, контролируемыми факторами будут температура, атмосферное давление, влажность, которые обязательно

должны быть зафиксированы в протоколе эксперимента.

В условиях дорожных испытаний, указанные выше факторы внешней среды могут относиться к контролируемым лишь в том случае, если их изменения в течение времени проведения опытов незначительны и не может повлиять на их результаты. Если же предполагается возможность существенных изменений контролируемых факторов, то планирование эксперимента должно осуществляться таким образом, чтобы нейтрализовать их влияние на функцию цели, путем соответствующей рандомизации эксперимента (см. п.3 настоящего раздела). В некоторых случаях контролируемые факторы могут быть переведены в категорию управляющих факторов, если характер их изменения может быть предсказан.

Возмущающие факторы полностью неконтролируемые и совершенно случайны, как по времени своего проявления, так и по силе влияния на функцию цели. Например, неожиданные порывы сильного ветра во время испытаний автомобиля на мерном участке. Чаще всего, возмущающие факторы являются причинами грубых ошибок, вынуждающих исключить из опытных данных такие значения.

Следует подчеркнуть, что при планировании эксперимента не всегда возможно оценить количественно уровни некоторых факторов. Часто под уровнями фактора понимается не число с равномерностью (например, скорость - 40 км/час), а разновидности какого-либо изделия (например, различные марки автомобильных шин одного размера), или группы рабочих и т.д.

3. Типы планов экспериментов.

Подготовительный этап или поставка задачи согласно таблице 16, это та работа, без которой невозможно приступить непосредственно к планированию эксперимента, то есть к выбору порядка проведения эксперимента. Многолетний опыт подсказывает, что отсутствие у исследователя четкого плана эксперимента, как правило, ведет к провалу, к потерям времени, труда и к весьма незначительным результатам.

Почему-то существует мнение, что планирование эксперимента, это нечто появившееся только в последние два десятилетия, что это совершенно что-то новое, чего не знали

исследователи в 30-е или 40-е годы, не говоря уже о прошлом веке! Это глубокое заблуждение. Планирование эксперимента, как и любая другая целенаправленная деятельность человека, существовало всегда, когда проводился эксперимент, но только методы этого планирования были в последние годы различны.

Прежде всего рассмотреть планирование эксперимента по "старинке" или как это вполне закономерно называли классическим планированием или классическим планом, обратим внимание на одно весьма важное обстоятельство, которое часто ускользает от внимания исследователя. Речь идет о том, что существуют воспроизводимые и не воспроизводимые эксперименты.

Под воспроизводимыми экспериментами понимаются такие, в процессе которых в любой момент объект исследования и измерительное оборудование можно вернуть в исходное, начальное состояние.

Строго говоря, привести пример воспроизводимого эксперимента затруднительно, всегда в процессе эксперимента происходят изменения, в большинстве случаев необратимые как объекта исследования, так и измерительного оборудования. Однако, эти изменения бывают настолько малы, что ими можно пренебречь или они практически не обнаруживаемые и можно во многих случаях считать эксперименты воспроизводимыми. Например, испытывая двигатель и снимая его характеристики, можно считать, что в любой момент или за относительно короткий отрезок времени можно вернуться в исходному режиму и воспроизвести его практически без каких либо изменений.

Не воспроизводимыми экспериментами являются подавляющее большинство экспериментов в науке и технике (особенно в последней). Наиболее яркий пример: исследование изнашивания детали какого-либо узла автомобиля при испытаниях его на надежность. В процессе лабораторного или эксплуатационного эксперимента, объект исследования деформируется, меняя форму (например, оваллизация пальца шатуна), или уменьшаясь в размерах и т.д. Такое прогрессирующее ухудшение технического состояния объекта исследований не может позволить исследователю повторение (воспроизведение) состояния, в котором был объект к началу исследований. Поэтому влиять на порядок проведения такого эксперимента в смысле чередования режимов или повторения

начальных режимов, экспериментатор в этом случае не может,

Учитывая сказанное, вернемся к рассмотрению планов эксперимента. Классический план эксперимента часто называется последовательным планом. Предположим первоначально, что функция цели зависит лишь от одного фактора. Это так называемый однофакторный эксперимент. Классическое планирование такого эксперимента заключается в том, что первоначальное устанавливается ниже или верхнее значение фактора, то есть один из его предельных уровней и затем последовательно снизу вверх или наоборот, изменяются значения фактора скачками, согласно принятого интервала варьирования. Такой последовательный план эксперимента чрезвычайно удобен при проведении, скажем, испытаний образца какого-либо материала в пределах упругих деформаций, когда нагрузка постепенно изменяется от меньших значений к большим и наоборот. Помимо удобства последовательный план является единственно возможным, например, при испытаниях на трение, когда необходимо уловить момент перехода от трения к трению скольжения и обратно.

Если имеется два, три и более управляющих факторов, то эксперимент называется многофакторным или просто факторным экспериментом. Классическое планирование такого многофакторного эксперимента заключается в том, что все независимые переменные (факторы) "участвующие" в эксперименте, кроме одной, полагают постоянными, стабилизированными на каком-то определенном уровне, а эта переменная изменяется во всем диапазоне своих значений в пределах, принятых в постановке задачи и с принятыми же интервалами. В результате получаем функцию цели в зависимости от одной независимой переменной x_1 , при постоянных уровнях переменных x_2, x_3 и т.д.

На следующем этапе эксперимента варьируют следующий фактор, остальные стабилизируют и в результате получают функцию цели в зависимости от другого фактора, скажем, x_2 при постоянных уровнях факторов x_1, x_3, x_4 и т.д.

Таким образом, классический план многофакторного эксперимента, которому уже более 200 лет, является суммой последовательных однофакторных экспериментов. Этот план

может быть частичным и полным, что видно на примерах двухфакторного эксперимента, в котором каждый фактор (x_1 и x_2) имеет по пять уровней (рис. 40). Это так называемый сбалансированный эксперимент так как каждый фактор имеет одинаковое количество уровней.

Как видно из рис. 40а, количество опытов (без повторений) в частичном плане - девять, а в полном - 25 (рис. 40в). При частичном плане, из полученных результатов возможно построить графическую иллюстрацию для функции цели всего из двух кривых (рис. 40 б), а в случае полного плана - два графика с пятью кривыми каждый, как это видно на рис. 40 г.

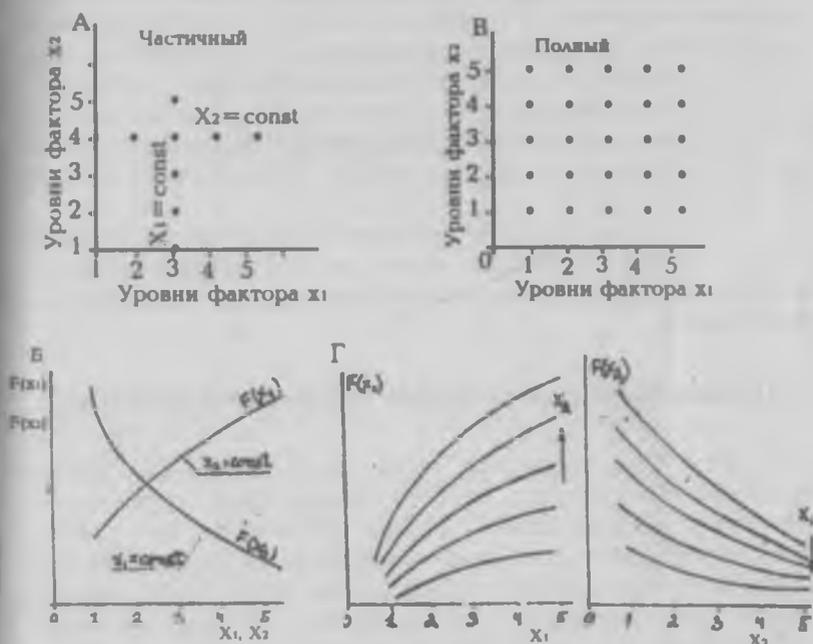


Рис. 40. "Классический" план двухфакторного эксперимента: а - неполный, б - полный.

Очевидно, что полный классический план может осуществляться только для воспроизводимых экспериментов, так как в процессе его проведения каждый фактор приходится несколько раз возвращать на исходный уровень. В примере

начальных режимов, экспериментатор в этом случае не может,

Учитывая сказанное, вернемся к рассмотрению планов эксперимента. Классический план эксперимента часто называется последовательным планом. Предположим первоначально, что функция цели зависит лишь от одного фактора. Это так называемый однофакторный эксперимент. Классическое планирование такого эксперимента заключается в том, что первоначально устанавливается нижнее или верхнее значение фактора, то есть один из его предельных уровней и затем последовательно снизу вверх или наоборот, изменяются значения фактора скачками, согласно принятого интервала варьирования. Такой последовательный план эксперимента чрезвычайно удобен при проведении, скажем, испытаний образца какого-либо материала в пределах упругих деформаций, когда нагрузка постепенно изменяется от меньших значений к большим и наоборот. Помимо удобства последовательный план является единственно возможным, например, при испытаниях на трение, когда необходимо уловить момент перехода от трения к трению скольжения и обратно.

Если имеется два, три и более управляющих факторов, то эксперимент называется многофакторным или просто факторным экспериментом. Классическое планирование такого многофакторного эксперимента заключается в том, что все независимые переменные (факторы) "участвующие" в эксперименте, кроме одной, полагают постоянными, стабилизированными на каком-то определенном уровне, а эта переменная изменяется во всем диапазоне своих значений в пределах, принятых в постановке задачи и с принятыми же интервалами. В результате получаем функцию цели в зависимости от одной независимой переменной x_1 , при постоянных уровнях переменных x_2, x_3 и т.д.

На следующем этапе эксперимента варьируют следующий фактор, остальные стабилизируют и в результате получают функцию цели в зависимости от другого фактора, скажем, x_2 при постоянных уровнях факторов x_1, x_3, x_4 и т.д.

Таким образом, классический план многофакторного эксперимента, которому уже более 200 лет, является суммой последовательных однофакторных экспериментов. Этот план

может быть частичным и полным, что видно на примерах двухфакторного эксперимента, в котором каждый фактор (x_1 и x_2) имеет по пять уровней (рис. 40). Это так называемый сбалансированный эксперимент так как каждый фактор имеет одинаковое количество уровней.

Как видно из рис.40а, количество опытов (без повторений) в частичном плане - девять, а в полном - 25 (рис. 40в). При частичном плане, из полученных результатов возможно построить графическую иллюстрацию для функции цели всего из двух кривых (рис.40 б), а в случае полного плана - два графика с пятью кривыми каждый, как это видно на рис. 40 г.

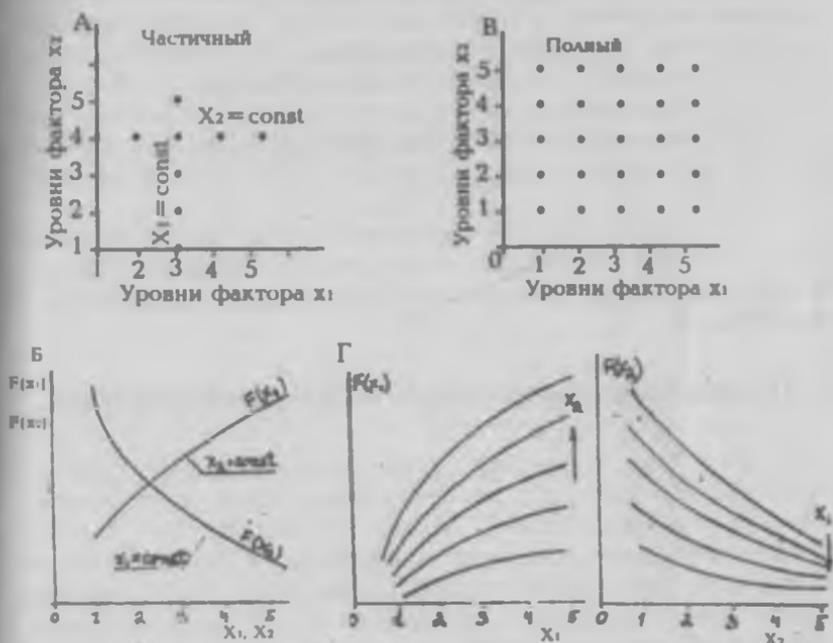


Рис.40. "Классический" план двухфакторного эксперимента: а - неполный, б - полный.

Очевидно, что полный классический план может осуществляться только для воспроизводимых экспериментов, так как в процессе его проведения каждый фактор приходится несколько раз возвращать на исходный уровень. В примере

рис. 40 это надо сделать пять раз для каждого фактора.

Кроме того, полный план не обязательно должен быть сбалансированным, так как вполне допустимо чтобы факторы имели различное количество уровней. Обычно тот фактор, который дает более сложную или важную зависимость для функции цели, берется на большем числе уровней.

