

630  
X 86

Министерство высшего и среднего специального образования БССР

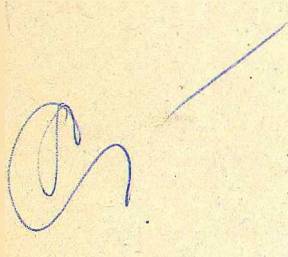
БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

А.В.Луков

ТЕКСТЫ ЛЕКЦИЙ  
ПО КУРСУ "ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ"

Утверждены ученым советом института  
в качестве текстов лекций

Часть I



Минск 1985

Гудк 634.03.37

Рассмотрены и рекомендованы к изданию Редакционно -  
издательским советом института.

А.В. Жуков. Тексты лекций по курсу "Основы научных исследований". Ч. I. Мн.: БТИ им. С.М. Кирова, 1985. - 39с.

Даны основные понятия о науке и методах научных исследований. Рассмотрены составные элементы научного исследования, дана характеристика его объекта, выбор научного направления и темы исследования. На конкретных примерах описано содержание теоретических и экспериментальных исследований, методы их проведения.

Предназначены для студентов спец. 0619 ММЛП.

Научный редактор доцент кафедры "Транспорта леса",  
Абрамович К.Б.

Рецензенты: В.В. Гуськов, зав. кафедрой "Тракторы",  
профессор (БПИ);

В.М. Адамов, доцент кафедры "Двигатели внутреннего сгорания" (БПИ).

1401000000- 091 37(в)-85 ©  
М 339 -85

Белорус. ордена Трудового  
Красного Знамени технол.  
ин-т им. С.М. Кирова, 1985.



0000000295869b

- 3 -

## ВВЕДЕНИЕ



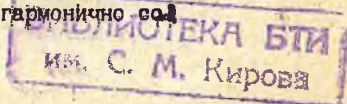
В нашей стране роль и место науки коренным образом изменились после Великой Октябрьской социалистической революции, что привело к ее невиданному расцвету. Сейчас советская наука является важнейшим фактором научно-технического и социального прогресса, повышает международный престиж Советского Союза. На XXVI съезде КПСС подчеркивалась необходимость ускорения научно-технического прогресса и огромной роли науки в строительстве нового общества. Многочисленные решения партии и правительства способствуют развитию научно-технических разработок, массовости научно-технической деятельности.

11 июня 1985 г. в ЦК КПСС прошло совещание по вопросам ускорения научно-технического прогресса. В докладе М.С. Горбачева указывалось, что "передовая линия борьбы за научно-технический прогресс пролегает через науку". Он подчеркивал, что приоритетное значение нужно придать фундаментальной науке, ее развитию, т.к. именно она и генерирует идеи и дает выходы на новый уровень эффективности. Указывалось на необходимость более полного развития и использования вузовской и отраслевой науки.

Технический прогресс в лесной промышленности имеет прямую связь с созданием высокопроизводительных и надежных лесных машин. Эффективность новой машины во многом зависит от уровня теоретических работ, а также методов и техники испытаний, выполняемых на машиностроительных, лесозаготовительных предприятиях и в научно-исследовательских организациях.

Развитие научных методов исследования увеличивает творческие возможности конструкторов и исследователей, позволяет полнее раскрыть явления рабочих процессов, установить их связь с конструкцией машин и в конечном итоге выбрать ее рациональные и оптимальные параметры. При применении научных методов исследований рабочие процессы рассматриваются не изолированно, а с учетом причин, вызывающих те или иные явления.

Теоретические и экспериментальные работы нельзя рассматривать изолированно друг от друга. Теоретический анализ и экспериментальные исследования должны гармонично со-



четаться.

На основе математического аппарата анализируются рабочие процессы в основных системах, узлах и агрегатах лесных машин. Дается оценка и производится выбор параметров машины и технологического оборудования, определяются показатели эксплуатационных свойств и нагрузочные режимы, оцениваются надежность, долговечность, плавность хода, проходимость, устойчивость и производительность машин.

Решение этих задач связано с проведением специального эксперимента, когда определяются числовые значения конструктивных параметров, характеристик, входящих в расчетные уравнения. Важной задачей экспериментальных исследований является также проверка результатов расчетных исследований, методик, формул. Анализ результатов экспериментальных исследований требует использования расчетных методов.

Сочетание теории и экспериментальных методов при проектировании машин является обязательным. На первых стадиях проектирования главным средством выбора параметров машин является расчет. Вследствие отсутствия точных параметров системы и информации о характере их взаимодействия с внешней средой и грузом, а также допущений, закладываемых при разработке расчетных методик, требуются доводочные работы. Затем производятся контрольные испытания, по результатам которых производится утверждение к производству отработанных объектов.

Роль теоретического анализа в сочетании с лабораторным экспериментом все возрастает. При этом ускоряется процесс проектирования и снижается его стоимость. Вузовская наука выполняет большой объем научно-исследовательских работ, проводимых в стране, способствует подготовке высококвалифицированных специалистов с учетом развития научно-технического и социального развития общества. Перед вузами стоит задача подготовки специалистов, способных к активному восприятию нового, творческого решения задач, которые ставит производство. При освоении программного материала студент вуза должен научиться постоянно совершенствовать свои знания. Выработать навыки исследователя. В выполнении данной задачи большая роль принадлежит всем формам студенческой науки, которая в настоящее время постоянно совершенствуется.

Известно, что наука - это приведенные в систему теоретические положения и практические методы исследования объекта или системы объектов. Особо важное значение для познания имеет методология науки, анализирующая методы научного исследования. Это - насущная проблема конкретных наук, составляющая особый предмет познания, обусловленного теми функциями, которые он выполняет в научном исследовании, это - вопросы гносеологии и логики в методологии научного исследования.

При изучении данного курса главной задачей является освоение методов научных исследований применительно к вопросам конкретных наук, в частности к вопросам, связанным с созданием и эксплуатацией лесных машин.

## I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### I.I. Общие понятия о науке

Развитие системы научных знаний происходит непрерывно. Однако следует иметь в виду, что наблюдаемые опытные факты становятся научным знанием только тогда, когда они взаимно согласованы и объединены в систему. Система знаний, объективно отражающая мир в сознании человека, образует теорию. Теория описывает и объясняет основные закономерности материального мира. Критерием истинности теории выступает практика, причем основным ее видом является материальная, производственная деятельность. Научные знания постоянно пополняются, совершенствуются и развиваются. При этом на первое место выдвигаются научные исследования, проводимые посредством эмпирического накопления новых фактов, их анализа и синтеза, а также теоретического синтеза знаний, при котором формулируются общие закономерности.

Можно дать формулировку: научное исследование - это процесс изучения объекта или явления с целью раскрытия закономерностей его возникновения, развития и преобразования.

Эмпирическое накопление фактов и теоретическое исследование тесно связаны друг с другом, причем первое служит исходным материалом для создания теории, а также для ее проверки. С другой стороны, созданная теория позволяет выделить наиболее существенные области предпринимаемого эмпирического исследования, более полно объяснить и обобщить его

результаты. Например, явление колебаний ствола дерева при валке на опору находит объяснение на основе сложившихся ранее теоретических предпосылок. Теория валки деревьев дает объяснение таким фактам, как различие в величине ударных нагрузок при падении деревьев, времени их падения и т.д. Указанные факты, в свою очередь, дают возможность проверить теорию. Однако связь науки и практики не исчерпывается только проверкой научных знаний, но является одной из основных закономерностей развития науки. Ведь развитие технологии и создание новых систем машин ставят перед наукой новые задачи. Например, создание валочно-пакетирующей малины невозможно без использования результатов научных исследований взаимодействия манипулятора с деревом.

Единство науки и производства ускоряет научно-технический прогресс, позволяет получить благоприятные результаты как для практики, так и для самой науки (сокращает сроки внедрения в производство научных достижений, открывает новые предметы исследований).

Следует отметить, что наука имеет относительную самостоятельность, опережая потребности производства, вырабатывая научные прогнозы для его эффективного развития.

Наука обладает также такими чертами как преемственность и дифференциация, т.е. расчленение и углубление научных знаний. Наряду с этим, для настоящего периода характерна интеграция наук, т.е. объединение разрозненных участков познания, этот процесс в настоящее время является преобладающим.

### 1.2. Общие методы научного исследования

Ленин писал: "От живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике - таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности" (Ленин В.И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 152-153). Эти слова Ленина емко определяют связь двух ступеней познания материального мира, которые находятся в диалектическом единстве, переходя друг в друга и взаимодополняясь. Созерцание и абстрактное мышление являются отправным пунктом познания, с помощью которого находятся закономерности материального мира. Абстрактное мышление осуществляется в форме понятий, суждений и умозаключений, с помощью чего человек проникает в суть вещей и явлений. Понятие - это мысль, отражающая предметы. Сочетание

Понятий осуществляется с помощью суждений. При этом что-либо утверждается или отрицается в реальных предметах и явлениях. Умозаключение осуществляется при связи отдельных суждений, при этом выводится новое знание о предметах и явлениях. Например, все деревья имеют крону; сосна - дерево; следовательно, сосна имеет крону.