Частичный классический последовательный план подходит как для воспроизводимых, так и для невоспроизводимых экспериментов.

Классические планы эксперимента, несмотря на ряд их недостатков, являются до настоящего времени наиболее популярными.

Случайный план эксперимента. Иначе называется рандомизированным планом, в котором уровни факторов чередуются не в строгой последовательности от нижнего или верхнего уровней, а в чисто случайном порядке. Например, в процессе эксперимента скорость движения автомобиля меняется с интервалом в 10 км/час, начиная с 20 км/час, то есть замеры производятся при скоростях 20,30,40,50,60,70 и 80 км/час.

В современном планировании эксперимента принцип рандомизации является одним из основных методов составления плана, поэтому на нем следует остановиться подробнее.

4. Принцип рандомизации плана эксперимента.

Во 2-м параграфе было отмечено, что кроме управляющих факторов, то есть независимых переменных, которыми исследователь может управлять по своему усмотрению, имеются контролируемые и возмущающие факторы, которые далеко не всегда поддаются необходимому учету. При проведении экспериментов по классическому плану всегда предполагается, что исследуемый процесс или явление можно отделить от плохо контролируемых и возмущающих факторов, причем со сколь угодно большой степенью точности. Однако, в действительности это допущение редко оправдывалось и мешающие факторы вносили значительную долю в общую погрешность эксперимента.

Вот несколько примеров.

Влияние технического состояния измерительного прибора может вызвать систематическую ошибку измерения. Например, заедание или утечка могут привести к тому, что если предыдущий отсчет по прибору находился в верхней части интервала, то прибор покажет завышенное значение измеряемой величины. Если же предыдущий отсчет находился в нижней части интервала, то "заедание" прибора приведет к заниженному его показанию.

При проведении измерений по последовательному плану от меньших к большим значениям измеряемой величины, каждый из отсчетов будет заниженным (рис.41). И в общем результате эксперимента будет заложена систематическая ошибка постоянной величины, которую бывает очень трудно обнаружить.



Рис. 41. Систематическая ошибка при неисправности прибора типа "заедания".

В рандомизированном плане будет получено примерно одинаковое количество измерений при переходе от меньших значений измеряемой величины к большей и наоборот и результаты этих измерений будут иметь некоторый разброс, но группироваться они будут вокруг точных значений, захватывая как бы в "вилку" истинную кривую.

Другой пример. Испытание автомобиля в дорожных условиях может происходить при заранее не учитываемых изменениях метеорологических условий: повышение или понижение температуры, давления, влажности.

Если один из управляющих факторов, например,

скорость движения варьируется последовательно (классический план), то можно предположить, что функция цели будет изменяться вследствие изменения этого фактора и последовательного же изменения метеорологических условий. Если же фактор будет меняться случайным образом (рандомизирован), то неконтролируемые факторы (в данном случае метеорологические) "наложатся" на весь эксперимент и результаты - функция цели - будут сравниваемыми за счет одинаковости средних условий.

До последнего времени, по двухсотлетней традиции, исследователь стремился стабилизировать контролируемые и возмущающие факторы во время проведения эксперимента, затрачивая на это много сил и умения. Теперь же в эксперимент внесен принцип случая, принцип рандомизации. Теория планирования эксперимента предлагает превратить "неудобные", "мешающие" факторы в случайные величины путем рандомизации условий проведения эксперимента. Это принципиально новая идея, радикально меняющая стратегию эксперимента и предлагающая создавать необходимость стабилизировать возмущающие факторы.

Процедура рандомизации рассматривается на примере испытания различных марок шин в эксплуатационных условиях. Задача эксперимента заключается в том, чтобы установить величину износа - u_j протектора, то есть разницу в глубине канавки рисунка протектора, измеренной при установке шин на колеса и после пробега 40 тыс.км. Имеется шестнадцать шин четырех марок А,Б,В и Г по четыре шины каждой марки, испытания проводятся на четырех различных моделях автомобилей, обозначаемых I,II,III и IV.

Составлен следующий первый план эксперимента:

Предложенный план, безусловно, нельзя признать совершенным. Износ шин зависит, как известно, не только от марки шины и покрытия дороги, по которой проводится пробег, но и от того автомобиля, на котором смонтирована шина. В предложенном плане средние значения износа шин каждой марки являются одновременно и средними износами шин на данных автомобилях. Возможные различия, которые необходимо обнаружить в износах различных марок шин (так называемый эффект шин) совпадают или полностью, как говорят, смешаны с различиями износа шин на разных автомобилях (эффект автомобилей). Совершенно очевидно,

что необходимо шины различных марок случайным образом распределить по автомобилям, необходимо план рандомизировать.

Рандомизация может осуществляться различными способами: по таблицам случайных чисел, карточным способом, бросанием игральных костей.

По таблицам случайных чисел (см. Например, таблицу в книге И.Г. Венецкий и Г.С.Кильдишев, Теория вероятностей и математическая статистика. М. "Статистика", 1975, приложение IX) берутся подряд, с пропуском повторяющихся чисел и нулей, первые, вторые или последние цифры каждого числа. Таким образом, отбирают 16 номеров, которые располагают в их последовательности по строчкам и столбцам плана, а затем заменяют буквами, обозначающими марки шин.

Карточный способ заключается в том, что на 16-ти карточках записывают буквы: четыре А, четыре Б и т.д., Затем карточки тщательно несколько раз тасуются (перемешиваются). Вынимая последовательно карточки, расписывают, как и ранее, буквы по строчкам таблицы плана.

Бросание костей или монет. Принимают, что одна точка на грани кости соответствует букве А, две точки - букве Б и т.д. Грани с 5-ю и 6-ю точками в расчет не принимают. Бросание кости заканчивается тогда, когда выпадает четыре раза одна точка, четыре раза две точки и т.д., Всего 16 раз. Аналогично поступают с моментами.

Предположим, что в результате рандомизации получился следующий второй план, на котором в скобках указаны и результаты измерения износа протектора в мм для каждой шины:

Автомобили				Распределение марок шин и их износ
I	II	III	IV	
В (12)	А (14)	Г (10)	А (13)	
А (17)	А (13)	В (10)	Г (9)	
Г (13)	Б (14)	Б (14)	Б (8)	
Г (11)	В (12)	Б (13)	В (9)	

В этом плане различия в результате эксперимента,

зависящие от влияния автомобилей усреднены и не могут повлиять на значение функции цели - план ПОЛНОСТЬЮ РАНДОМИЗИРОВАН.

Однако, при более внимательном рассмотрении этого плана обнаруживаются некоторые его недостатки и довольно существенные. Например, шины марки А совершенно не были установлены на автомобиль III, шины марки Б - на автомобиль I, а шины марки Г - на автомобиль II. Разница в износах шины марки Б (на автомобилях II и III - 14 мм, а на автомобиле IV - 8 мм) может отражать различие в автомобилях II, III и IV.

Следовательно, случайная ошибка может оказаться не просто ошибкой эксперимента, а включать в себя различие между автомобилями.

Полная рандомизация плана эксперимента привела к беспорядочному, хаотическому его проведению, что, естественно, не может дать положительного эффекта. На рандомизацию следует, как говорят, наложить ограничение.

Ограничение на полную рандомизацию заключается в том, что каждая марка шины одним своим представителем должна быть смонтирована на каждый автомобиль. Следовательно, на каждый автомобиль монтируются четыре шины разных марок - А, Б, В и Г. Такая группировка, сделанная ради однородности эксперимента, называется блоком, а план эксперимента - блочным планом. В блочном плане рандомизируется каждый блок в отдельности. В рассматриваемом случае - каждый автомобиль - это блок и рандомизация в блоке заключается в том, что все шины распределяются по колесам в случайном порядке. Такое блочное планирование позволяет независимо оценить блочные изменения, обусловленные автомобилями (межблоковые эффекты) и устранить их из ошибки эксперимента. Таким планом будет третий план, представленный ниже. Самый элементарный анализ этого плана (определение средних значений износов покрышек по каждому автомобилю) показывает, что в нем четко выделяется эффект автомобилей, то есть распределяется следующим образом:

Распределение марок шин и их износ	Автомобили			
	I	II	III	IV
	Б (14)	Г (11)	А (13)	В (9)
	В (12)	В (12)	Б (13)	Г (9)
А (17)	Б (14)	Г (11)	Б (8)	
Г (13)	А (14)	В (10)	А (13)	

Автомобили	I	II	III	IV
Средний износ, мм.	14,00	12,75	11,75	9,75

В полностью рандомизированном плане такого разделения, как уже говорилось сделать невозможно: средний износ шин у автомобиля I и II совершенно одинаковых, равный 13,25 мм. Табличка значений средних износов шин в случае полностью рандомизированного плана, выглядит следующим образом:

Автомобили	I	II	III	IV
Средний износ, мм.	13,25	13,25	12,00	9,75

Хотя общая тенденция уменьшения износа шин у автомобилей сохранилась, но из-за смещения эффекта шин с эффектом автомобилей, четкая зависимость оказалась как бы затушеванной. Это наглядный пример понятия смещения эффектов.

Последний, третий план блочного рандомизированного эксперимента по износу шин можно расположить таким образом, что буквенные обозначения марок шин будут отделены от результатов эксперимента - величин износов (табл. 17).

Таблица 17.

Марки шин	Автомобили			
	I	II	III	IV
А	17	14	13	13
Б	14	14	13	8
В	12	12	10	9
Г	13	11	11	9

В этом плане каждый столбец соответствует модели автомобиля, а каждая строка - марке шины. Результаты измерений в ячейках таблицы. В таком виде получен полный факторный эксперимент типа 4^2 , так как имеется два управляющих фактора (шины и автомобили), каждый на четырех качественных уровнях (разные модели и марки).

Внимательный читатель, несомненно, установит внешнее сходство плана табл.17 и плана рис. 40 в; различие лишь в количестве уровней. Но это действительно внешнее сходство; между последовательным полным классическим планом табл. 17. Имеется одно принципиально важное различие, которое заключается в отношении исследователя к фактору "Автомобили" и к его уровням.

Правда, эксперимент по классическому плану, исследователь постарался бы, с большими усилиями, "стабилизировать испытуемые автомобили", то есть уравнивать распределение нагрузок на оси автомобилей, взять на испытание автомобили одной модели, одинакового технического состояния, даже водителей постарался бы подобрать примерно одной квалификации. При этом он считал бы уровень фактора "Автомобили" за обычные повторности опытов, иными словами, автомобили не были бы у него независимым фактором, следовательно, обработка и анализ результатов был бы отличным от того анализа, который проводится при рандомизированных планах, но об этом будет сказано дальше.

Обычно полную рандомизацию плана эксперимента осуществляют только в том случае, если до опыта (априори) ничего не известно о влиянии внешних условий, то есть возмущающихся факторов или нет условий для группирования по какому-либо признаку.

Блочное планирование эксперимента с рандомизацией внутри блоков осуществляют тогда, когда известно заранее, что имеются так называемые источники неоднородности (например, разные автомобили), что возможна группировка на блоки, которая позволяет исключить влияние межблокового эффекта на эффекты исследуемой функции цели.

5. Латинские квадраты.

Среди блочных рандомизированных планов эксперимента особое место по своей популярности (широкому применению) занимают планы типа латинского или греко-латинского квадрата.

Латинским квадратом называется квадратная таблица (матрица) из n элементов, которые встречаются один и только один раз в каждой строке и каждом столбце таблицы.

Стандартный латинский квадрат или его каноническая форма следующая:

а б в г		1 2 3 4
б в г а	или	2 3 4 1
в г а б		3 4 1 2
г а б в		4 1 2 3

Принцип построения канонической формы латинского квадрата заключается в том, что первый (левый) столбец и первая верхняя строка квадрата имеют "естественную" последовательность букв в алфавитном порядке или цифр - в порядке возрастания натурального ряда. Следующие строки и столбцы получаются путем одношаговой циклической перестановки влево: буква б, стоящая на 2-м месте в первой строке, переходит на первое место во второй строке, буква а с первого места в первой строке переходит во второй - на последнее и т.д.

В зависимости от количества букв или цифр в строке и столбце, латинские квадраты бывают типа 3×3 или 4×4 или 5×5 и т.д. Осуществить рандомизацию эксперимента, используя план типа латинского квадрата, не представляет затруднений, так как количество возможных вариантов весьма велико и случайный выбор необходимого варианта крайне прост.

Количество возможных вариантов латинских квадратов:

Размер квадрата	При $n = 2$	3	4	5	6	7
Число канонических форм	При $n = 1$	1	4	56	9408	16942080
Общее число вариантов	При $n = 1$	12	576	161280	$8 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^{14}$

С точки зрения принципа рандомизации в плане эксперимента типа латинского квадрата имеется два

ограничения: по столбцам и по срокам, то есть вместо полностью рандомизированного плана, в латинском квадрате рандомизация ведется раздельно по столбцам и отдельно по срокам, но встречается в каждом столбце и каждой строке.

В латинском квадрате план эксперимента всегда сбалансирован, так как количество уровней каждого фактора одинаково (иначе не получился бы квадрат). Кроме того, латинский квадрат - это план неполного факторного эксперимента типа n^m , n - это число уровней факторов или размер квадрата, а m - число факторов.

Как правило, латинский квадрат применяется при планировании эксперимента с тремя факторами, то есть $m = 3$ и, следовательно, количество опытов оказывается при применении такого плана меньше, чем при полном факторном эксперименте, так как

$$n^3 < n^3 \text{ и } n^3 - n^2 = n^2 (n-1).$$

Если $m > 3$ то получается так называемый греко-латинский квадрат.

В греко-латинском квадрате на рандомизацию накладывается еще одно третье ограничение и количество факторов равно четырем. Например, если кроме факторов (А,Б,В,Г), (I,II,III,IV), (1,2,3,4) имеется еще один фактор ($\alpha, \beta, \gamma, \sigma$), то греко-латинский квадрат будет выглядеть таким образом:

		Автомобили			
		I	II	III	IV
Колеса	1	А α	Б β	В γ	Г σ
	2	Б γ	А σ	Г α	В β
	3	В σ	Г γ	А β	Б α
	4	Г β	В α	Б σ	А γ

В этом греко-латинском квадрате по примеру рассмотренному в предыдущем параграфе об испытаниях автомобильных шин - (I,II,III,IV) - разные модели автомобилей, (А,Б,В,Г) - марки шин, (1,2,3,4) - колеса, на которых установлены шины, то есть переднее левое, переднее правое и т.д. Что касается уровней ($\alpha, \beta, \gamma, \sigma$) - это могут быть, например, четыре различных рисунка протектора. Как видим из этого плана, уровни четвертого фактора, рисунка, появляются только один раз в сочетании с каждым из уровней исследуемого фактора А,Б,В,Г.

Рассмотрим пример: предположим изучается степень утомляемости водителей грузовых автомобилей обсуждение

цели эксперимента показало, что вероятно, наиболее "сильными" факторами, влияющими на утомляемость, являются - продолжительность нахождения водителя в наряде - Т часов и возраст водителя - В лет. Утомляемость решено оценивать по 12-ти бальной системе: чем больше степень утомляемости, тем выше балл. Оба эти фактора берутся на трех уровня: Т₁, Т₂ и Т₃ и В₁, В₂ и В₃. Всего под наблюдение взято - 36 водителей из трех автотранспортных предприятий города по 12 человек из каждого, разбитых на 3 возрастных группы по 4 человека. Так как появилось предложение, что в разных АТП, из-за некоторых различий в организации выпуска автомобилей на линию, может возникнуть различное влияние на утомляемость, АТП так же включили в план как контролируемый фактор А с тремя уровнями А₁, А₂ и А₃.

План эксперимента выбран типа латинского квадрата размером 3х3, повторность опытов в каждой ячейке квадрата - 4-х кратная:

		П л а н			Результаты наблюдений		
Продолжительность		Предприятие			А ₁	А ₂	А ₃
		А ₁	А ₂	А ₃			
	Т ₂	В ₃	В ₃	В ₃	6,8,12,7	0,0,1,4	0,2,2,5
Т ₁	В ₂	В ₂	В ₂	2,5,3,1	2,2,4,6	9,10,12,12	
Т ₃	В ₁	В ₁	В ₁	0,1,1,4	2,1,1,5	0,1,1,4	

В составленном плане эксперимента, как видно, рандомизация проведена с ограничением, так как фактор В на одном из своих уровней встречается с каждым из уровней факторов Т и А лишь один раз. Общее количество комбинаций факторов - девять:

А₁Т₂В₃; А₁Т₁В₂; А₁В₂Т₂; А₃В₂Т₂; А₃В₂Т₂; А₃В₁Т₁; А₃В₃Т₃; А₂Т₂В₁; А₂Т₁В₃ А₂Т₃В₂, следовательно; это неполный факторный эксперимент. При полном факторном эксперименте следовало бы комбинаций факторов: $3 \times 3 \times 3 = 27!$

Если б эксперимент был поставлен по классическому плану, то каждого водителя заставили бы работать хотя бы по одному разу при трех продолжительностях пребывания автомобиля в наряде, на что потребовалось бы $12 \times 3 \times 3 = 108$ опытов, вместо запланированных 36-ти! Как видно, планирование эксперимента с использованием принципа

рандомизации, даст существенную экономию времени и средств.

Применение латинских квадратов при планировании эксперимента позволяет, кроме того, уменьшить ошибку в исследованиях, в которых действуют плохо контролируемые факторы. Однако, применение латинских квадратов возможно только в случаях, когда исследователь уверен, что отсутствует взаимодействие между факторами.

6. Анализ результатов эксперимента.

Непосредственные результаты, полученные в эксперименте и зафиксированные в протоколах, как правило, не могут быть использованы для анализа без предварительной обработки.

Предварительная обработка экспериментальных данных заключается в их систематизации, выделении и расчете основных аргументов, сведении данных в целесообразную табличную форму, обеспечивающую обзорность этих данных.

В качестве примера приведем фрагмент записи (табл. 18) в журнале наблюдений при приведении эксплуатационных испытаний автомобильного поезда ЗИЛ-130 с одним прицепом на перевозке кирпича. Цель эксперимента заключается в определении влияния регулировки двигателя на расход топлива в эксплуатационных условиях.

Очевидно, что исследователя интересовали не показания спидометра сами по себе, а пройденный путь, не температура под капотом двигателя, замеренная в определенном пункте, а средняя за время работы. Немного информации несли данные об общем расходе топлива за суточный пробег. Исследователю важно знать километровый расход, так как он давал возможность производить сравнения.

Предварительная обработка полученных данных каждой, согласно табл. 18, будет заключаться в определении длины каждой ездки (по показаниям спидометра), скорости движения, средней температуры под капотом за день работы, километрового расхода топлива в литрах на километр и некоторых других параметров. В предварительно обработанном виде экспериментальные данные таблицы 18-ой будут выглядеть так, как они представлены в табл. 19. Именно эти данные будут анализироваться исследователем.

Дата	№ суд-ки	Пункт отправления	t°C	Начало движения		Пункт назначения	t°C	Конец движения		Рыскод топлива за сутки пробег	Примеч.
				время часа, мин.	показания спидометра			время часа, мин.	показания спидометра		
17.07	1	Гараж	23	7ч.15м.	21531,2	Киргичи-3-д	48	7ч.24,6м.	21536,9		
19.07	2	Киргичи-3-д	48	8ч.19м.	21536,9	Объект	60	8ч.28,5м.	21539,6		
г.	3	Объект	60	9ч.07,5м.	21539,6	Киргичи-3-д	56	9ч.14,6м.	21542,1		
	4	Киргичи-3-д	56	10ч.23м.	21542,1	Объект	64	10ч.50,3м.	21552,1		
	5	Объект	64	11ч.18,6м.	21552,1	Киргичи-3-д	62	11ч.36,8м.	21562,1		
	6	Киргичи-3-д	62	14ч.21м.	21562,1	Объект	64	14ч.42м.	21572,1		
	7	Объект	64	16ч.04м.	21572,1	Гараж	62	16ч.23,8м.	21588,3	30,16 л	
19.07	1	Гараж	22	7ч.21м.	21589,2	Киргичи-3-д	47				

И так далее

соответствовало вероятной ошибке измеряемой величины.



Рис. 42. Сглаживание экспериментальных данных.

Так как графики обычно строятся на миллиметровке, то деление в один миллиметр должно соответствовать ошибке. Три масштаба, представленные на рис. 43, наглядно это иллюстрируют: вероятная ошибка в определении переменной Y составляет примерно 0,01, поэтому только средний масштаб может обеспечить необходимую точность считывания.

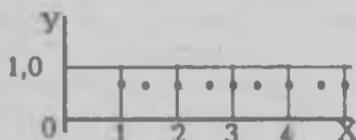
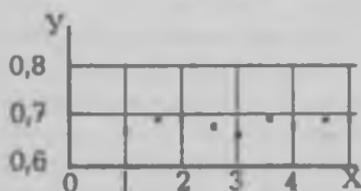
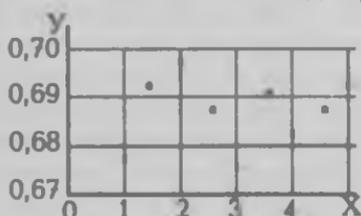


Рис. 43. Зависимость точности считывания с графика от его масштаба.

Другое практическое правило заключается в том, что масштаб ординаты на графиках целесообразно увеличить, не стремясь к квадратному графику с тем, чтобы угловой коэффициент прямой (если на графике построена прямая) был бы больше единицы.

При обработке данных эксперимента проводимого по классическому плану, применяют кроме графических, так же статистические методы. Главным образом, это методы статистической обработки большого количества данных измерений или наблюдения и вычисление статистических характеристик вариационных рядов, а так же определение ошибок измерений, и тому подобное (см. Раздел 3). Особенно широко используются статистические методы при исследовании надежности тех или иных систем и агрегатов автомобилей, при исследованиях, связанных с массовыми наблюдениями в области технического обслуживания и ремонта автомобилей и при ряде других экспериментов.

Помимо статистических методов в "классическом" эксперименте популярно использование математических методов, главным образом, для вывода по экспериментальным данным эмпирических формул. Под последними понимается чисто математическая зависимость, описывающая конкретную экспериментальную кривую без учета физической связи между переменными. Для получения эмпирической формулы необходимо подобрать её тип, что делается сравнением экспериментальной кривой с набором кривых, для которых имеются соответствующие уравнения. Следующий этап - определение коэффициентов этих уравнений с помощью способа наименьших квадратов или с помощью менее трудоемкого способа избранных точек.

Способ избранных точек заключается в том, что на сглаженной кривой намечаются несколько точек по количеству коэффициентов в уравнении и значениях x и y , соответствующие этим точкам вставляются в выбранное уравнение. Система полученных таким образом уравнений решается относительно искомым коэффициентов.

Например, в $y = ax^b$, а по экспериментальной кривой намечены две точки (два коэффициента a и b) с координатами $x_1 = 0,5$ и $y_1 = 0,3$ и $x_2 = 0,8$ и $y_2 = 0,9$. Логарифмируя формулу и подставляя координаты этих двух точек, получаем два уравнения

$$\ln = 0,3 = \ln a + b \ln 0,5$$

$$\ln = 0,9 = \ln a + b \ln 0,8$$

Из этих уравнений получаем, что $a = 1,49$ и $b = 2,32$. Следовательно, эмпирическая формула будет такой

$y = 1,49 x^{2,32}$, а расчетная по этой формуле кривая будет иметь расхождение с экспериментальной кривой не более 3,6% при средних и больших значениях (рис. 44).

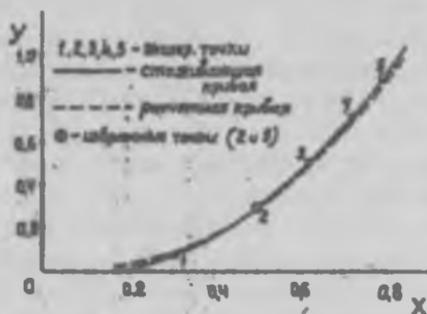


Рис. 44. Получение эмпирической формулы методом избранных точек.

Обработка эксперимента по рандомизированному плану. Как правило, исследователя в области эксплуатации автомобильного транспорта, как впрочем и в ряде других областей, интересует получение в результате эксперимента функциональной зависимости между исследуемыми величинами или хотя бы графического представления этой зависимости для частных случаев. Если при "классическом" эксперименте, свести его результаты к графическому образу не представляет затруднений, то результаты "рандомизированного" эксперимента требуют сложной обработки для получения графиков или эмпирических формул. Во многих случаях, особенно при проведении так называемых поисковых экспериментов, когда сущность исследуемого явления не ясна и влияние различных факторов на функцию цели неизвестно, тогда исследователю необходимо получить сведения о степени влияния каждого фактора на результат и на наличие взаимодействия между факторами.

Таким образом, с точки зрения конечной цели эксперимента, можно их разбить на две группы: эксперименты

с ограниченной задачей установить степень влияния различных факторов на функцию цели и эксперименты с полной задачей установить функциональную связь между факторами и найти хотя бы эмпирическую формулу для функции цели.

В зависимости от группы, к которой принадлежит "рандомизированный" эксперимент, применяются различные методы обработки и анализа результатов эксперимента: статистические и не статистические - детерминированные.

Далее в параграфах 7 и 8 рассматриваются подробно два метода обработки и анализа результатов экспериментов: статистический - дисперсионный анализ и детерминированный - анализ усредненных результатов по методу случайного баланса.