Помимо всеобщего метода научного исследования, т.е. материалистической диалектики, развитие науки происходит на основе общенаучных методов, к которым относятся: анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия и моделирование, абстрагирование и конкретизация. Анализ и синтез взаимосвязаны между собой. Если анализ подразумевает расчленение предмета исследований на составные части, то синтез - это соединение частей предмета в единое целое. При анализе каждая из выделенных частей предмета исследуется отдельно, а при синтезе устанавливается их связь и предмет познается как единое целое.

Весь рабочий цикл валочно-пакетирующей машины можно подразделить на следующие основные части: спиливание дерева, его свободное падение, погрузка и пакетирование, трелевка. Изучение каждой части цикла с учетом их взаимной связи приводит к разработке соответствующих устройств для реализации отдельных частей цикла и обеспечения работы машины в целом.

Из приведенного примера видно, что анализ и синтез взаимосвязаны - приступая к анализу, исследователь уже с самого начала использует и синтез.

Индукция и дедукция всегда неразрывно связаны. Научная индукция представляет собой форму познания, позволяющую сделать общий вывод о признаках множества элементов на основании данных о этих признаках только у части элементов множества. При дедукции же вывод о признаках отдельного элемента множества делается на основании знаний о признаках всего множества. Т.е. если индукция - метод перехода от частных представлений к общим, то дедукция, наоборот, - от общих представлений к частным.

Согласно данным определениям, процесс научного познания движется от индуктивного обобщения к дедуктивному выводу. Индуктивный метод базируется на тщательном отборе фактов, предметов и явлений и требует проверки опытного мате-

риала (поспешное обобщение, выделение второстепенных признаков и т.д. может привести к ошибочным выводам).

Например, упругая характеристика шины транспортного средства, построенная по данным лабораторного эксперимента может представляться в виде линейно-кусочной функции (рис. I). Характеристика имеет перелом в точке 5. Если, применив метод индукции, мы обобщим данные по точкам I-5 на последующие точки 6-9, то придем к неверному утверждению.

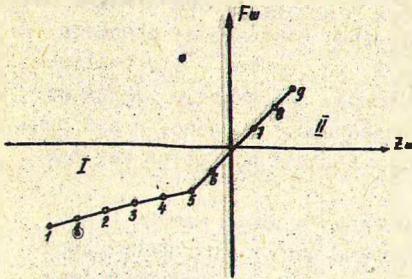


Рис. I. Упругая характеристика шины

#### Абстрагирование

представляет собой мысленное выделение и отвлечение наиболее существенных признаков и связей предмета или явления, и отбрасывании несущественных, побочных признаков, связей и отношений.

Абстрагирование тесно связано с конкретизацией. Отвлекаясь от конкретного, исследователь устанавливает закономер-

ности, свойственные изучаемому предмету или явлению, после чего возвращается к конкретному.

В процессе абстрагирования используются такие типы абстракций как абстракция отождествления, идеализации и абстракция аналитическая. В первом случае выделяется общее обобщающее свойство предметов (класса предметов). С помощью аналитической абстракции образуются общие абстрактные понятия. В данном случае свойства и отношения мысленно отвлекаются от предметов или явлений. Фиксация этих свойств или явлений образует такие понятия как, например, надежность, устойчивость, проходимость и т.д. Абстракция идеализации используется при создании научных теорий. В данном случае создается понятие не существующее в реальном мире, но отражающее его прообразы. Например, "идеальный газ", "абсолютный нуль" и т.д.

Аналогия - это метод научного познания, когда знание о предметах или явлениях образовывается на основании их



сходства с другими предметами или явлениями. Например, сходство между явлениями в электрической цепи и колебательными явлениями в механической системе позволяет получить определенные выводы о последней, путем наблюдения явлений, имеющих место в электрической цепи. Этот метод составляет основу моделирования, когда изучаемый объект заменяется его аналогом (моделью), содержащим существенные черты оригинала. Наиболее широкое распространение имеет физическое и математическое моделирование. Пример физического моделирования — применение грунтового канала для изучения процесса взаимодействия пневматического колеса с различными типами покрытий дорог. Пример математического моделирования — описание и последующее изучение с помощью математических уравнений процесса движения лесотранспортных систем. Сходство математических уравнений процесса движения и уравнений, описывающих явления соответствующим образом составленной электрической цепи, позволяет проводить моделирование процесса движения с помощью аналоговой вычислительной машины.

На теоретическом уровне исследования используют такие методы как формализация, принятие гипотезы, построение теории.

При формализации изучаются элементы формы объектов, которые отражают их содержание. Под гипотезой понимается предположение или догадка, которая основывается или на предшествующем знании, или на фактах, или одновременно на том и другом вместе. Достоверность гипотезы на определенном уровне развития науки и техники не может быть подтверждена. В качестве примера можно привести гипотезу М. Планка о квантовом характере излучения, которую он выдвинул в результате новых фактов науки. С помощью гипотез разрешаются противоречия между научными фактами и старыми теориями. Гипотеза объясняет факты, которые противоречат старой теории, что составляет основание для построения новой теории, пока наконец не будет установлен закон.

Под теорией понимается система знаний, вскрывающая основные закономерности развития некоторой области реальности и направленной на ее дальнейшее преобразование. Научная теория возникает как закономерный результат всей предшествующей познавательной деятельности. Только построение теории означает, действительный прогресс науки. Теория яв-

ляется высшей формой организации научного знания и повышает его уровень достоверности до степени практически достоверной истины.

На эмпирическом уровне исследования используются знания, полученные на основе опыта путем наблюдения и эксперимента.

Наблюдение – это целенаправленное восприятие предметов и явлений реального окружающего мира. От восприятия наблюдение отличается целенаправленностью. В процессе наблюдения отбираются только существенные факты, свойственные объекту исследования, причем их отбор осуществляется на основе определенной гипотезы или теории. Использование теории позволяет наблюдать не сам предмет, а результат его взаимодействия с другими предметами или явлениями. Так, например, о поведении детали при обработке на станке мы можем судить косвенно, наблюдая результаты взаимодействия детали с теми или иными деталями и узлами станка. Интерпретация данных наблюдений осуществляется с помощью теории и дает возможность отделять существенные факты от несущественных. Различают качественное и количественное, а также прямое и косвенное наблюдение.

Эксперимент – это такой метод эмпирического исследования, при котором с целью получения необходимой информации о свойствах и особенностях объектов или явлений исследователь задает условия, позволяющие следить за изучаемым объектом или явлением и управлять им. В отличие от наблюдения при эксперименте имеются определенные материальные средства воздействия на объект. При эксперименте исключается влияние побочных факторов, вводятся новые факторы, создаются новые искусственные объекты и критические условия. Для эксперимента характерна многократность воспроизведения изучаемых явлений.

Таким образом, эксперимент является эффективным методом эмпирического исследования за счет активного воздействия на изучаемое явление, иначе говоря простое наблюдение дополняется активным воздействием на процесс. Основателем научно-эмпирического метода считается Г. Галилей, который систематически начал применять его в физике.

## 2. ОБЪЕКТ, ВИДЫ И СТРУКТУРА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Объект научного исследования

Объект исследования является предметом познания и выбирается в соответствии с целями исследования. Объекты можно подразделить на эмпирические и теоретические. Примером эмпирических объектов могут служить такие, как отдельная клетка, дерево - натуральные, объективно существующие в природе объекты: станок, машина - технические, созданные человеком объекты. Каждый объект следует рассматривать как систему, состоящую из элементов - отдельных частей системы, которые при данных исследованиях не расчленяются. Объект исследований как целостная система выделяется из окружающей среды и характеризуется определенной внутренней структурой. Элементы объекта взаимосвязаны между собой и их совокупность определяет его структуру.

Примером системного объекта может служить механическая колебательная система, включающая ряд тел определенной массы, упругих элементов и элементов сухого и вязкого трения (рис. 2). Объект характеризуется входными и выходными воздействиями.



Рис. 2. Трехмассовая механическая колебательная система:  $M_1, M_2, M_3$  - массы тел;  $C_1, C_2$  - характеристики жесткости упругих элементов;  $R_1, R_2$  - характеристики вязкого трения;  $P_1, P_2$  - сухое трение

настолько сложные, что их структуру описать на данном этапе очень сложно или даже невозможно.

Поиск взаимосвязи между входными воздействиями и реакциями объекта на них дает возможность производить оценку структуры таких объектов, проводить исследования (метод черного ящика). Например, автомобиль может быть представлен в виде "черного ящика", являющегося сложным объектом, который под действием входного импульса вырабатывает на выходе реак-

Объекты исследований могут быть различной сложности, что определяется количеством элементов, входящих в них, и видом связей. Существуют объекты,

Гцию на этот импульс.

В ряде случаев для описания структуры объектов удобно использовать графы. Их применение возможно не только для исследования простых, но и очень сложных объектов с учетом взаимосвязи элементов и отдельных подсистем.

Впервые формализованный метод теории графов применил Эйлер в 1736г. при решении задачи о Кенингсбергских мостах. Анализ систем с помощью графов основывается на представлении физических величин в виде топологического изображения основных элементов и использовании метода структурных схем. Теория графов тесно связана с такими разделами математики как теория групп, теория матриц, численный анализ, топология, комбинаторный анализ.