7. Элементы дисперсионного анализа.

Задачей дисперсионного анализа является оценка влияния одного или нескольких факторов (независимых переменных) на функцию цели или отклик. Сущностью метода является сравнение показателей вариации (колеблемости), то есть дисперсией всей совокупности результатов.

Так как план эксперимента рандомизированный, то есть случайный, то результаты измерений или наблюдений в целом заключаются в себе влияние всех управляющих факторов. Степень вариации всей совокупности результатов также зависит от влияния факторов. Если с помощью специальных методов установить "вклад" каждого фактора в общую колеблемость совокупности, то этим самым устанавливается степень влияния каждого фактора на результат.

Рассмотрим простейший случай: на отклик Y воздействует один фактор, который имеет k уравнений и на каждом его уровне проводится n измерений (рис. 45), то есть всего $N = k \cdot n$ измерений. Очевидно, что на каждом уровне фактора имеется некоторый разброс вокруг среднего положения (жирная кривая), поэтому каждое i -тое измерение на j -том уровне, то есть y_{ij} будет равно следующей величине

$$Y_{ij} = \mu + T_j + \varepsilon_{ij}, \quad (33)$$

где μ - общее среднее всех N опытов,

T_j - "эффект" j -того уровня, то есть разность между средним

значением результатов опытов на j -том уровне и общим средним эксперимента,

ϵ_{ji} - случайная ошибка i -того измерения на j -том уровне, то есть отклонение этого i -того измерения от средней на j -том уровне фактора.

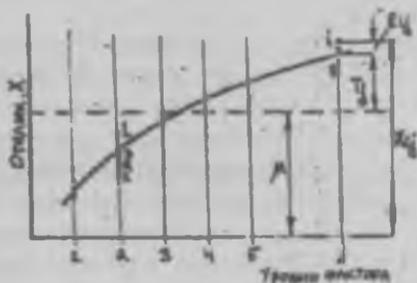


Рис. 45. Графическая интерпретация математической модели однофакторного эксперимента.

Выражение (33) часто называют математической моделью рандомизированного плана однофакторного эксперимента.

Перепишем (33) несколько иначе и заменим входящие в него величины разностями:

$T_j = y_j - \bar{y}$, где y_j - среднее значение результатов i опытов на j -том уровне и $\bar{y} = \mu$,

$\epsilon_{ji} = y_{ji} - y_j$; получим следующее тождество

$$y_{ji} - \bar{y} = (y_j - \bar{y}) + (y_{ji} - y_j) \quad (33.1)$$

Если возвести в квадрат левую и правую части (33.1) и просуммировать результаты по всем уровням фактора и по всем измерениям на каждом уровне, то получим следующее выражение:

$$\sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y})^2 = \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^m (y_j - \bar{y})^2 + \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^m (y_{ji} - y_j)^2 \quad (34)$$

$$\text{т.к. } 2 \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^m (y_j - \bar{y})(y_{ji} - \bar{y}) = 2 \sum_{j=1}^j (y_j - \bar{y}) \cdot \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}) = 0$$

Для сокращения письма двойной знак суммы заменяются на SS и тогда (34) получит такую форму

$$SS_{\text{общ}} = SS_{\text{фак}} + SS_{\text{ошиб}} \quad (34.1)$$

Выражение (34.1) является основным уравнением дисперсионного анализа и читается так: сумма квадратов отклонений от общего среднего равна сумме квадратов отклонений средних по уровням фактора об общего среднего плюс сумма квадратов отклонений внутри испытаний на каждом уровне. Суммы квадратов в дисперсионном анализе часто называют просто дисперсией и следовательно, судя по (34.1) это выражение есть несколько измененная форма правила сложения дисперсий (24), так как общая дисперсия совокупности результатов опытов расчленяется на дисперсию факториальную, зависящую от влияния фактора и случайную или дисперсию ошибки эксперимента.

Факториальная дисперсия аналогична межгрупповой дисперсии, а дисперсия ошибки - внутригрупповой, которые были рассмотрены в разделе 3, п.3.

Сравнивая эти дисперсии, определяют, является ли влияние фактора на величину цели существенно отличным (как говорят, значимым) от влияния случайных причин или это влияние тоже случайно.

При сравнении дисперсий применяются дисперсии, рассчитанные на одну степень свободы варьирования, их именуют средней суммой квадратов или средним квадратом. Таким образом, в дисперсионном анализе применяют дисперсию равную $SS : r$ - где r - число степеней свободы

Число степеней свободы для общей, суммарной дисперсии равно общему числу независимых измерений (повторных или неповторных) - N без одного то есть

$$r_{\text{общ}} = N - 1.$$

Число степеней свободы для факторной дисперсии равна числу его уровней без одного, то есть

$$r_{\text{фак}} = k - 1,$$

а число степеней свободы для дисперсии ошибки равно разности $r_{\text{ош}} = r_{\text{общ}} - r_{\text{факт}} = N - k$.

Так, например, для однофакторного эксперимента, в котором фактор менялся на четырех уровнях, а всего было выполнено три измерения на каждом уровне, число степеней свободы будет равно:

- для общей дисперсии (дисперсии комплекса)

$$r_{\text{с}} = 4 \times 3 - 1 = 11,$$

- для факториальной дисперсии

$$r_{\text{фр}} = 4 - 1 = 3$$

- для ошибки эксперимента

$$r_{\text{ош}} = 11 - 3 = 8.$$

Для вычисления суммы квадратов из формулы (34) применяют такие выражения, которые основываются на формуле (20.2):

- общая сумма квадратов

$$SS_{\text{общ}} = \sum_{\alpha} \sum_{\beta} y_{\alpha\beta}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{\alpha} \sum_{\beta} y_{\alpha\beta} \right)^2 = G - H$$

- факториальная сумма квадратов

$$SS_{\text{фак}} = \sum_{\alpha} \frac{1}{n_{\alpha}} \left(\sum_{\beta} y_{\alpha\beta} \right)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{\alpha} \sum_{\beta} y_{\alpha\beta} \right)^2 = B - H$$

- сумма квадратов ошибки

$$SS_{\text{ош}} = \sum_{\alpha} \sum_{\beta} y_{\alpha\beta}^2 - \sum_{\alpha} \frac{1}{n_{\alpha}} \left(\sum_{\beta} y_{\alpha\beta} \right)^2 = G - B$$

Для четкого уяснения процедуры расчета в однофакторном дисперсионном анализе составляется таблица результатов эксперимента у_{ij} с одним фактором (табл.19). Из этой таблицы отбираются данные для подсчета общей и факториальной дисперсии (сумм квадратов) и дисперсии ошибки и составляется таблица дисперсионного анализа (табл. 20).

Результаты однофакторного эксперимента и их первичная обработка

Номера опытов	Уровни фактора					Общие суммы и средние по фактору	Формулы для расчета суммы квадратов
	1-ый	2-ой	j-ый	...	k-ый		
1	y_{11}	y_{21}	y_{j1}	...	y_{k1}		
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮		
i	y_{i1}	y_{i2}	y_{ij}	...	y_{ik}		$G = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮		
n	y_{n1}	y_{n2}	y_{nj}	...	y_{nk}		
суммы 1-го порядка по уровням	$\sum_{i=1}^n y_{i1}$	$\sum_{i=1}^n y_{i2}$	$\sum_{i=1}^n y_{ij}$	...	$\sum_{i=1}^n y_{ik}$	$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n y_{ij}$	$H = \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n y_{ij} \right)^2$
средние по уровням фактора	$\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n y_{i1}$	$\frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n y_{i2}$	$\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^n y_{ij}$	...	$\frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^n y_{ik}$	$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n y_{ij}$	-
суммы 2-го порядка по уровням	$\frac{1}{n_1} \left(\sum_{i=1}^n y_{i1} \right)^2$	$\frac{1}{n_2} \left(\sum_{i=1}^n y_{i2} \right)^2$	$\frac{1}{n_j} \left(\sum_{i=1}^n y_{ij} \right)^2$	...	$\frac{1}{n_k} \left(\sum_{i=1}^n y_{ik} \right)^2$	$\sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n y_{ij} \right)^2 = B$	

Однофакторный дисперсионный анализ.

Источник рассеяния (колебле- мости)	Число степеней свободы r	Сумма квадратов (диспер- сия) SS	Средний квадрат $\frac{SS}{r}$	Анализ		
				F - крите- рий	Корреляц. отношение $\times 100$	Вы- воды
Между уровнями фактора T_j	$K - 1$	$B - H$	$\frac{B - H}{K - 1}$	$\frac{B - H}{G - B} \cdot \frac{N - K}{K - 1}$	$\frac{B - H}{G - H} 100$	
Внутри испытаний на каждом уровне фа- ктора (ошибка) ϵ_j	$N - 1$	$G - B$	$\frac{G - B}{N - K}$	-	$\frac{G - B}{G - H} 100$	

Анализ полученных средних квадратов заключается в проверке статистической гипотезы (см. Раздел III, п.6) о том, что никаких эффектов уровней фактора нет ($T_j = 0$) и каждый результат измерений y_{ij} является средним для совокупности μ со случайной ошибкой ϵ_{ij} . Постановка такой гипотезы в однофакторном эксперименте характерно для испытаний однотипных узлов, систем или механизмов, работающих в совершенно одинаковых условиях, но у которых предполагается возможность различного "выхода", например, различного коэффициента полезного действия, расхода энергии или др. показателей.

Сравнение дисперсий фактора и ошибки производят по так называемому критерию (критерий Фишера), который представляет собой отношение средних квадратов (дисперсий) фактора и ошибки. Этот критерий называется эмпирическим или опытным. Имеются специальные таблицы так называемого стандартного критерия Фишера, построенные для различных доверительных вероятностей, обычно 0,9; 0,95 и 0,99 и в зависимости от числа степеней свободы.

Если $F_2 > F_c$, то нулевая гипотеза $H_0 : T_j = 0$

отвергается и принимается так называемая альтернативная гипотеза о том, что имеется существенная разница между результатами по уровням фактора и что эффект уровня существует.

Корреляционное отношение (не смешивать с коэффициентом корреляции) указывает долю (удельный вес) вариаций, рассеяния фактора в результате испытаний.

Более сложный дисперсионный анализ трехфакторного рандомизированного эксперимента с планом типа латинский квадрат 3x3, выполнен на основе примера в п.5 об утомляемости водителей. В этом примере, утомляемость оценивалась по 12-ти бальной шкале и в эксперименте участвовало 36 водителей разного возраста.

Основными факторами приняты: возраст - В, продолжительность пребывания в наряде - Т и автотранспортное предприятие - А. Каждый фактор варьирования на трех уровнях: В₁, В₂ и В₃; Т₁, Т₂ и Т₃ и А₁, А₂, А₃ Всего исследовалось девять комбинаций факторов и план эксперимента был выбран следующий:

Возраст водителей	Предприятие					
	А ₁		А ₂		А ₃	
	1	Т ₃	2	Т ₂	3	Т ₁
	4	Т ₁	5	Т ₃	6	Т ₂
	7	Т ₂	8	Т ₁	9	Т ₃
Фактор Т - продолжительность						

Каждая комбинация факторов исследовалась четыре раза, то есть повторность опытов равнялась $m = 4$, а всего было выполнено следующее количество опытов

$$N = n^2 m = 9 \times 4 = 36 \text{ опытов.}$$

Результаты опытов представлены в таблице 21, на которой выполнена также и некоторая обработка результатов: их суммирование.

Таблица 21.

Результаты эксперимента и их суммирование.

B ₁	330,75	5,25	63	1	0,1	18	2	9,10	469	3	2,2	60	34	2,83	96,33	T ₁
				4	1,4		5	12,12		6	4,6		81	6,75	546,75	T ₂
B ₂	40,33	1,83	22	4	2,5	39	5	0,1	18	6	0,0	17	21	1,75	36,75	T ₃
				7	3,1		8	1,4		9	1,4		136	↑	679,83	
B ₃	216,75	4,25	51	7	6,8	293	8	0,2	33	9	2,1	31	средние по уров нем	↑	суммы 2-го порядка	
				12,7			136	58		28			553,99			
	587,83	↑	средние по уровням	4,17			4,83		2,33			65,33				
			суммы 2-го порядка по факторам	208,33			280,33		65,33			A ₁	A ₂	A ₃		

Суммирование производится по уровням факторов, следовательно, по строкам (фактор В), по столбцам (фактор А) и по ячейкам (фактор Т). Суммирование по ячейкам, в соответствии с планом осуществлялось следующим образом

$$\sum_1^3 T_1 = 2 + 5 + 3 + 1 \text{ (ячейка ;)} \text{ плюс } 0 + 2 + 2 + 5$$

(ячейка 8) и плюс $2 + 2 + 4 + 6$ (ячейка 3) = 34. Аналогично для фактора Т₂ сумма всех результатов по ячейкам 7, 2 и 6 и для фактора Т₃ - ячейки 1, 5 и 9. Цифры в квадратах внутри ячеек - суммы квадратов четырех результатов в каждой ячейке. Общая средняя по всем 36-ти результатам равна

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 y_{ijk} = \frac{D}{N} = \frac{136}{36} = 3,78$$

где $i = 1, 2, 3$ - уровни фактора в $j = 1, 2, 3$ - уровни фактора Т и $K = 1, 2, 3$ - уровни фактора А.

Конечно, математическая модель трехфакторного эксперимента существенно сложнее однофакторного (34), поэтому ниже производится схема и выполнение вычислительной процедуры дисперсионного анализа без выписывания формул суммы квадратов, и с упрощенной символикой.

Прежде всего, ведется подсчет отдельных членов сумм квадратов:

(1) - квадрат общей суммы результатов наблюдений D, отнесенный к общему количеству наблюдений N (соответствует члену N в таблице 19).

$$\frac{D^2}{N} = \frac{136^2}{36} = 513,78$$

(2) - сумма квадратов всех результатов 36-ти наблюдений, сумма всех чисел в квадратах ячеек таблицы 21.

$$\sum_1^{36} y_{ij}^2 = 978,00$$

(3) - сумма 2-го порядка по уровням фактора Т (из таблицы 21):

$$\sum T^2 \cdot nm = 679,83$$

(4) - сумма 2-го порядка по уровням фактора А

$$\sum A^2 \cdot nm = 553,99$$

(5) - сумма 2-го порядка по уровням фактора В

$$\sum_{B^2}^2: nm = 587,83$$

(6) - сумма квадратов сумм результатов 4-х наблюдений во всех ячейках латинского квадрата, отнесенная к количеству наблюдений в каждой ячейке

$$\sum (ABT)^2: m = 878,50$$

Факториальные суммы квадратов равны

$$SS_A = (4) - (1) = 40,21$$

$$SS_B = (5) - (1) = 74,05$$

$$SS_T = (3) - (1) = 166,05$$

Общая сумма квадратов (всего комплекса)

$$SS_{\text{общ}} = (2) - (1) = 464,22$$

Сумма квадратов между девятью ячейками латинского квадрата $SS_{\text{мя}} = (6) - (1) = 364,72$

Сумма квадратов внутри ячеек латинского квадрата

$$SS_{\text{мя}} = (2) - (6) = SS_{\text{общ}} - SS_{\text{мя}} = 99,50$$

Сумма квадратов для остатка, который оценивает ошибку эксперимента, если нет взаимодействия факторов, если же они имеются, то остаточная сумма квадратов совокупно ошибке и взаимодействию.

$$SS_{\text{ост}} = SS_{\text{мя}} - (SS_A + SS_B + SS_T) = (6) - (1) - (3) - (4) - (5) + (1) = 84,41$$

Далее составляется таблица дисперсионного анализа с тем, чтобы проверить гипотезу о том, что взаимодействия незначимы.

Для 95%-ой доверительной вероятности и при степенях свободы $t_{\text{ср}} = 2$ и $Z_{\text{эл}} = 27$.

Величина стандартного критерия Фишера равна $F_c = 3,35$, то есть много меньше эмпирического F - критерия (см. Табл. 22). Поэтому нулевая гипотеза отвергается и следует признать альтернативную гипотезу о том, что взаимодействия существуют. Этот вывод очевиден и из логических соображений. Более того, можно полагать, что значимым является взаимодействие факторов В и Т, то есть возраста и продолжительности и что фактор А не дает взаимодействий с другими факторами. Следовательно, можно считать, что взаимодействия АВ и АТ совершенно незначимы, а эффект, то есть влияние на результат фактора А смешался (не путать с взаимодействием) с взаимодействием ВТ, который теперь как самостоятельно оцениваемый фактор.

Таблица 22.

Трехфакторный дисперсионный анализ.

Источник рассеяния	Число степеней свободы		Сумма квадратов	Средний квадрат	Анализ	
	фор- мула	число			критерий	корреля- ционное отношение
Фактор А	-1	2	40,21	20,11	5,45	8,66
Фактор В	-1	2	74,05	37,02	10,03	15,95
Фактор Т	-1	2	166,05	83,02	22,50	35,78
Внутри ячейки		27	99,50	3,69	-	21,43
Остаток		2	84,41	42,21	11,44	18,18
Общий		35	464,22	13,26	-	100,00

Таким образом взаимодействия ВТ можно считать равным $SS_{BT} = SS_{ост} + SS_A = 84,41 + 40,21 = 124,62$.

Теперь можно выполнить пересчет таблицы дисперсионного анализа в табл.22 и получить таблицу 23.

В качестве нулевой, выдвигается гипотеза о том, что никаких эффектов факторов В и Т и их взаимодействия нет, поэтому экспериментальные критерии Фишера подсчитывались как отношения средних квадратов к ошибке. Согласно табличных данных, при доверительной вероятности 0,95 и соответствующих степенях свободы $Z_v = 2$ $Z_t = 2$ и $Z_{vt} = 4$, $Z_{вз} = 27$ имеем следующие стандартные значения F - критерия:

$$(F_c)_v = 3,35 < F_{\alpha}, \quad (F_c)_t = 3,35 < F_{\alpha} \text{ и } (F_c)_{vt} = 2,73 < F_{\alpha}.$$

Таблица 23.

Источник рассеяния	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Анализ	
				критерий	корреля- ционное отношение
Фактор В	2	74,05	37,02	11,02	15,95
Фактор Т	2	166,05	83,03	26,28	35,77
Взаимодействие факторов В и Т	4	124,62	31,16	9,86	26,85
Ошибка внутри ячеек	27	99,50	3,69	-	21,43
Общий	35	464,22	13,26	-	100,00

Так как стандартный F - критерий меньше и во много

раз экспериментального, нулевая гипотеза отвергается и, следовательно, факторы В и Т и их взаимодействие весьма значимо. Вклады, который каждый из факторов вносит в функцию цели, распределяются следующим образом: самым существенным влиянием на утомляемость водителя оказывает продолжительность смены, на втором месте - взаимодействие возраста и продолжительность смены, а возраст сам по себе оказывает влияние меньше, чем возможная ошибка эксперимента. Последнюю следует считать очень значительной. Такая существенная погрешность эксперимента объясняется, главным образом, довольно субъективной оценкой утомляемости в баллах. Несмотря на большую ошибку эксперимента, его результаты весьма показательны. В теории дисперсионного анализа рассматриваются методы более детального исследования результатов опытов, дающие некоторый дополнительный материал для выводов, однако, дисперсионный анализ не может дать исследователю возможность установить какие-либо зависимости, а тем более разработать расчетную формулу.

8. Основные методы случайного баланса.

Метод случайного баланса заключается в том, что результат эксперимента спланированного по типу латинского квадрата, суммируются по уровням каждого из факторов, очевидно, что в каждую из этих сумм попадают в случайном порядке и результаты, зависящие от остальных факторов. Если производится усреднение, то есть по каждой сумме находят среднее значение результатов, соответствующих данному уровню одного из факторов, то влияние всех остальных факторов на это среднее значение, уравнивается. Следовательно, усредненные результаты эксперимента будут зависеть от одного данного фактора при средних значениях всех остальных.

Таким образом, метод случайного баланса позволяет получить некоторые частные зависимости усредненных результатов от каждого из факторов, которые могут быть представлены в табличной или графической форме. По таблице или кривой усредненных результатов от фактора можно найти соответствующую эмпирическую формулу.

Усреднение производится нахождением либо средней

арифметической, либо средней геометрической. В последнем случае результаты опытов логарифмируют и находят среднее арифметическое значение логарифмов результатов, а затем потенцированием находят среднее геометрическое значение результатов на данном уровне заданного фактора.

Эмпирические формулы зависимостей усредненных результатов от фактора не могут быть, естественно, использованы непосредственно для расчетов, но после некоторой их обработки, о которой рассказано далее, составляется расчетная эмпирическая формула.

Подробности метода случайного баланса рассматриваются на конкретном примере испытания автомобильного двигателя. В эксперименте определяется удельный расход топлива g гр/лсч при четырех значениях использования мощности двигателя $N: 100\%, 75\%$ и 30% . На четырех уровнях поддерживалась температура охлаждающей воды $t^\circ: 45, 60, 75$ и 90°C .

Эксперимент спланирован по типу латинского квадрата 4×4 . План рандомизирован и представлен в таблице 24. Как видно, уровни температуры в латинском квадрате распределены случайным образом и так чтобы невозможных комбинаций не было.

Результаты эксперимента и их обработка представлены ниже на той же таблице 24. Все результаты прологарифмированы, выполнено их суммирование по всем трем факторам: n , N и t_i по всем четырем уровням каждого. Полученные суммы логарифмов усреднены, то есть разделены каждая на четыре (4-е измерение в каждом столбце и строке), после чего выполнено потенцирование и таким образом получены средние геометрические значения результатов эксперимента. Например, по фактору n (обороты коленчатого вала двигателя) получены как видно из таблицы 24 следующие усредненные значения удельных расходов топлива: $1000 \text{ об/м} - 320 \text{ гр/лсч}$, $1600 \text{ об/м} - 285 \text{ гр/лсч}$, $2200 \text{ об/м} - 303 \text{ гр/лсч}$ и $2800 \text{ об/м} - 373 \text{ гр/лсч}$.

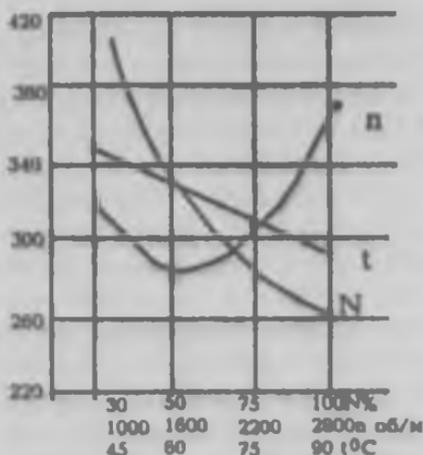


Рис. 46. Сглаживающие кривые, проведенные по экспериментальным точкам.

Графическое представление о частных зависимостях усредненных результатов от всех трех факторов на рис. 46. Как видно, по экспериментальным точкам хорошо проходят сглаживающие кривые, достаточно плавные, чтобы получить точные эмпирические формулы.

Для кривых усредненных зависимостей выбраны следующие типы формул: $\bar{g}_N = \alpha N^{-b}$ $\bar{g}_n = \alpha - \beta n + \gamma n^2$ $\bar{g}_t = A - Bt$

Таблица 24.

План эксперимента - латинский квадрат

$N \backslash n$	1000	1600	2200	2800
100	100	60	75	90
75	75	75	45	60
50	50	45	90	75
30	30	90	60	45

Температура $t^\circ\text{C}$

Результаты эксперимента $g \text{ T/лсч.}$

302	249	240	275
287	253	280	335
334	312	300	390
361	335	417	537

Обработка результатов эксперимента.

N %	\bar{g}_n	$\log \bar{g}_n$	$\sum \log \bar{g}_n$	Логарифмы результатов, $\log g_i$				$\sum \log g_i$	$\log \bar{g}_i$	\bar{g}_i	$t^\circ\text{C}$
100	265	2,424	9,695	2,480	2,396	2,380	2,439	9,899	2,475	298	90
75	287	2,458	9,833	2,458	2,403	2,447	2,525	10,065	2,516	328	60
50	332	2,522	10,086	2,524	2,494	2,477	2,591	9,932	2,483	304	75
30	406	2,608	10,433	2,558	2,525	2,620	2,730	10,151	2,538	345	45

$\sum \log g_i$	10,019	9,819	9,925	10,285
$\log \bar{g}_n$	2,505	2,455	2,481	2,571
\bar{g}_n	320	285	303	373
п об/м	1000	1600	2200	2800

Матрица ковариат К

10,323	10,052	9,832	9,336
10,487	10,175	9,331	9,541
9,385	9,558	10,007	10,360
9,140	9,715	10,335	10,278
		$\times 10^4$	

Среднее значение $K_c = 9,878 \cdot 10^{-4}$

Значения коэффициентов в этих формулах определялись методом избранных точек (см.п.б. Этого раздела). Рассмотрим этот расчет на примере третьей формулы. Это прямая с отрицательным угловым коэффициентом, по сравнению с другим кривыми, экспериментальные точки не ложатся точно на прямую. Прямая имеет координаты (46 , 346 г/лсч) и (30 , 393 г/лсч). По этим координатам записываются два уравнения

$$\begin{array}{r} 346 = A + 45B \\ - 293 = A + 90B \\ \hline 53 = - 45B \end{array}$$

После вычитания получаем, что $B = 1,18$, округляем до 1,2. Подставляя это значение коэффициента B в первое уравнение, получим значение коэффициента $A = 400$, таким образом эмпирическая формула для частной зависимости $g = f(t)$ при усредненных значениях остальных факторов N и p следующая

$$g_t = 400 - 1,2t$$

Аналогичным методом получаем следующие эмпирические формулы

$$g_N = 1485N - 0,38$$

$$g_n = 49 - 0,25n + 0,0000733 n^2,$$

где N - в процентах от максимальной мощности двигателя;
 n - в оборотах в минуту.