Графом называют конфигурацию из точек и линий, которые соединяют некоторые из точек.

Для электрических и механических цепей различают три разновидности графов: линейный, сигнальный и направленные графы четырехполюсников.

Теория графов позволяет формализованно описать структуру любого объекта. Элементы системы могут быть представлены точками, а связи между ними - линиями. Линии графа называют ребрами, а точки - вершинами. Вершина характеризуется степенью вершины, которая определяется числом ребер, связанных с ней. Ребро, характеризующееся направлением связи вершин, называют дугой. Связи элементов характеризуются некоторыми количественными значениями - "весом" дуг. Например, пропускная способность дороги, значение электрического тока в цепи (см. рис. 3) и т.д. Точно также "вес" вершины графа может характеризовать количественные свойства элементов.

Теория графов широко используется при решении самых различных задач, например, построение дороги минимальной длины, проходящей через ряд связываемых пунктов; реконструкция предприятия наиболее рациональной организации работ; исследование динамики транспортных систем с целью выбора оптимальных параметров упругих элементов подвески и др.

Объект исследования выбирается на основании предварительного изучения совокупности однотипных предметов, их характерных и главных свойств, отвечающих целям исследова-

ция. Выбранный объект должен обладать основными свойствами

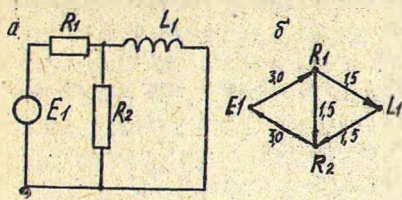


Рис. 3. Формализованное изображение электрического объекта (а) с помощью графа (б)

множества объектов. Результативность исследований во многом определяется правильностью выбора объекта исследования. При этом могут быть использованы методы

теории множеств. Множество  $X$  представляет собой совокупность эле-

$$X = \{x | P(x)\}.$$

При выборе объекта исследования применяют формальные методы. Определяющие свойства объекта могут быть выделены с помощью операции пересечения множеств (рис. 4). При пересечении двух множеств  $X$  и  $Y$  образуется множество  $Z$ . Причем это множество содержит только те элементы, которые принадлежат одновременно и множеству  $X$  и множеству  $Y$ . Пересечение  $n$  множеств записывается так

$$Z = X_{1n} X_{2n} \dots X_{nn} = \bigcap_{i=1}^n X_i.$$

- Это новое множество элементов обладает совокупностью свойств  $i = 1, 2, \dots, n$ , если элементы каждого множества обладают свойством  $X_i$ .

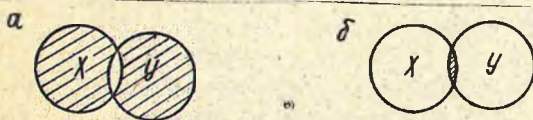


Рис. 4. Схемы объединения (а) и пересечения (б) множеств  $X$  и  $Y$

рое состоит из элементов, входящих хотя бы в одно из объединяемых множеств (рис. 4, а).

Иллюстрацией пересечения множеств может служить следующий пример.

При исследовании динамических ударных нагрузок при

результатов исследования применяют объединение  $\cup$  множеств, что подразумевает получение нового множества  $Z$ , кото-

При обобщении результатов исследования применяют объединение  $\cup$  множеств, что подразумевает получение нового множества  $Z$ , кото-

Гвалке дерева на опоры целесообразно рассматривать множество, образованное пересечением множеств  $X_1, X_2, \dots, X_5$ :

$$Z = \{Z | Z = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5\} = \prod_{i=1}^5 X_i,$$

где  $X_1 - X_5$  - совокупность свойств, которыми обладают элементы каждого множества  $X_i$ ;

$\prod$  - знак пересечения пяти множеств;

$X_1 = \{x_1 | x_1 - \text{подвижная опора}\}$ ;

$X_2 = \{x_2 | x_2 - \text{опора с упругим элементом}\}$ ;

$X_3 = \{x_3 | x_3 - \text{опора, включающая гидравлический амортизатор}\}$ ;

$X_4 = \{x_4 | x_4 - \text{опора с листовой рессорой}\}$ ;

$X_5 = \{x_5 | x_5 - \text{опора с резиновым упругим элементом, для ограничения хода}\}$ .

Результаты исследований можно использовать при описании поведения подвижной упругой опоры с упругим элементом в виде листовой рессоры с амортизатором.

При объединении множеств получают более широкое множество. Например, имеем множества:

$X = \{x | x - \text{подвижная опора}\}$ ;

$Y = \{y | y - \text{шарнирная опора}\}$ ;

$Z = \{z | z - \text{заземленная опора}\}$ .

Объединение множеств  $X, Y, Z$  запишется так  $XUYUZ = \{a/a - \text{плоская стержневая опора}\}$ . Применяют также операции разности и дизъюнктивной суммы множеств. Запись разности и дизъюнктивной суммы двух множеств  $X$  и  $Y$  записывается соответственно следующим образом  $X|Y$  и  $X+Y$ . Разность множеств включает все элементы  $X$ , не входящие в  $Y$ . Дизъюнктивная сумма исключает элементы, одновременно входящие в множества  $X$  и  $Y$  (см. рис. 5).



Рис. 5. Схемы разности (а) и дизъюнктивной суммы (б) множеств  $X$  и  $Y$

Связь или соответствие элементов множества описывается отношением  $R$ . Например, связь элемента  $X$  с элементом  $Y$  записывается так  $xRy$ . Множество  $X$  может быть подразделено на классы, при этом элементы, принадлежащие классу  $X_i$ , связываются отношением эквивалентности  $R_{\alpha i}$ , который характеризует их общность, одинаковость. Таким образом, каждый класс

связывается так  $xRy$ . Множество  $X$  может быть подразделено на классы, при этом элементы, принадлежащие классу  $X_i$ , связываются отношением эквивалентности  $R_{\alpha i}$ , который характеризует их общность, одинаковость. Таким образом, каждый класс

эквивалентности может характеризоваться своим представителем и совокупностью принадлежащих ему свойств, а это объект и условия исследования всего класса элементов  $X$ .

Предметы и явления материального мира взаимосвязаны между собой. Каждый объект исследования взаимодействует с окружающей средой и подвергается внешним воздействиям (факторам), которые можно подразделить на существенные и несущественные. Несущественные факторы при исследованиях могут отбрасываться, однако это является относительным, т.к. зависит от условий проведения исследований. Например, при изучении процесса движения автопоезда сопротивление воздушной среды является существенным только при скорости движения более 60 км/ч, при меньшей скорости движения оно незначительно и обычно не учитывается.

Правильность отбора существенных факторов влияет на достоверность результатов исследований, правильность общих выводов. Обычно выделение существенных факторов производится на основе уже имеющихся знаний, предварительного изучения объекта исследований, его цели. Если же производимое исследование базируется на глубокой теории, то отбор существенных факторов существенно упрощается. Например, разработанная в настоящее время теория валки деревьев легко может дать ответ на вопрос, учитывать ли при изучении гравитационного способа пакетирования деревьев такие факторы, как сила сопротивления, возникающая из-за парусности кроны, ветровая и снеговая нагрузка и т.д. Однако следует помнить, что качество проводимых исследований находится в прямой зависимости от учета полноты влияния окружающей среды.

Воздействия среды, как и реакция объекта на них, относятся к параметрам объекта исследования. Так, внешние воздействия называют входными параметрами ( $X$ ), а реакции системы на них - выходными параметрами ( $Y$ ). Их необходимо отличать от структурных параметров ( $S$ ), которые характеризуют свойства самого объекта. С помощью параметров можно количественно оценить состояние объекта.

Таким образом, состояние объекта исследования описывается тремя основными подмножествами параметров  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ;  
 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ ;  $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ ,  
определенным образом связанных между собой.

Целью научного исследования обычно является установ-

Пление реакций  $Y$  объекта по входным параметрам  $X$  с учетом свойств объекта, т.е. структурных параметров  $S$ . Цель научного исследования может быть выражена формулой (рис.6), представляющей собой аналитическую модель объекта:  $Y = F(X, S)$ .

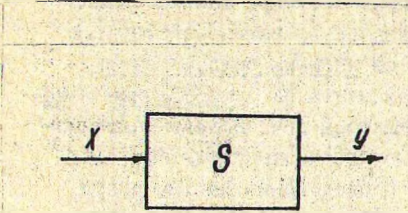


Рис.6.Схема строения объекта исследования

В данном случае имеется полное описание объекта исследования, механизма его функционирования. Возможен кибернетический подход; когда внутренняя структура объекта неизвестна, он выступает как "черный ящик". В этом случае аналитическая модель объекта пред-

ставляется в виде зависимости

$$Y = F(X)$$

При строгой однозначной зависимости между входом и выходом объект исследования является детерминированной системой. Помимо детерминированных, существуют вероятностные системы, когда зависимость между входом и выходом является однозначной. Для таких систем характерно воздействие в виде случайных факторов.

## 2.2. Виды и структура научного исследования

В зависимости от того, какая стоит цель, - познавательная или практическая - различают фундаментальные или прикладные исследования. Однако следует иметь в виду, что такое деление является условным, так как первое может легко переходить во второе и наоборот. Фундаментальные исследования связаны с изучением новых явлений и законов природы. Результаты их приводят к формированию определенной законченной системы знаний, имеющей однако практическую ориентацию.

Прикладные исследования связаны с изучением явлений и процессов и направлены на совершенствование существующих и создание новых средств и способов производства - технических объектов, т.е. машин, веществ, технологических процессов. С помощью прикладных исследований находят пути использования познанных законов природы, явлений при создании технических объектов. Например, явление расширения газов при сгорании горючей смеси использовано при создании



двигателей внутреннего сгорания, ракет и других технических объектов. Открытие электрической дуги привело к появлению осветительных приборов, электродуговой сварки и т.п.

Разновидностью прикладных исследований являются поисковые, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Поисковые исследования производятся с целью отыскания принципиально новых путей при решении вопросов, связанных с созданием новых веществ, машин, технологий. Например, поисковые исследования, предпринимаемые с целью устранения ручного труда и повышения производительности на различных видах работ, приводят к созданию таких технических объектов, как манипуляторы. Постановка задачи при поисковых исследованиях может быть различной. Они могут быть связаны с поиском нового решения объекта по известному входному воздействию при условии обеспечения на выходе требуемого результата. Например, исследования, направленные на создание новой подвески транспортного средства, предназначенного для эксплуатации по пересеченной местности гарантируют возникновение вертикальных ускорений водителя не выше определенного предела.

Научно-исследовательская работа связана с совершенствованием объекта, структура которого известна.

Опытно-конструкторские работы связаны с отысканием такой структуры объекта, которая обеспечивала бы его нормальное функционирование.

Процесс научного исследования можно расчленить на ряд этапов, образующих его общую структуру. Начальным этапом любого исследования является изучение состояния вопроса, который является весьма трудоемким и при современных объемах научно-технической информации занимает 55-60 % времени всего исследования. Следующим этапом, характерным для фундаментального исследования, является теоретический анализ изучаемого явления и выдвижение на основе него гипотезы. После этого, как правило, следует постановка эксперимента, схема которого разрабатывается на основе данных проведенного теоретического анализа. На последнем этапе производится обработка результатов эксперимента и их сравнение с данными теоретического анализа, что служит критерием правильности выдвинутой гипотезы.

Прикладное научное исследование всегда связано с соз-

данием нового или совершенствованием уже имеющегося объекта, причем данный процесс выполняется при чередовании этапов формирования структуры объекта и ее исследования.

На этапе формирования структуры объекта учитываются субъективные требования (мощность, габариты, масса и т.д.) - ограничения. Выбранная структура объекта должна обеспечивать его функционирование.

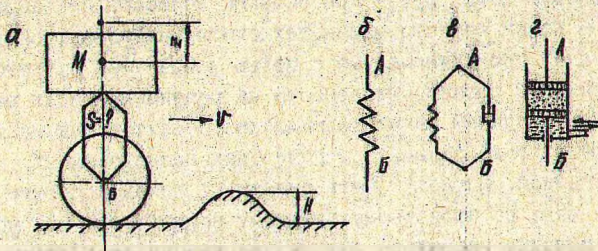


Рис. 7. Варианты структуры объекта (подвеска транспортного средства): а-общая схема объекта с неизвестной структурой звена; б-упругое звено; в-звено с упругим элементом и амортизатором; г-гидропневматический элемент.

При проведении прикладных исследований структура объекта может иметь варианты. Например, при нахождении структуры объекта, которая обеспечила бы перемещение  $Z$  массы  $M$ , присоединенной с помощью подвески к колесу, переезжающему неровность, возможно использовать варианты элементов б - г. Необходима оценка принятой структуры объекта на предмет соответствия его предъявляемым требованиям, для чего проводят исследование. Если обнаруживается несоответствие объекта требованиям, то осуществляется корректировка его структуры.

Таким образом, этап формирования структуры объекта и ее исследование чередуются. Это - так называемый метод проб и ошибок, который применяют при исследовании простых объектов. При решении сложных инженерных задач используются специальные методы оптимального поиска.

Таким образом, первые два этапа прикладного исследования аналогичны этим же этапам фундаментального исследования. Третий же этап, аналогичный принятию гипотезы, - это формирование технической идеи, которая затем проверяется экспериментально или теоретически. После этого находятся и при необходимости корректируются оптимальные параметры

объекта.

Составные части прикладного исследования, их сочетание и последовательность выполнения зависят от сложности объекта и поставленной задачи и могут применяться в полном объеме или частично.

При проведении прикладных исследований широко используются сложившиеся методы анализа. Например, при рассмотрении множества возможных структур объекта применяют метод морфологического анализа, в основу которого положено построение многомерных морфологических таблиц. Оптимальный вариант определяется путем сравнения структур, образованных различными сочетаниями элементов объекта.

Широко применяется метод аналогий и инверсий. Примером применения аналогии может служить формирование технической идеи использования крыльев у летательного аппарата, которая возникла в результате исследования особенностей крыла птиц.

Применение инверсии в прикладных исследованиях весьма эффективно. Суть этого метода состоит в отказе от тривиальных взглядов и приемов и предполагает разделение, замену связей, использование вредных явлений для получения положительного эффекта и т.п.

### 3. ВЫБОР НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

#### 3.1. Тема исследования

В подавляющем большинстве случаев тема научного прикладного исследования формируется в прямой связи с задачами производства. Однако ее конкретизация требует проведения определенной работы, от чего зависят результаты исследований.

Приступая к исследованию, прежде всего необходимо изучить техническую литературу (книги, журнальные статьи, научно-технические сборники, патентную информацию).

Правильная постановка задачи и правильное формирование темы исследования во многом определяются изучением состояния вопроса, актуальностью темы.

Изучение состояния вопроса представляет собой трудоемкий процесс, который характеризуется целым рядом определенных приемов, а именно: анализ темы, сбор материалов

по теме, их систематизация, обобщение материалов, относящихся к теме исследования и выделение его задачи от прилегающих задач, относящихся к более общей тематике; конкретизация цели исследования и выбор его направления.

Например, при возрастании эксплуатационных скоростей движения лесовозных автопоездов ходовая часть выпускаемых серийно прицепов-ропусков стала испытывать повышенные динамические нагрузки. Исследованиями необходимо было установить причину этого явления и решить вопрос о необходимости введения подвески в конструкцию прицепа-ропусков. Анализ литературы позволил установить, что предпринимались попытки изучения нагруженности прицепов-ропусков как имеющих подвеску, так и безподвесочных, однако конкретных указаний для конструкций различного типа и условий движения лесовозных автопоездов в литературе не было обнаружено. Были проведены предварительные теоретические и экспериментальные исследования, указавшие на безусловную необходимость введения подвески в прицеп-ропуск. После этого тема исследований приобрела конкретный характер: установить рациональную схему подвески прицепа-ропусков для лесовозного автопоезда полной массой 40 т. Обработав результаты теоретических исследований и эксперимента, пришли к выводу о целесообразности применения на прицепном средстве четырехрессорной балансирной подвески.

В процессе изучения состояния вопроса исследуемая задача отделяется от связанных с ней, но второстепенных. С этой целью строится логический классификатор понятий в виде "древа", основанием которого является тема, а ветви - отдельные ее ответвления. Такой подход позволяет правильно составить план проведения исследований.

В целом можно отметить, что изучение состояния вопроса - это важнейшая составная часть исследований, когда выясняется общее направление развития объекта, определяется направление исследований и находится оптимальная структура технического объекта.

В ряде случаев важные научные обобщающие результаты могут быть получены на основании только проработки литературных источников. Например, сопоставление данных, взятых из архива вахтенных журналов кораблей американского флота позволило Ф. Мори обнаружить взаимозависимость между яв-

лениями земной атмосферы и океанических вод. Это дало возможность сократить вдвое время перехода парусных судов из Англии в Австралию.

### 3.2. Поиск научных публикаций

Работа с литературой производится с помощью алфавитных, систематических и алфавитно-предметных каталогов. Первый вид каталогов предусматривает расположение в них литературы в алфавитном порядке. В систематическом каталоге литература располагается в порядке, соответствующем универсальному десятичному классификатору (УДК). С помощью алфавитно-предметного каталога при поиске источников по теме исследований находят раздел УДК. Если известны авторы или точные названия публикации, то пользуются алфавитным каталогом. Сборники, справочники, инструкции и т.д. отыскиваются по первому слову их названия.

Согласно системе УДК, все отрасли знаний делятся на 10 классов, класс - на 10 групп, группа - на 10 подгрупп и т.д., в которые входят публикации определенного характера. Классы и группы записываются соответствующими цифрами. После каждых трех цифр ставятся точки, двоеточием соединяются два взаимосвязанных понятия.