Точность расчетов по этим формулам колеблется от 0,3% до 2,7%. Однако, как уже известно, использовать их для конкретных расчетов нельзя. Должна быть найдена общая эмпирическая формула по которой можно будет вести расчеты для любых заданных значений факторов N, n и t .

В технических задачах, в подавляющем большинстве случаев, как показывает специальный анализ, расчетные рациональные и эмпирические формулы представляют произведение степеней функций от независимых переменных или функция отклика является произведением значений независимых переменных в той или иной степени, то есть имеет следующий вид

$$R_d = kx^a y^b z^c, \quad (35)$$

где R_d - искомый результат или функция цели,

х_{уз} - независимые переменные или задаваемые значения факторов;

k - некоторый постоянный коэффициент (константа).

Формулу (35) можно представлять так же в следующем виде

$$R_{ц} = k(R_x, R_y, R_z), \quad (35.1)$$

где R_x, R_y, R_z - осредненные результаты эксперимента по факторам x, y, z.

В таблице 24 величине R_ц соответствуют значения удельного расхода топлива, помещенные в таблице результатов, а величина R_x, R_y, R_z - значение средних по уровням соответствующих факторов. Формулу (35.1), следовательно, для данного случая следует переписать в таких обозначениях

$$g = k \bar{g}_N \bar{g}_n \bar{g}_t \quad (35.2)$$

В этой формуле известны все члены (получены в эксперименте) кроме константы, которая очевидно может быть определена по выражению

$$k = \frac{g}{\bar{g}_N \bar{g}_n \bar{g}_t} \quad (35.3)$$

Расчет константы для первого варианта эксперимента: результат $g = 302$ гр/лсч. Этому результату соответствуют:

$\bar{g}_N = 265$ гр/леч при $N = 100\%$, $\bar{g}_n = 320$ гр/леч при $n = 1000$ об/м и $\bar{g}_t = 345$ гр/леч при $t = 45^\circ \text{C}$.

Результаты расчетов сведены в матрицу констант (табл.24), определенных по всем 16-ти вариантам эксперимента. Имеется некоторый разброс значений констант (от $9,14 \cdot 10^4$ до $10,487 \cdot 10^4$), зависящий от ошибок эксперимента - неточное фиксирование факторов на заданных уровнях, а также неполного соответствия формулы (35) фактическому соотношению между независимыми переменными.

Среднее значение константы по всей матрице равно $k_{ср} = 9,878 \cdot 10^4$.

Если в формулу (35.3) подставить среднее значение константы и соответствующие частные эмпирические формулы для $\bar{g}_t = f(t)$, $\bar{g}_N = f(N)$ и $\bar{g}_n = f(n)$ и произвести несложные преобразования, то в результате будет получена следующая общая эмпирическая формула для удельного

расхода топлива в зависимости от оборотов, мощности и температуры двигателя:

$$g = N^{0,38} [2910 + 1,29 \cdot 10^6 (333-t)n^2 - 8,73t - 0,0044(333-t)n] \text{ гр/лсч} \quad (36).$$

Для проверки формулы (36) в таблице 25 собраны некоторые данные перерасчета полученных в эксперименте результатов.

Таблица 25.
Проверочный перерасчет по эмпирической формуле (36).

№№ по пор.	Режим испытания			Эксперимент результат	Расчетный результат	Погрешность		Примечание
	n об/м	N %	t °C			абсолютн	в %	
1	1000	100	45	302	282	20	6,6	
2	2800	30	45	537	516	21	3,9	
3	1600	30	90	335	334	1	0,3	
4	2800	50	75	390	381	9	2,3	
5	1600	75	75	253	250	3	1,2	
Средние							2,86	

Режимы испытаний взяты в случайном порядке из плана эксперимента (табл.24). Ошибка, то есть расхождение расчетного значения и экспериментального, оказалась незначительной, по пяти режимам средняя ошибка всего 2,83 и лишь в одном случае она достигла 6,6%. Таким образом, рассмотренный метод является весьма эффективным.

Если бы возникла задача о выяснении того, какой из факторов: N%, n об/м или t°C оказывает на удельный расход топлива наибольшее влияние, то следовало бы произвести расчет по методу дисперсионного анализа, который разбирался в предыдущем параграфе.

Эмпирическая формула (36) позволяет рассчитывать и строить графики для любых режимов работы двигателя.

9. Использование вычислительной техники.

При планировании и анализе результатов эксперимента приходится выполнять в большинстве случаев значительное количество самых разнообразных вычислений: определение средних арифметических, дисперсий, расчетов по эмпирическим формулам и др. И хотя сами по себе эти вычисления несложны, но их количество отнимает очень много времени.

Существенную помощь в таких вычислениях может оказать современная вычислительная техника, располагающая широким ассортиментом электронных вычислительных машин портативных микрокалькуляторов и до больших стационарных действующих цифровых машин и других, так называемого дискретного действия (ЭВЦМ).

Электронные вычислительные машины перерабатывают информацию, закодированную (обозначенную) в виде информационных сигналов всего двумя цифрами, так называемого двоичного счисления, то есть цифрами единица и ноль. Основание двоичной системы 2 - изображается в этой системе как "10". Десятичное число 9 в двоичной системе запишется как 1001. Так вот, любая ЭВМ "читает", "запоминает" и "демонстрирует" числа и операции над числами, изображенные только этими двумя цифрами, которым соответствуют устойчивые состояния электронного элемента ЭВМ: триггера, конденсатора, реле. Если, например, конденсатор заряжен - единица, если разряжен, то ноль.

Электронная вычислительная машина, будь то микрокалькулятор или ЭВМ, имеет четыре основных устройства:

- запоминающее (память) - оперативное (ОЗУ) и постоянное (ПЗУ),
- арифметико-логическое (АУ),
- управляющее (УУ),
- ввод и вывод.

Порядок решения любой задачи с помощью вычислительной машины заключается в следующем. Все исходные числовые данные задачи и программа её решения, то есть полный алгоритм счета (последовательность всех элементарных операций над числами) заносятся на перфокарты, перфоленту или магнитную ленту и вводятся в

память ЭВМ с помощью устройства ввода.

В микрокалькуляторе устройство ввода - кнопочная панелька. Через управляющее устройство подается сигнал (команда) на начало счета и автоматически вызываются из памяти соответствующие исходные данные и сведения о первой элементарной операции программы, которые транслируются в арифметико-логическое устройство. УУ передает в АУ необходимые команды для выполнения первой операции.

После выполнения команды и получения с помощью первой элементарной операции какого-то результата, последний пересылается управляющим устройством в память машины и затем из неё извлекаются необходимые данные и команды для выполнения следующей очередной операции программы.

Когда вся программа будет выполнена, окончательные результаты извлекаются из ОЗУ по команде УУ и выдаются оператору с помощью выводного устройства. Выводное устройство выполняется в виде быстропечатающей машинки, которая печатает результаты на бумажной ленте (табулограммы) или в виде так называемого дисплея (светового табло) с алфавитно-цифровым индикатором, либо графического дисплея, на котором вычерчивается световой график.

Использование при различных вычислительных микрокалькуляторов и ЭВМ в два и более раза сокращает время вычислений, особенно если микрокалькулятор снабжен устройством для вычисления статистических характеристик: средних значений и дисперсий или обладает возможностью программирования однотипных вычислений по формулам. При расчетах на микрокалькуляторах ЭВМ полностью отпадает необходимость обращения к таблицам логарифмов, тригонометрических функций, обратных чисел и др. Это так же существенно облегчает обработку экспериментальных данных.

Быстродействие микрокалькуляторов характеризуется тем, что на сложение или вычитание двух восьмиразрядных чисел затрачивается менее 0,05 секунд, а на вычисление тригонометрических или показательных функций - от 0,5 до 1,5 секунд, в зависимости от сложности функции.

Стационарные ЭВМ обладают несравненно большим

быстродействием и выполняют сотни тысяч арифметических операций за одну секунду, что позволяет их использовать при любом, самом большом объеме вычислений. Составление программ решения задач по обработке результатов экспериментов или вычислительных процедур при планировании и анализе выполняется в настоящее время на так называемых алгоритмических или машинных языках Фортран, Алгол, PL/1, Ассемблер. Словарь этих языков содержит несколько слов - десять, пятнадцать, обычно английских. Каждое слово представляет собою команду на выполнение определенной типовой группы элементарных арифметических операций и соответствующих операций по пересылке (трансляции) данных из ОЗУ в УА и обратно или операций по вводу и выводу данных.

Так, например, при использовании перфокарт для ввода данных в машину, на языке Фортран применяется так называемый оператор ввода - слово READ (читать). Оператор - слово DIMENSION (размерность) указывает на объем памяти, необходимой для выполнения расчетов, оператор - слово FORMAT (размер) указывает число значащих цифр, и т.д.

Составление программ для ЭВМ является достаточно сложным и трудоемким делом, требующим от программиста профессиональной подготовки.

Вычислительная техника в виде АВМ и ЭВМ применяется не только для расчетов, но все шире используется в настоящее время для проведения так называемых математических экспериментов, то есть для моделирования поведения сложных динамических систем. Часто случается, что проведение натуральных испытаний такой системы, по различным причинам, невозможно, математическое же выражение ее проведения, то есть система дифференциальных уравнений движения настолько сложна, что не поддается решению в общем виде. В этих случаях вычислительная техника, благодаря своему быстродействию, позволяет получить большое количество вариантов численных решений по которым можно строить графическую интерпретацию динамики или кинематики исследуемой системы. При этом исследователь может использовать все, рассмотренные выше методы планирования эксперимента.

Такое математическое моделирование на АВМ или ЭВМ, особенно при вводе исходных данных, полученных при натуральных испытаниях, гораздо ближе стоит к экспериментальному исследованию, чем к аналитическому, с применением формальных математических методов.

Таким образом, современная вычислительная техника позволяет преодолеть многие трудности, возникавшие в прошлом при планировании и, главным образом, при анализе результатов экспериментов. Открывает исключительно широкие новые перспективы дальнейшего углубления и развития математического моделирования при проведении экспериментов и исследовании динамики сложных динамических систем, в частности, динамики автомобиля, автомобильного поезда и многозвенного тракторного поезда-хлопковоза.

РАЗДЕЛ VI. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ.

1. Виды информации о результатах НИР и организация её распределения.

Результаты любого научного исследования являются всеобщим достоянием и поэтому они должны доводиться тем или иным способом до сведения общества в целом или, во всяком случае, до сведения специалистов, работающих в той же области знаний. Исключения составляют научно-исследовательские работы в областях, сведения о которых охраняются как государственная тайна. Но и в этом случае результаты должны быть соответствующим образом оформлены.

Существуют самые разнообразные формы передачи информации специалистам. Многовековая практика выработала следующие основные формы:

- отчет о научно-исследовательской работе - основной научный документ, в котором излагаются исчерпывающие сведения о выполненной работе; отчет должен составляться в соответствии с требованиями ГОСТ

- заявка на изобретение, в том случае, если в процессе или результате научно-исследовательской работы, автор изобрел способ или устройство, предложил процесс, отвечающие требованиям новизны,

- статья в журнале, трудах института или специальном сборнике представляет собою сжатое изложение всей или законченной части выполненной работы с основными ее результатами и краткими выводами,

- доклад на научной конференции (длительность не более 20 мин.). Или в другом месте - публичное выступление, содержащее основные идеи, суть и результаты выполненного исследования,

- сообщение. обычно краткое - от 5 до 10 мин. - в котором сообщаются только результаты исследования и сжатые выводы, иногда предварительные.

- обзор. содержит систематизированные данные по какой-либо теме, полученные в итоге изучения первоисточников. Аналитический обзор - с критической оценкой информации, реферативный обзор - сжатое

изложение систематизированных данных без их анализа и критики,

- реферат (лат. слово - сообщать) как элемент научно-исследовательского отчета - сжатое изложение его основного содержания достаточное для понимания сущности исследуемого вопроса; самостоятельный документ: аналитический обзор какого-либо научно-технического вопроса по литературным и другим источникам,

- автореферат - реферат о собственной диссертации,

- монография (греч. слово) - научный труд, обычно в виде книги или брошюры, в котором разрабатывается и излагается какой-либо отдельный научный вопрос или научная проблема,

- диссертация - является самостоятельной или выполненной под руководством научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи и публично защищаемой для получения ученой степени.

Кроме перечисленных встречаются и другие формы информативно научной документации, например, оттиск статьи из периодического журнала, препринт, информационный листок и др.