Раздел УДК, к которому относится тема исследований, отыскивается в алфавитно-предметном каталоге с помощью ключевого понятия. Таким образом, после формулировки темы исследования выделяются ключевые понятия, с помощью которых в алфавитно-предметном каталоге отыскивается номер УДК. Затем в систематическом каталоге находится соответствующий раздел и из него отбираются необходимые материалы.

Всесоюзный институт научно-технической информации (ВИНИТИ) выпускает реферативные журналы по 17 отраслям знаний, в которых публикуются рефераты научно-технических литературных источников 120 стран мира. Поиск необходимых реферативных журналов осуществляется с помощью "Предметного указателя к рубрикатору реферативных изданий СССР".

Патентная документация классифицируется по предметно-техническому и функциональному принципу. В первом случае объекты объединяются по отраслям техники, во втором - по тождественности функций объектов независимо от отрасли техники. Международная классификация объектов (МКИ) содер-

жит 8 разделов, 20 подразделов, 115 классов, 807 подклассов, 6000 групп и более 45 000 подгрупп. Публикация описаний изобретений в СССР производится в бюллетене "Изобретения, открытия, промышленные образцы, товарные знаки".

Изучение патентной информации, предшествующее научному исследованию, обеспечивает оценку тенденций развития технических и технологических объектов, технического уровня разработок, проверку их патентной чистоты.

От сложившегося порядка работы с научно-техническими и патентными публикациями во многом зависят ее результаты. В первую очередь необходимо уяснить себе логическую структуру материала в книге, для чего изучаются ее аннотация и оглавление. Далее по ходу чтения делаются пометки, выписки и производится конспектирование. Как правило, полезным является составление специальных каталогов из карточек с выписками из рассматриваемого литературного источника и его данными с указанием автора, названия, издательства, года выхода и индекса по системе УДК или МКИ.

Накопленный таким образом материал систематизируется и обобщается, в результате чего делаются выводы о современном состоянии изучаемого вопроса.

#### 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

##### 4. I. Специфика теоретических прикладных исследований

Глубокие теоретические исследования и научный синтез являются предметом научной деятельности прежде всего научно-исследовательских учреждений и вузов. Однако в настоящее время и крупные предприятия также вносят существенный вклад при проведении крупных теоретических работ.

Путем теоретических исследований производится изучение объекта, недоступного для непосредственного исследования, или же в случае, когда проведение экспериментальных исследований нецелесообразно, ввиду обоснованности математической модели объекта. При проведении экспериментальных исследований производятся также теоретические обобщения их результатов, находятся общие закономерности. Теоретический анализ дает возможность расширения результатов исследования объекта на подобные ему; правильно построить план эксперимента, повысить его надежность, сокра-

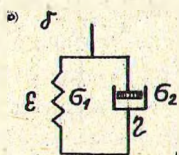
тить объем.

Например, теоретический анализ поперечных колебаний упругой балки, находящейся на опорах, позволяет уточнить возможные пределы изменения ускорений и перемещений различных по длине сечений реального хлыста, предварительно оценить формы его колебаний. Это дает возможность при эксперименте выбрать обоснованно места установки регистрирующих датчиков и характеристики записывающей аппаратуры.

При проведении теоретического исследования в объекте выделяются более простые элементы, изучаются их параметры и связи, производится описание элементов и их соединение в модель сложного объекта.

При теоретических исследованиях широко применяются такие модели, как идеальный газ, ньютоновская жидкость, упругое тело Гука.

Основное допущение, характеризующее, например, ньютоновскую жидкость, это пропорциональность напряжений в ней скорости деформации. Данное предположение лежит в основе целого ряда расчетов гидравлических устройств, например, гидроамортизаторов автомобилей. Для упругого тела Гука характерна пропорциональность напряжений и деформаций в упругом теле. С помощью этих двух простых моделей могут быть составлены более сложные. При последовательном соединении упругого и вязкого элементов полная деформация модели равна сумме их деформаций, т.е.  $z = z_1 + z_2$ , напряжения же в обоих элементах равны:  $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2$ . Для параллельного соединения элементов:  $z = z_1 = z_2$ ;  $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$ . При исследованиях широко применяют модели Масквелла и Кельвина (рис. 8), с помощью которых могут составляться более сложные.



Конструирование моделей сложной структуры производится с помощью теории графов. При использовании теории полюсных графов применяют полюсные уравнения (для характеристики индивидуальных свойств

Рис. 8. Модели Масквелла (а) и Кельвина (б)

каждого элемента) и уравнения связей (для отражения характера соединения элементов). Соединение элементов модели осу-

представляется объединением полюсов (вход и выход), которые имеет каждый элемент. Полюсное уравнение для механического элемента описывает зависимость между силой и скоростью, т.е. характеризует его состояние. Уравнения связи содержат те же величины, что и полюсные уравнения, и характеризуют условия равновесия и непрерывности. Например, для механических систем - принцип Даламбера.

В графах, полученных схематизацией объекта дальнейшим абстрагированием от схемы, ребра соответствуют элементам объекта, а вершины - его узлам.

Общее уравнение элемента  $\varphi(q, \dot{z})$  включает входной параметр (воздействие)  $q$  и выходную реакцию  $\dot{z}$ . Первый из них характеризует состояние элемента относительно полюсов (например, напряжение для электрического сопротивления), второй - состояние элемента относительно поперечного сечения. Параметр  $q$  носит название продольного,  $\dot{z}$  - поперечного.

Пример поперечного параметра - это расход жидкости, величина электрического тока и т.д. (рис. 9).

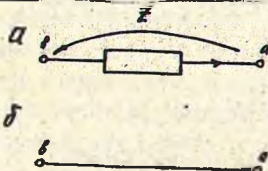


Рис. 9. Схема элемента (а) и его граф (б)

Пример продольного параметра - это расход жидкости, величина электрического тока и т.д. (рис. 9).

Для механических систем характерны элементы: механическое сопротивление (рис. 10, а); масса (10, б); упругость (10, в).

Для этих элементов характерны соотношения:

а) трение  $f_R$  пропорционально относительной скорости  $\dot{v}_R$  трущихся тел  $f_R = R \dot{v}_R$ , где  $R$  - механическое сопротивление;

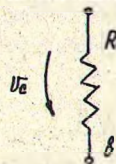
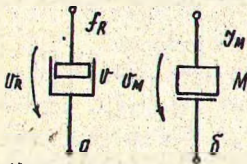


Рис. 10. Схемы элементов механических систем.

б) масса  $M$  связана с силой инерции  $J_M$  соотношением  $J_M = M \frac{dv_M}{dt}$ , где  $t$  - время;

в) реакция  $R_c$  упругого элемента связана с его деформацией  $z_c$  следующим образом  $R_c = c z_c$ , где  $c$  - жесткость упругого элемента.



#### 4.2. Обоснование допущений при составлении моделей объекта и их проверка

Точность полученных при теоретическом исследовании данных будет зависеть от совершенства построенной модели объекта, степени его абстракции и упрощения. Поскольку реальные объекты обладают большим числом связей, характеризуются множеством параметров, при построении модели объекта учитываются только существенные из них, второстепенные же отбрасываются. Однако при упрощении модели ее точность теряется, а при учетывании большого числа факторов она усложняется и становится малоприменимой. Поэтому отсев факторов должен производиться обоснованно, без искажения условий задачи. Обоснование принимаемых допущений может производиться на основании уже проведенных исследований, по аналогии с подобными объектами или путем проведения специальных дополнительных исследований. Например, при обосновании модели дерева, лежащего на двух опорах, встает вопрос о возможности замены неравномерно распределенной массы ствола по его длине на дискретные массы. Для проверки возможности принятия такого допущения, упрощающего модель, были приняты экспериментальные исследования, которые указали на его приемлемость. Были получены данные о влиянии количества дискретных масс на точность модели и доказана приемлемость трехмассовой модели дерева (рис. II).

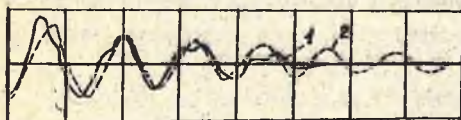


Рис. II. Экспериментальная (1) и расчетная (2) (трехмассовая модель) кривые свободных колебаний папки деревьев

При построении модели, обладающей достаточной точностью, необходимо глубокое изучение объекта, выделение его наиболее существенных свойств и параметров. Однако принимаемые допущения должны быть обоснованными. Например при обосновании модели дерева принятое ранее допущение о замене его массы дискретными массами может привести к большой ошибке, если при этом не учесть массу кроны. Это особенно характерно для случая, когда рассматривается случай движения дерева в консольно заделанном положении при работе валочно-пакетирующей машины. При расположении папки деревьев на двух опорах, что соответствует случаю транспортирования.

древесины на автопоезде, учет массы кроны не производится. Таким образом, при изменении условий задачи действие ряда факторов и явлений, ранее считающихся несущественными, становится значительным.

В тех случаях, когда информация об объекте малая, построение модели осуществляют упрощенно, с учетом усредненных значений параметров, а принятые допущения уточняют путем экспериментальных корректировок.