В связи с небывалым количественным ростом научных публикаций создана единая система научной информации.

В настоящее время в Узбекистане существует центр научно-технической информации. Основная задача этого центра - систематическое и исчерпывающее реферирование всей литературы в области естествознания и техники и издание реферативного журнала, экспресс-информации и обзорно-справочной литературы, приобретение новейшей информации через интернет и внедрение в практику.

Наибольший интерес для инженеров автомобильного транспорта представляет реферативный журнал, который выходит 12 раз в году и имеет три выпуска: А. Автомобилестроение; Б. Автомобильный транспорт и В. Городской транспорт выпускаемые в странах СНГ. В библиотеках часто все три выпуска переплетаются в сводный том под названием "Автомобильный и городской транспорт".

Выпуск "Автомобилестроение" содержит рефераты статей и книг по теории, расчету и конструированию автомобилей, по конструкциям автомобилей различных типов и их узлам, агрегатам и системам.

Выпуск "Автомобильный транспорт" включают

рефераты публикаций по гаражам, станциям технического обслуживания и их оборудованию, по технической эксплуатации автомобилей и их ремонту.

Выпуск "Городской транспорт" интересен подразделами "Автобусные сообщения" и "такси", а также рефератами по общим вопросам организации движения автотранспорта.

Каждый реферат имеет подробную библиографическую ссылку и порядковый номер. Если в литературе дается такая ссылка на источник:

РЖ "Автомобильный и городской транспорт", 2003, ЗА417, то это расшифровывается так: РЖ- рефератный журнал, 2003 - год издания, 3- месяц март, А- выпуск "Автомобилестроение", 417 - порядковый номер реферата.

Размер реферата, в зависимости от характера и ценности первоисточника может быть от трех строчек до целого столбца (полстраницы журнала) и может быть иллюстрацией.

Другим основным информационным изданием ВИНТИ является Экспресс информация (ЭИ), представляющая собой периодическое издание - 48 выпусков в год, которое освещает наиболее актуальные вопросы науки и техники на основе только зарубежных публикаций. Серии "Автомобильный транспорт" и др., Содержит сокращенные переводы на русский язык статей, патентов и других научно-технических публикаций с соответствующими иллюстрациями. Как правило, знакомство с материалом ЭИ исключает необходимость искать оригинал.

Научно-технический информационный центр подчинен Госкомитету по науке и технике Узбекистана. Задача этого центра заключается в регистрации и учете всех проводимых и законченных в стране научно-технических и опытно-конструкторских работ, а также в хранении и распространении микрокопий (микрофильмы, ксерокопии и другие виды).

Каждый отчет о научно-исследовательской работе и соответствующая ему информационная карта на законченную работу, отправляются в ВНИИЦ, где они депонируются. Таким образом, любая организация ознакомившись с каталогом депонированных материалов, может заказать и получить копию необходимого ей материала в виде ксерографии или ротопринта.

Научно-исследовательский институт патентной информации и технико-экономических исследований подчинен Госкомитету по делам изобретений и открытий. Институт систематически анализирует и обобщает мировую патентную литературу и организует оперативную патентно-техническую информацию в масштабе всей страны.

Патентные фонды сосредоточены в патентно-технической библиотеке и в местных территориальных информационных центрах. Основным информационным изданием служит Бюллетень "Изобретения, промышленные образцы и товарные знаки".

Научно-исследовательский институт научно-технической информации, подчиненный Госкомитету по науке и технике Узбекистана. Этот институт выпускает информационные материалы по вопросам стандартизации, качества продукции, надежности и долговечности изделий. Издается так же библиографическая, реферативная и обзорная информация.

В ЦНТИ сосредоточены копии информационных материалов, им подчинены центральные библиотеки технической информации (ЦБТИ) и дома научно-технической пропаганды (ДНТП).

В Узбекистане, при Госкомитете по планированию имеются республиканские институты научно-технической информации и технико-экономических исследований.

В республике так же организованы территориальные межотраслевые центры научно-технической информации и пропаганды.

Кроме того, в системе каждого республиканского Министерства имеется разветвленная сеть органов научно-технической информации. От инженера по технической информации на АРЗ или автотранспортном предприятии, через отделы научно-технической информации (ОНТИ) в производственных объединениях, до центральных отраслевых научно-исследовательских институтов информации и технико-экономических исследований, вся эта сеть работает на то, чтобы донести до каждого работника в данной отрасли, новейшую научно-техническую информацию. Информационно-справочная служба имеется и в ТАДИ. Информационно-справочная служба имеется так же во всех ВУЗах Узбекистана. Услугами этой службы может воспользоваться каждый студент, аспирант и преподаватель

ВУЗа.

Вся масса информационного материала должна быть как-то систематизирована (классифицирована), что облегчило бы поиск нужного материала и позволило его автоматизировать.

В публикациях любого типа, действует универсальная десятичная классификация. УДК является международной системой классификации произведений печати и документальных материалов.

Универсальная десятичная классификация, сокращенно УДК, введена в качестве обязательной для классифицирования научной и научно-технической литературы во всех организациях научно-технической информации и в научно-технических библиотеках.

Каждая статья, реферат, книга, отчет и другая публикация получает классификационный шифр УДК. Всего в УДК десять основных классов. Вся научно-техническая публикация по технике входит в 6-ой класс, а все средства транспорт (кроме железнодорожного) имеет шифр 629.1. Более узкая группа транспортных средств - наземных безрельсовых шифруется 629.2. Для примера ниже производятся некоторые обозначения УДК:

629.113 - Автомобили

629.114 - Различные виды автомобилей по назначению

629.114.2 - Тракторы, автотягачи

629.114.3 - Автопоезда, прицепы

656 - Транспорт (организация и эксплуатация)

656.1 - Организация и эксплуатация безрельсового транспорта

656.136 - Организация и эксплуатация автопоездов и прицепов

Если в статье дается описание конструкции нового типа вентиля к автомобильной пневматической шине, то обозначение УДК будет таким:

628.11	012.551	-396
безрельсовые	детали их	вентили
наземные	конструкции	
транспортные	шины пнев-	
средства	матические	

2. Структура и содержание реферата и отчета о НИР.

Любой информативный материал по научно-исследовательской работе, будь то статья, краткое сообщение, реферат или отчет, должен отвечать определенным общим требованиям:

- построение (говорят еще композиция) этого материала должно быть четким, изложение, письменное или устное должно быть логически последовательным,
- аргументация, выдвигаемая автором в защиту своих гипотез и предложений должна быть убедительной,
- формулировки новых положений должны быть точными, не допускающими возможность неоднозначно краткими,
- результаты работы должны быть изложены, возможно, более конкретно с четким выделением новизны в отдельных результатах,
- выводы должны быть доказательными, изложенными кратко и четко. В выводах не должно быть ничего тривиального, общеизвестного.
- рекомендации научного и прикладного характера должны быть обоснованными и реалистичными.

Реферат, как самостоятельный научный документ, должен иметь титульный лист, краткое введение, основную часть то есть сам аналитический обзор, заключение (выводы), список использованных материалов. Если в этом есть необходимость, в реферате могут быть приложения.

Введение посвящается актуальности намеченного исследования, обычно отдельного вопроса, его месту в решении общей темы или проблемы. Во введении так же указывается на те особенности изложения, которые приняты автором, например, порядок изложения или группировка анализируемого материала и т.п.

Основная часть или аналитический обзор заключается в кратком описании выполненного автором первоисточника исследования в интересующей автора реферата области и анализа опубликованных материалов. Опыт показал, что если первая - описательная - часть в реферате всегда присутствует, то вторая - аналитическая, сплошь и рядом опускается и вместо аналитического обзора получается перечень кто, когда

и что сделал.

Анализируемый материал целесообразнее излагать в хронологическом порядке, так как при этом вскрывается характер развития знаний в данной области.

Анализ первоисточника должен производиться примерно в такой последовательности:

- выявляются достоинства и недостатки рабочей гипотезы автора первоисточника;

- анализируется математическая модель, допущения и ограничения принятых автором, теоретические результаты и их оценка;

- разбирается методика эксперимента, условия его проведения, планирование, экспериментальное оборудование, его соответствие современным требованиям, точность эксперимента и общая его оценка;

- анализируются выводы и рекомендации автора первоисточника.

После анализа отдельных источников следует сопоставить исходные положения, методы результаты и выводы различных авторов, дать общую оценку состояния исследуемого вопроса, сформулировать свою точку зрения и сделать заключительный вывод о том, что осталось неясным или недоработанным в данном вопросе, какие положения авторов анализируемых материалов необходимо проверить, в каком направлении следует вести дальнейшие исследования.

Заключение содержит в себе краткое изложение выводов, вытекающих из анализа вопроса, и формулирования задач дальнейших исследований.

Список литературы должен содержать все источники, использованные при составлении реферата, расположенные под номерами в алфавитном порядке. В тексте реферата на каждый источник дается ссылка в виде номера в квадратных скобках.

Весь вспомогательный материал включается в приложения. В реферате приложения не обязательны. Лучше обойтись без них!

Общий объем реферата не должен превышать 15-ти страниц рукописного текста.

Отчет по научно-исследовательской работе включает следующие разделы и элементы: титульный лист, список исполнителей, реферат, оглавление, перечень сокращений, символ и специальных терминов с их определениями

(в случае необходимости), основная часть, список литературы и приложения. Отчет составляется с соблюдением ГОСТ.

Реферат в отчете, в отличие от самостоятельного документа, отражает основное содержание научно-исследовательской работы, краткие, но достаточные для понимания сути работы, сведения о ней.

В реферате содержатся:

- количество страниц машинописного текста, схем, чертежей, графиков, фотографий, таблицы приложений;
- перечень ключевых слов (от 5 до 15-ти), написанных в строку, через запяты;
- основной текст реферата, общим объемом не более одной страницы.

Ключевое слово - слово (существительное) или словосочетание с существительным, выражающее отдельное понятие, существенное для раскрытия содержания текста. В совокупности, ключевые слова должны дать достаточно полное представление о содержании отчета.

Например, отчет посвящен экспериментальному исследованию износов автомобильных шин, работающих в условиях жаркого климата. Износ шин определяется методом взвешивания через определенные пробеги автомобиля.

Ключевыми словами в реферате такого отчета могли бы быть: автомобильная шина, износ, климат жаркий, метод взвешивания, эксперимент.

Ключевые слова необходимы при кодировании отчета по специальной системе.

Основная часть отчета включает следующие разделы: введение, аналитический обзор (состояние вопроса), обоснование выбранного направления исследований, разделы, посвященные методике, содержанию и результатам исследований, заключение (выводы и предложения).

Введение посвящается краткому изложению цели работы, её актуальности и новизне и обоснованию необходимости её проведения. Во введении можно изложить характеристику современного состояния научно-технической проблеме (вопросу), которой посвящена отчетная НИР.

Аналитический обзор в отчете по существу совершенно аналогичен уже описанному обзору в отдельном реферате.

Обоснование направления работы, выбранного в данном отчете, должно опираться на его преимущества и

целесообразность по сравнению с другими возможными направлениями и не подменяться обоснованием целесообразности проведения самой работы.

Выбранное направление и выдвинутая рабочая гипотеза должны основываться на выводах и рекомендациях аналитического отчета.

Методика, содержание и результаты излагаются в последовательности и объеме, обусловленной характером самого исследования. Методика исследования должна быть обоснована и подробно описана, кроме случаев, когда она общепринята. В теоретических разделах не следует приводить математические выводы со всеми промежуточными действиями. Если это необходимо, то следует выносить в приложения весь промежуточный материал.

В описании эксперимента обязательно следует оценивать точность полученных результатов и их достоверность.

В разделе анализа результатов следует сопоставить данные эксперимента с теоретическими данными, следует интерпретировать, то есть толковать, раскрыть смысл, разъяснять полученные результаты, а не ограничиваться их перечислением. Если результаты сведены в таблицы или построены графики, то в тексте не следует пересказывать их, повторяя полученные количественные данные, после таблиц и графиков должно следовать их словесное толкование, объяснение причин, почему обнаружены те или иные тенденции в развитии явления или исследуемого процесса.

Выводы и предложения. Этот раздел отчета должен быть отработан весьма тщательно. Выводы - это не только итог всей работы, но и зеркало этой работы.

Выводы должны иметь внутреннюю логику и четкую последовательность, быть конкретны и, это самое главное, быть новыми. В выводах главное, не что и как сделано, а каков результат и что он дает нового.

Иллюстрации, помещенные в отчет, определяются его содержанием, а количество их должно быть достаточным, чтобы придать тексту необходимую ясность и конкретность. Все иллюстрации, независимо от их характера, именуется рисунками и должны быть тщательно подобраны и отобраны.

3. Научный язык.