Например, в теории автомобиля математические выражения, описывающие физическую сущность явлений, уточняются с учетом опытных коэффициентов, отражающих особенности конструкции автомобиля или автопоезда, эксплуатационных условий и т.д. Большое значение при этом имеют стендовые, полигонные и дорожные испытания.

Вместе с тем необходимо придерживаться правила, что при проведении теоретических исследований прежде всего должны использоваться наиболее существенные принципы и законы. Необходимо иметь также в виду, что применяемые при исследованиях постоянные коэффициенты, являются в большинстве случаев переменными. Поэтому необходимо их использование сознательно, с учетом влияния на изучаемые явления. Например, при исследовании тяговой динамики автомобиля коэффициент трения качения принимается обычно постоянным, в действительности его значение постоянно изменяется в зависимости от величины нормальных реакций на колесах, внутренних явлений в шинах и т.д.

При получении теоретических зависимостей до их использования необходимо произвести ряд проверок. Наиболее простой, но эффективной является проверка на соответствие размерностей правой и левой частей уравнений. Часто применяют проверку пределов, задавая параметрам значения "ноль" и "бесконечность". При этом легко проверить соответствие формул физическому смыслу явления. Путем пробного изменения определенных параметров полученного выражения может быть проведена проверка тенденций изменения основных параметров на их соответствие ожидаемым или общей закономерности явления. Например, если получена зависимость для определения силы удара об опору падающего дерева, то придавая ряд значений коэффициенту жесткости опоры, устанавливаем, что в

определенной области значений этого коэффициента ударная сила снижается. Может быть также проведена проверка влияния двух или большего числа факторов. В этом случае можно оценить взаимосвязь законов с учетом физического смысла слагаемых, их знаков и взаимовлияния. Например, проверка влияния на силу ударных усилий падающего дерева жесткости опоры и ее вязкого трения.

В настоящее время развиваются и совершенствуются расчетные методы исследований с применением специальных разделов математики: математической статистики, теории вероятностей, статистической динамики, теории случайных функций.

Расчетные методы проектирования. В основу расчета по выходным показателям положено определение конструктивных параметров агрегатов, исходя из показателей долговечности деталей; обеспечение кинематической и динамической согласованности элементов системы; установление показателей эксплуатационных свойств и др.

Для оценки существующих конструкций широко используется сравнительный расчетный анализ, сопоставляющий свойства конструкции однотипных машин. Этот метод не обеспечивает оптимального решения при проектировании новой машины, что объясняется использованием приближенных методик.

Если методы сравнительного анализа базируются на точных формулах, то это сближает его результаты с результатами поверочного расчета.

Приближенные методы расчета используют обычно на начальной стадии проектирования, при составлении технического задания и выполнении эскизных компоновок. Окончательные решения и анализ существующих конструкций основаны на более точных методиках.

## 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 5.1. Особенности экспериментальных исследований

При экспериментальных исследованиях изучаются реальные объекты и объекты окружающей среды. В некоторых случаях это могут быть модели реальных объектов.

Параметры, характеризующие объект, делят на существенные и несущественные. К последней группе относятся маловлияющие внешние воздействия.

Целью экспериментального исследования является установление изменения существенных показателей  $Y$  объекта при изменении только существенных показателей  $X$  объекта, характеризующих его структуру из всего множества параметров  $S$ , т.е. состояние объекта определяется зависимостью

$$Y = F(X, S).$$

Если структура объекта простая, то данная зависимость имеет вид

$$Y = F(X).$$

Если каждому значению фактора  $X$  соответствует одно значение  $Y$ , то зависимость между ними называют функциональной. Например, зависимость между силой  $P$ , прикладываемой к пружине, и ее деформацией  $Z$  записывается в виде  $P = cZ$  (где  $c$  - жесткость пружины), т.е.  $P = f(Z)$ .

Действие случайных факторов рассеивает экспериментальные данные вокруг истинных значений. Поэтому, если графически зависимость усилия в пружине от величины ее деформаций представляется в виде прямой, то результаты эксперимента будут группироваться вокруг нее. Это происходит ввиду неточностей измерений, которые неизбежно будут иметь место. В случае, если разброс экспериментальных значений, полученных в одинаковых условиях велик, то необходимо многократное повторение опытов. Если же разброс значений близок к погрешностям определения величины параметров объектов, то полученная зависимость может считаться функциональной. При многократном повторении опытов изучаемую зависимость устанавливают при помощи методов математической статистики.

## 5.2. Основные положения теории вероятностей

К числовым характеристикам, выражающим наиболее существенные особенности распределения случайной величины, относятся: математическое ожидание  $m_N$ , дисперсия  $D[N]$ , среднеквадратичное отклонение  $\sigma_N$ .

Математическое ожидание определяется выражением

$$m_N = \sum_{i=1}^n h_i P_i,$$

где  $n$  - число возможных значений  $h_1, h_2, \dots, h_n$  случайной величины  $N$  с вероятностями  $P_1, P_2, \dots, P_n$ .

Дисперсия случайной величины, являющаяся характеристикой рассеивания около ее математического ожидания, опреде-

ляется по формуле

$$D[H] = \sigma_H^2 = \sum_{i=1}^n (h_i - m_H)^2 P_i$$

Для центрированных случайных величин  $m_H = 0$  и в этом случае выражение для дисперсии имеет вид

$$\sigma_H^2 = \sum_{i=1}^n P_i h_i^2$$

Значительное число случайных процессов в технике подчиняется нормальному закону распределения, при котором функция, характеризующая плотность вероятности (дифференциальная функция распределения), выражается следующим образом:

$$f(h) = \frac{1}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-m_H)^2}{2\sigma_H^2}}$$

Интегральная функция распределения равна

$$F(h) = \frac{1}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^h e^{-\frac{(h-m_H)^2}{2\sigma_H^2}} dh$$

Проверка гипотезы о предполагаемом законе распределения производится с помощью непараметрических критериев значимости. Проверка нулевых гипотез относительно общего вида функции распределения производится с помощью критериев согласия  $\chi^2$  Пирсона или  $\lambda$ -критерия Колмогорова.

В практике наиболее часто проверяется соответствие генеральной совокупности нормальному закону распределения, что предварительно устанавливается с помощью критериев согласия, а затем, если нулевая гипотеза не отклонена, применяют параметрические критерии.

В качестве приближенного критерия для предварительного выбора закона распределения могут быть использованы выборочные коэффициенты асимметрии и эксцесса. При этом определяются точечные оценки асимметрии  $A$  и эксцесса  $E$ :

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^3}{N S_H^3};$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^4}{N S_H^4};$$

где  $\bar{h}$  - среднее выборочное значение случайной величины  $\bar{h} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n h_i$ ;  $S_H$  - выборочное среднеквадратичное значение случайной величины;  $N$  - объем выборки.

Среднеквадратичные отклонения показателей  $A$  и  $E$  равны:

$$S_A = \sqrt{\frac{6(N-1)}{(N+1)(N+3)}};$$

$$S_E = \sqrt{\frac{24N(N-2)(N-3)}{(N-1)^2(N+3)(N+5)}}.$$

При соблюдении условий  $|A - m_A| < 3S_A$  и  $|E - m_E| < 3S_E$  считается, что нулевая гипотеза согласуется с экспериментальными данными.

Для нормального закона распределения математические ожидания  $M_A$  и  $M_E$  эксцесса и асимметрии равны нулю. Тогда гипотеза нормальности принимается, если

$$|A| < 3S_A \text{ и } |E| < 3S_E.$$

После предварительного выбора закона распределения следует применять критерий согласия  $\chi^2$  или критерий  $\lambda$  Колмогорова.

Критерий согласия  $\chi^2$ . Проверка нулевой гипотезы с помощью критерия  $\chi^2$  состоит в следующем.

Всю выборку разбивают на ряд частичных интервалов, длина которых определяется по формуле

$$\Delta h = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{1 + 3,2 \lg n}.$$

Количество интервалов должно быть не более 15.

На основании гипотетической функции  $f(h)$  вычисляются вероятности попадания случайных величин  $h$  в частичные интервалы  $[h_{i-1}; h_i]$ :

$$P_i = f(h_i) - f(h_{i-1}); \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

Критерий  $\chi^2$  вычисляется по формуле

$$\sum_{i=1}^k \frac{(m_i - Np_i)^2}{Np_i},$$

где  $m_i$  - частоты.

Для того, чтобы проверить нулевую гипотезу, необходимо найти по таблицам квантилей  $\chi^2$ -распределения по заданному уровню значимости  $\alpha$  и числу степеней свободы  $\nu = k - r - 1$  ( $k$  - число частотных интервалов,  $r$  - число параметров гипотетической функции  $f(h)$ , оцениваемых по данным выборки) критическое значение  $\chi^2_{\alpha, \nu}$ , удовлетворяющее условию

$$P(\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha, \nu}) = \alpha.$$

Критерий согласия  $\lambda$  Колмогорова применяется для проверки гипотез о законах распределения только непрерывных случайных величин. В отличие от критерия  $\chi^2$ , когда сравниваются эмпирические и теоретические частоты распределения, при применении критерия  $\lambda$  Колмогорова сравниваются эмпирическая и гипотетическая функции распределения.