Основным требованием к языку научной работы, будь то отчет, доклад или статья, является законченность высказывания с соблюдением законов логики. Действительно, содержанием любой научной рукописи или печатного текста составляет логика рассуждений автора этой работы. Поэтому стиль, то есть слог автора научной работы должен быть прежде всего простым, четким, конкретным. Одной из главных причин стилистических ошибок, то есть ошибок, связанных со слогом - это неоправданное стремление к наукообразности, к высокопарному, неестественному построению фраз, которое кажется автору признаком научности слога, а на самом деле выдает его неумение писать.

В одном отчете было написано так: "При испытаниях автомобиля наблюдалось иногда нервное состояние водителя, благодаря оказываемому на него влиянию экспериментатора, находившего в непосредственной близости и делавшего замечания". Вероятно, автор считал, что такие обороты речи как "наблюдалось нервное состояние" или "благодаря оказываемому на него влиянию" - признак научного языка. Однако, такие обороты речи только затрудняют чтение. Кроме того, совершенно неправильно применено слово "благодаря" - так как оно происходит от глагола благодарить, а за что должен благодарить водитель? За то, что экспериментатор ему мешал?

Кроме ложной научности, приведенной выше фразы, она крайне неэкономна: одно слово, причем, сколько из них лишних! Эту же мысль можно выразить так: "При испытании автомобиля водитель иногда нервничал из-за замечаний сидевшего рядом экспериментатора" - всего 11 слов, почти в два раза короче!

Длинные периоды и многочисленные придаточные предложения с причастными оборотами, как правило, приводят к туманности, неясности изложения совсем простых мыслей. Великий русский писатель Лев Толстой как-то заметил: "Закрученное предложение всегда открывает неясность мысли".

Стиль научной речи (устной или письменной) - это как бы безличный монолог (монолог - (греч) - речь, обращенная к зрителям или читателям, как противоположность диалога (разговор между двумя или несколькими людьми), поэтому в

большинстве случаев изложение должно вестись от третьего лица. Ведь все внимание читателя или слушателя научной работы сосредоточено на её содержании и логической последовательности изложения, а не на личности автора.

Существует, в связи со сказанным, неписанное правило (его иногда называют академическим этикетом (этикет (фран.) - строго установленный порядок и формы обхождения, например между дипломатами)) - в научной публикации, отчете, статье книге употреблять местоимение множественного числа, а не единственного, то есть мы, а не я. Этим как бы подчеркивается коллективность творчества, так как за автором работы, конечно, стоят его сотрудники, лаборатория, а иногда и целый институт. Однако, многократное повторение местоимения мы может производить и неприятное, даже раздражающее впечатление. Поэтому, чаще в научных публикациях прибегают к неопределенным предложениям, например: "Автомобиль устанавливают на стенд и закрепляют специальным захватом".

Однако, в устной речи в докладе можно употреблять местоимение я, что, по-видимому, связано с тем, что автор выступает как вполне реальное, "физическое" лицо и в его устах местоимение мы звучало

Кроме того, личное местоимение я следует употреблять в устной и письменной полемике, дискуссии, так как этим подчеркивается, что защищаемое мнение принадлежит именно его автору.

Очень важным вопросом в научном языке является вопрос о терминах, без которых, естественно, обойтись невозможно.

Под термином понимается слово или словосочетание, которое точно и коротко обозначает понятие или явление применяемое в науке и технике. Например, хронометраж (греч) - изучение производственного процесса во времени путем измерения продолжительности отдельных его частей. Одно слово заменило целую и довольно длинную фразу.

Прежде всего, не следует вводить новые термины, новые названия, если в этом нет острой необходимости и, если существующий термин не достаточно полно и точно определяет какое-либо понятие в данной области науки или техники.

Не следует так же переименовывать термин, особенно

устоявшийся и общепризнанный.

Если в научной публикации или докладе применяется малоизвестный термин, заимствованный из другой отрасли науки и техники то он должен быть точно и полно разъяснен при первом же употреблении или в отчете внесен в список обозначений, символы терминов.

Наконец, следует придерживаться единообразия терминологии. Нежелательно одно и то же понятие, предмет или действие называть по разному ради кажущегося разнообразия стиля изложения. Например, один раз писать или говорить центр тяжести, в другой раз - центр масс, это может затруднить восприятие материала.

Надежит внимательно перечитывать написанное и не бояться или лениться исправлять. Очень важно, чтобы не было в тексте синонимов типа "путь" и "дорога", вульгаризмов "баранка", вместо рулевого колесо, тавтология типа "эффект действия", так как эффект и значит действие и т.д. и т.п. Над техническим текстом надо работать не меньше чем над художественным.

Словом, как выразился известный французский писатель Анатоль Франс: "Ласкайте долго фразу, она в конце концов улыбнется вам". И вы, добавим, получите удовлетворение от написанного вами.

4. Некоторые вопросы внедрения результатов НИР.

В настоящее время во многих отраслях хозяйства успешно действует научно-производственные объединения - такая форма связи науки с производством, при которой между ними нет никаких административно-хозяйственных перегородок. Научно-исследовательский институт соответствующего профиля входит как хозяйственная единица в объединение с подчинением его генеральному ректору, который имеет заместителя по науке. Таким образом, в научно-производственном объединении планы научно-исследовательских работ и производственные планы предприятия, входящие в состав объединения, полностью скоординированы между собой, взаимосвязаны так, чтобы не было разрыва между потребностями производства и развитием научно-исследовательских работ. В научно-производственных

объединениях вопрос о внедрении результатов НИР в производство, по существу снят, так как в производственные планы всегда включены вопросы реализации результатов НИР "своего" научно-исследовательского института.

Следует четко уяснить себе, что научно-производственное объединение является одной из весьма прогрессивных форм организации. Но не единственной в настоящее время. Чрезвычайно целесообразны творческие комплексные бригады в составе ученых исследовательских организаций и заводских работников (инженеров, техников и рабочих), связанных договором о творческом содружестве, включающем пункты об реализации результатов такой совместной научно-исследовательской работы.

Конкретным примером творческого содружества крупных научных учреждений с производством может служить договор, заключенный производственным объединением "Авто-ЗИЛ" и такими мощными научно-исследовательскими Институтами как НАМИ и НИИАТ. Это содружество привело к повышению межремонтных пробегов грузовых автомобилей ЗИЛ-130 со 180 тыс.км до 300 тыс.км. в 1977. Намечено дальнейшее повышение этих пробегов до 350 тыс.км. Можно себе представить, какой колоссальный эффект дает такое увеличение пробега!

Творческое содружество с производством осуществляют и ученые головного института. ТАДИ имеет договоры со многими предприятиями и организациями, в том числе с автомобильным заводом в г. Асака, объединением "Узавторемонт" и др. Экономический эффект от внедрения результатов таких совместных исследований дает положительные результаты.

Однако, еще, к сожалению, встречаются такие положения, когда научно-исследовательская работа делается в отрыве от производства или в слабой связи с ним. При этом исследователю, безусловно, придется внедрять результаты в производство, испытывая на каждом этапе этого процесса "сопротивление материалов". И это независимо от качества полученных результатов, и в том случае, когда практическая

ценность их вне сомнений.

Происходит это не из консерватизма и косности инженерно-технического персонала предприятия, а в силу диалектического закона, по которому старое не уступает свое место новому без определенного сопротивления. Имеются весьма веские объективные причины для этого: внедрение нового требует средств, отнимая время, может на первых этапах, отразиться на выполнении плана предприятия, не предусмотрено финансирование и т.д. и т.п.

Опыт показывает, что процессы внедрения и освоения производством результатов научных исследований проходит значительно безболезненней и быстрее, если предприятие заинтересовано в этом освоении и ждет от него каких-то конкретных результатов.

Поэтому целесообразно:

- расчет технико-экономической эффективности внедрения выполнить с помощью экономической службы производства с тем, чтобы этот расчет отличался конкретностью, учитывал специфику данного предприятия и наглядно показывал степень и характер изменения ряда показателей, например, фондовооруженности, производительности, рентабельности.

- подробно и хорошо ознакомить с рекомендациями и предложениями не только руководство предприятия, которому обычно передаются материалы, но и технические службы предприятия и даже работников цеха или участка на котором предполагается внедрение.

Ознакомление следует проводить не только "на бумаге", но и на опытном образце, если таковой имеется.

- осуществлять авторский надзор за внедрением, следить за выполнением плана и графика работ, давать необходимые консультации и разъяснения, оказывать максимальную помощь предприятию.

- вносить по ходу внедрения все необходимые исправления или изменения во всю документацию по внедрению (чертежи, схемы и другие документы), прислушиваться и непредвзято оценивать все замечания и

пожелания производителей и ни в коем случае не становиться в позу ущемленного авторского самолюбия!

- участвовать не только в "пуско-наладочный" период внедрения, но и в период так называемой опытной эксплуатации тех технических новшеств, которые осуществлены на предприятии по результатам научного исследования.

В заключение необходимо указать, на то, что беспрепятственное движение от научного исследования к техническому изобретению и от него к применению научно-технических достижений в массовом производстве - это не личное дело научного работника любого ранга, а государственное.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Ракитов А. И. Анатомия научного знания. М., Политиздат, 1969.
- 2) Приходько П.Т. Пути в науку. М., "Знание", 1973.
- 3) Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М., "Наука", 1971.
- 4) Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М., "Мир", 1972.
- 5) Алабужев П.М. И др. Теория подобия и размерностей. Моделирование. М., "Высшая школа", 1971.
- 6) Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М., "Колос", 1973.
- 7) Веденецкий И.Г. и Кильдишев Г.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М., "Статистика", 1975.
- 8) Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента. М., "Мир", 1967.
- 9) Налимов В.В. Теория эксперимента. М., "Наука", 1971.
- 10) Мельников С.В. и др. Планирование эксперимента в исследованиях с/х процессов. Л., "Колос", 1972.
- 11) Электрические измерения незлектрических величин. Под ред. проф. П.Н. Новичкого. Изд. 5-ое. Л., "Энергия", 1975.
- 12) Дробушевич Г.Н. Программирование на Фортране. Минск, изд. Бел.госуниверситета, 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение. Наука	
1. Понятие о науке	5
2. Характерные черты современной науки.	10
3. Роль науки вобществе.	12
Раздел I. Научное исследование.	
1. Определение и классификация научных исследований.	14
2. Структура научного исследования.	16
3. Постановка проблемы.	20
4. Изучение материалов.	24
5. Рабочая гипотеза.	31
6. Основные методы исследования.	33
7. Пример научного исследования.	38
Раздел II. Моделирование в научном исследовании.	
1. Понятие о моделировании.	46
2. Условия механического подобия.	49
3. Критерии подобия и масштабы моделирования.	55
4. Примеры механического моделирования.	59
Раздел III. Статистические методы в научном исследовании.	
1. Статистический подход.	67
2. Случайная величина и её распределение.	71
3. Числовые характеристики распределения случайной величины.	74
4. Законы распределения.	79
5. Понятие о выборочном методе.	84
6. Понятие о статистической проверке гипотез.	87
Раздел IV. Методика и техника измерений.	
1. Вводные замечания.	91
2. Основные измеряемые величины.	93
3. Общие характеристики измерительной аппаратуры.	96
4. Преобразователи и датчики для измерения незлектрических величин.	102
5. Измерительная аппаратура.	111
6. Точность измерений.	120

Раздел V. Планирование и анализ эксперимента.

1. Определение и этапы эксперимента.	126
2. Постановка задачи эксперимента.	127
3. Типы планов эксперимента.	134
4. Принцип рандомизации плана эксперимента.	138
5. Латинские квадраты.	145
6. Анализ результатов эксперимента.	148
7. Элементы дисперсионного анализа.	155
8. Основы метода случайного баланса	166
9. Использование вычислительной техники.	173

Раздел VI. Оформление результатов научно-исследовательской работы

1. Виды информации о результатах научного Исследования и организация её распределения.	177
2. Структура и содержание реферата и отчета о научно-исследовательской работе.	182
3. Научный язык.	186
4. Некоторые вопросы внедрения результатов НИР.	188
Литература..	192

УКД 629.113
ББК 34.62Я
Б 12

К.Ю. МУСАЕВ

ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Редактор:	д.т.н. проф. Н.Х. АВЛИЯКУЛ
Технический редактор:	Г. САМИЕВА
Рецензенты:	д.т.н. проф. Н.Х. АВЛИЯКУЛ к.т.н. доцент. О.С.КОМИЛО
Собрала на компьютере:	Ф. ГАСАНОВА
Операторы:	З. БАБАЕВА, Г.РАЖАБЗОДА.

Дано в набор 03.03.2004 г. Подписано к печати 06.01.20
Формат 60 x 84/16. Условный печ.л.12.25. Тираж 500
Заказ № 319. Издание № 12.
Издательство "Бухоро". Гор. Бухара, ул. И.Муминова,
Издано в типографии "Ёкуб Довуд".
Гор.Бухара, улица. Мустакилик, 27.