Если подтверждается гипотеза о том, что исследуемая случайная величина  $\eta$  имеет непрерывную функцию распределения  $F(\eta)$ , то проверка с помощью критерия  $\lambda$  Колмогорова производится в следующем порядке.

Располагают результаты наблюдений в возрастающем порядке или представляют в виде интервального статистического ряда и затем находят эмпирическую функцию распределения  $F^*(\eta) = \frac{n_r}{N}$ , где  $n_r$  - число  $\eta_i$  меньших  $\eta$ . Вычисляется по наблюдаемым значениям теоретическая функция распределения  $F(\eta)$  (при использовании гипотетической функции распределения).

Для каждого значения  $\eta$  находится модуль разности  $F^*(\eta) - F(\eta)$ , после чего определяется наблюдаемое значение выборочной статистики  $\lambda$  Колмогорова, т.е.

$$\lambda = D\sqrt{N} = \max |F^*(\eta) - F(\eta)|\sqrt{N}.$$

Наблюдаемое значение выборочной статистики  $\lambda_{набл} = D\sqrt{N}$  с критическим значением  $\lambda_\alpha$  определяется по таблицам квантилей распределения Колмогорова по заданному уровню значимости  $\alpha$ . Нулевая гипотеза подтверждается при соблюдении условия

$$D\sqrt{N} < \lambda_\alpha.$$

По внутренней структуре между двумя случайными функциями есть существенное различие, которое не улавливается ни математическим ожиданием, ни дисперсией. Для описания внутренней структуры случайного процесса вводится специальная характеристика, называемая корреляционной функцией. Ее назначение - характеризовать степень зависимости между значениями случайной функции, относящимися к различным  $t$ .

Корреляционная функция  $R(\tau)$  определяется по формуле

$$R(\tau) = \frac{1}{n-m} \sum_{t=1}^{n-m} [h_{t_1} - \bar{h}][h_{(t_1+\tau)} - \bar{h}] \quad (\text{при } m=0,1,2, \dots)$$

где  $\bar{A}_{t_i} - \bar{A} = H_{0t_i}$  - значение централизованной случайной величины в момент времени  $t_i$ ;  $\bar{A}_{t_i+\tau} - \bar{A} = H_{0(t_i+\tau)}$  - значение централизованной случайной величины в момент времени  $t_i + \tau$ .

Для сравнительного анализа обычно используется безразмерная характеристика - нормированная корреляционная функция:

$$\rho(\tau) = \frac{R(\tau)}{R(0)},$$

где  $R(0)$  - значение корреляционной функции при  $\tau = 0$ , т.е. дисперсия.

### 5.3. Содержание и структура экспериментальных исследований

Если при наблюдении рассматривается фиксированное состояние объекта, то эксперимент предусматривает целенаправленный опыт с учетом определенных условий его проведения и возможности активного воздействия на объект с целью изучения сознательно вызываемого явления.

Условия проведения исследования создаются с помощью испытательных устройств, фиксация же состояния объекта, его параметров осуществляется с помощью измерительных приборов.

Например, для исследования влияния на удар дерева при встрече его с опорой ее жесткости образцом для испытаний является дерево. Испытательным устройством - опора, установленная на пружине, жесткость которой может меняться. Измерительным устройством - реохордный датчик для фиксации перемещений пружины при ударе и осциллограф, соединенные электрической схемой (рис. I2).

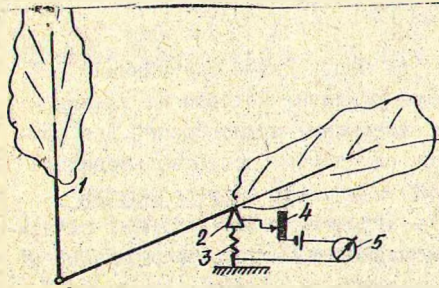


Рис. I2. Схема эксперимента для измерения ударных усилий при падении дерева: 1-дерево; 2-приемная балка; 3-упругая опора; 4-реохордный датчик; 5-регистрирующий прибор.

Описанный эксперимент является однофакторным. В данном случае рассматривается один основной фактор. Устанавливая пружины разной жесткости  $C_1, C_2, C_3$  измеряют ударные



усилия  $P_1, P_2, P_3$ . Пары значений  $x_1, P_1; x_2, P_2; x_3, P_3; \dots$  описывают зависимость ударной силы от жесткости пружины  $P = f(X)$ . Ударная сила зависит не только от жесткости пружины, но и других факторов, например, массы дерева  $M$  и массы опоры  $m$ , т.е.  $P = f(X, M, m)$ . В данном случае классический план эксперимента предусматривает определение зависимостей ударной силы от каждого из факторов при поочередной фиксации других. Сначала находится зависимость  $P = f(X)$  при определенном значении уровней  $M$  и  $m$ , затем  $P = f(M)$  при фиксированных уровнях  $X$  и  $m$ . Наконец  $P = f(m)$  при фиксированных значениях уровней  $X$  и  $M$  имеем сумму однофакторных экспериментов. Число опытов  $N$  при этом равно

$$N = y^n$$

где  $y$  — число уровней каждого фактора;  $n$  — число исследуемых факторов.

Например, при двухфакторном эксперименте  $n = 2$  и трех уровнях каждого фактора имеем  $N = 3^2 = 9$ . При увеличении числа факторов процесс обработки данных усложняется и увеличивается трудоемкость эксперимента. Для получения общей картины изучаемого явления можно производить одновременное изменение всех изучаемых факторов, т.е. использовать факторный план проведения эксперимента. При этом математическая обработка результатов эксперимента позволяет установить суммарное влияние всех факторов или же каждого в отдельности на показатель объекта. Влияние случайных и несущественных факторов при эксперименте максимально должно уменьшаться, причем в процессе опытов они должны оставаться неизменными.

План эксперимента включает: 1) объем эксперимента и число опытов; 2) порядок проведения опытов и последовательность изменения факторов; 3) выбор шага при изменении факторов и определение пределов их изменения.

При эксперименте последовательно осуществляются следующие этапы. Сначала выбирается объект исследования в соответствии с его целью и определяются параметры его состояния. При этом учитывается возможность устранения влияния случайных факторов. Выбираются показатели исследования и средства измерения. После выделения существенных факторов определяются пределы их изменения; производится

выбор средств измерения и устанавливается порядок изменения факторов и интервалов. Указанные работы реализуются системой испытательных устройств и измерительных приборов.

Правильное проведение эксперимента во многом определяется правильным выбором его условий. Эксперимент может быть невоспроизводимым и воспроизводимым. В первом случае имеют место необратимые превращения с объектом, исследований, химические, тепловые и радиационные превращения и т.д. При воспроизводимом эксперименте изменения объекта незначительны. Примером первого может служить испытание образца на разрыв, примером второго - испытание по изучению упругих колебаний балки, когда ее деформации происходят в пределах упругости.

План воспроизводимого эксперимента называют последовательным, если выбранные верхние пределы изменения изучаемого фактора чередуются через определенные интервалы. Рендомизированный план предполагает случайное изменение фактора. Такой план эксперимента, когда в основу положен принцип случайного, или рендомизированного размещения вариантов, наиболее целесообразен для производственных условий. В этом случае уменьшается влияние на результат неизвестных систематических факторов, которые можно перевести в разряд случайных (изменение климатических условий, старение оборудования и т.д.).

Примером реализации рендомизированного плана эксперимента может служить следующий. При изучении работы нового трелевочного трактора необходимо найти оптимальную скорость движения по волоку, которая обеспечит максимальную производительность. Источником систематической ошибки при определении производительности (основной показатель) в зависимости от основного фактора (скорости движения) является дополнительный фактор - действия оператора.

Поэтому целесообразно при эксперименте взять не одного, а несколько операторов, а результаты при работе каждого усреднить. Если принять, что каждый из операторов в течение одного дня будет испытывать одну скорость движения, то при четырех операторах А, В, С, Д и скоростях 1, 2, 3, 4 план эксперимента будет выглядеть в виде следующей матрицы:

Оператор	1 день	2 день	3 день	4 день
А	1	2	3	4
В	1	2	3	4
С	1	2	3	4
Д	1	2	3	4

Такой план эксперимента имеет недостаток, заключающийся в том, что оператор в первый день работы будет проявлять боязнь и осторожность, а в четвертый он уже адаптируется. Для устранения этого недостатка производят рендомизацию плана, устанавливая операторам скорость произвольно по рабочим дням. Причем так, чтобы определенная скорость движения встречалась только один раз в день.

Оператор	1 день	2 день	3 день	4 день
А	1	2	3	4
В	3	4	1	2
С	2	1	4	3
Д	4	3	2	1

Полученная матрица носит название латинского квадрата. Здесь влияния внешних факторов усреднены. Однако возможны также ошибки, ввиду того, что каждый оператор закреплен за одним из тракторов. Если построить план эксперимента так, чтобы один оператор на одном из тракторов ( а, б, в, г ) работал только в течение одного дня, то получим греко-латинский квадрат:

Оператор	1 день	2 день	3 день	4 день
А	1а	2б	3е	4г
В	3б	4а	1г	2в
Е	2г	1в	4б	3а
Д	4в	3г	2а	1б

При реализации этого плана усредняется влияние таких факторов как оператор, день недели, трактор.

Объем эксперимента зависит от необходимой точности результата, его трудоемкости. В ряде случаев с целью усреднения результатов приходится проводить исследования не на одном, а на нескольких образцах. Если исследовать, например, зависимость деформации шины пневматического колеса от радиальной нагрузки на одном образце, то в конце зоны упругих деформаций обнаружится изменение первоначальной зависимости. При построении зависимости на основе испытаний нескольких

образцов результаты для этой зоны усредняются.

Серии опытов при изменении каждого из факторов могут быть разными по объему и зависят от возможных пределов изменения факторов и интервалов между ними. Число опытов в каждой серии определяется необходимостью получения функциональной зависимости. Если, например, ожидается получение сложной зависимости, то число опытов для каждого участка зависит от ее конфигурации (см. рис.13).

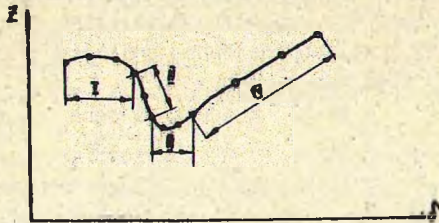


Рис.13. Зоны экспериментальной зависимости сложной конфигурации

#### 5.4. Определение числа опытов. Оценка точности эксперимента

При измерении неизбежны погрешности, которые представляют собой алгебраическую разницу между полученным при измерении и истинным значением измеряемой величины.

Абсолютная погрешность  $\Delta$  представляет собой алгебраическую разность между измеренным  $a$  и истинным  $b$  значениями параметра, т.е.  $\Delta = a - b$ , причем абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины. Относительная же погрешность выражается в относительных единицах (или в процентах):

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{b}$$

Систематические и случайные погрешности следует различать между собой. Если систематические погрешности имеют одинаковые величины при всех измерениях, то случайные - различны даже для измерений, проводящихся в одинаковых условиях. Случайная погрешность характеризуется математическим ожиданием и дисперсией.

Практически по набору случайных погрешностей строится гистограмма распределения. При близости ее к нормальному закону распределения, определив среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ , для оценки ошибки используется взаимосвязь  $\sigma$  и вероятности появления погрешности. Вероятность соответствует площади, ограниченной кривой нормального распре-

деления на интервале  $\pm \sigma$ . С учетом доверительного интервала  $\eta = \pm k \cdot \sigma$  можно для измеряемой величины записать

$$a - k\sigma < a < a + k\sigma.$$

При  $k = 1$  вероятность случайной погрешности в пределах интервала  $\pm \eta$  равна 0,682, при  $k = 2$ ;  $p = 0,95$ . Доверительная вероятность  $p$  связана с относительной ошибкой  $\delta$  зависимостью

$$\delta = \frac{\Delta_{сл}}{\sigma},$$

где  $\Delta_{сл}$  - ошибка, взятая в долях среднего квадратического отклонения.

Например, необходимо измерить длину детали и среднеквадратичная погрешность измерения  $\sigma = 0,025$ , а погрешность измерения не превышала 0,05 мм с доверительной вероятностью 0,99. Найдем относительную погрешность  $\delta = \frac{0,05}{0,025} = 2$ . По таблице Романовского при  $p = 0,99$ ,  $\delta = 2$  получим, что число опытов  $N = 5$ .

При оценке точности полученных при эксперименте зависимостей может стоять задача вычисления ошибки показателя по условиям известных ошибок измерения факторов и виду функциональной зависимости. Для экспериментальной зависимости  $y = f(x)$  ошибка показателя  $y$  составляет

$$y \pm dy = f(x \pm dx),$$

где  $dx$  - абсолютная ошибка измерения фактора  $x = \Delta x$ ;

$dy$  - абсолютная ошибка показателя  $y = \Delta y$ .

При разложении данного выражения в ряд Тейлора и исключения малых величин второго и более высокого порядка получим

$$\Delta y = \pm \Delta x f'(x),$$

т.е. абсолютная ошибка независимого переменного равна произведению абсолютной ошибки его определения на производную этой функции. Относительная ошибка равна

$$\delta_y = \frac{\Delta y}{y} = \pm d \ln f(x),$$

т.е. относительная ошибка функции равна дифференциалу натурального логарифма этой функции.

При числе факторов  $n$ , когда  $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  предельная относительная погрешность равна

$$\delta_{y \text{ пр}} = \pm d[\ln f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)].$$

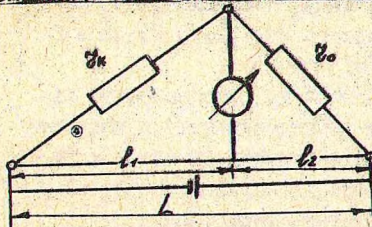
При решении обратной задачи, т.е. отысканию погрешности

Измерения факторов, если задана погрешность показателя, относительная погрешность  $\delta_{y_n}$  определяется по выражению

$$\delta_{y_n} = \pm d[\ln f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)].$$

При решении задачи нахождения оптимальных условий измерения факторов с учетом минимальных погрешностей, написанная выше функция исследуется на минимум. При этом отыскиваются частные производные первого порядка по всем независимым перемещениям, они приравниваются к нулю и из полученных уравнений отыскиваются значения факторов  $X_1^*$ ,  $X_2^*$ , ...,  $X_n^*$ . Найденные значения  $X_i^*$  подставляются во вторые производные, и если они будут больше нуля, то это указывает на оптимальность условий эксперимента.

Рассмотрим пример по определению оптимальных условий измерения сопротивления по мостовой схеме (рис. 14).



Искомое сопротивление равно 
$$z_x = z_0 \frac{l_1}{L - l_1},$$
 где  $z_0$  - эталонное сопротивление моста;  $L$  - длина измерительной проволоки моста;  $l_1$  и  $l_2$  - длины

Рис. 14. Мостовая электрическая схема, участки измерительной проволоки, отсекаемые подвижным контактом.

Относительная ошибка определения сопротивления

$$\delta_{z_x} = \pm d[\ln(z_0 \frac{l_1}{L - l_1})] = \pm (\frac{1}{l_1} + \frac{1}{L - l_1}) dl_1 = \pm z dl_1.$$

Первая и вторая производные равны

$$\frac{dz}{dl_1} = -\frac{1}{l_1^2} - \frac{(-1)}{(L - l_1)^2} = \frac{1}{(L - l_1)^2} - \frac{1}{l_1^2};$$

$$\frac{d^2z}{dl_1^2} = \frac{2}{(L - l_1)^3} + \frac{2}{l_1^3}.$$

Как видно, вторая производная всегда больше нуля, тогда приравняв к нулю первую производную, получим  $1/(L - l_1)^2 - 1/l_1^2 = 0$ , откуда найдем, что  $l_1 = \frac{L}{2}$ . Это значит, что оптимальные условия будут соответствовать нахождению подвижного контакта посередине измерительной проволоки. При этом должно выполняться условие близости величины эталонного

сопротивления измеряемому, т.е.  $\tau_x = \tau_0$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов Г.М. Основы научных исследований-Л., ЛТА им. С.М.Кирова, 1963.-70с.
2. Пальчевский Б.А. Научное исследование: объект, направления, метод. /Под общ. ред. Плотнина Я.Д.-Львов, 1979.-179с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.- М., 1980.- 207 с.
4. Жуков А.В. Методическое пособие по курсу "Исследования и испытания специальных лесных машин.-Мн.: ВТИ им.С.М.Кирова, 1982.- 29с.

### ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Основные понятия и методы научных исследований.....	5
1.1. Общие понятия о науке .....	5
1.2. Общие методы научного исследования .....	6
2. Объект, виды и структура научного исследования.....	II
2.1. Объект научного исследования.....	II
2.2. Виды и структура научного исследования .....	16
3. Выбор научного направления .....	19
3.1. Тема исследования.....	19
3.2. Поиск научных публикаций .....	21
4. Теоретические исследования .....	22
4.1. Специфика теоретических прикладных исследований.....	22
4.2. Обоснование допущений при составлении моделей объекта и их проверка .....	25
5. Экспериментальные исследования .....	27
5.1. Особенности экспериментальных исследований.....	27
5.2. Основные положения теории вероятностей .....	28
5.3. Содержание и структура экспериментальных исследований .....	32
5.4. Определение числа опытов. Оценка точности эксперимента .....	36
Литература .....	39

Св.план.1985, поз. 3(в)

Анатолий Васильевич Луков

ТЕКСТЫ ЛЕКЦИЙ ПО КУРСУ "ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ"

Редактор Е.М.Скоробогатая. Корректор О.Ю.Ромаева.

Подписано в печать 04.12.85 .АТ 17923 .Формат 60x84<sup>1</sup>/16.

Печать офсетная. Усл.печ.л.2,69. Усл.кр.-отт.2,69. Уч.-изд.л.2,3

Тираж 200 экз. Заказ 698 .Цена 7 к.

Отпечатано на роталпринте Белорусского ордена Трудового  
Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова.

220630. Минск,Свердлова,13.