

М. М. Кане

ОСНОВЫ исследований, изобретательства и инновационной деятельности в машиностроении

Утверждено

*Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений
высшего образования по специальностям
«Технология машиностроения»,
«Оборудование и технологии высокоэффективных
процессов обработки материалов»,
«Автоматизация технологических процессов
и производств (машиностроение и приборостроение)»*



Минск
«Вышэйшая школа»
2018

УДК 62:001.89(075.8)
ББК 34.4я73
К19

Рецензенты: кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства» учреждения образования «Полоцкий государственный университет» (заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор *Н.Н. Попок*); профессор кафедры «Материаловедение и технология металлов» учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», заслуженный деятель науки Республики Беларусь доктор технических наук, профессор *Н.А. Свидунович*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

ISBN 978-985-06-2829-9

© Кане М.М., 2018
© Оформление. УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решение сложных задач повышения конкурентоспособности отечественной машиностроительной продукции и эффективности ее производства невозможно без создания новых машин, оборудования, технологической оснастки, новых методов изготовления машин и организации их производства, повышения качества продукции и уменьшения ее стоимости. Создание новой техники и технологии, в свою очередь, невозможно без научных исследований, изобретательства и инновационной деятельности. В результате фундаментальных исследований возникают новые принципы и закономерности работы машин и реализации технологий. Прикладные исследования подтверждают возможность и эффективность их практического применения. Рационализаторство (инженерное творчество) на базе выполненных исследований позволяет получить новые технические решения. Инновационная деятельность активизирует указанные виды деятельности в масштабах страны и отдельных организаций, повышает их эффективность, приводит к появлению новых технологий и продукции, обладающих коммерческой ценностью. С учетом сказанного в учебные планы многих технических специальностей в учреждениях высшего образования Беларуси, России и других стран включены дисциплины, позволяющие будущим инженерам приобрести компетентность в указанных видах деятельности. Это одно из направлений политики государства по созданию условий для перехода своей экономики на инновационный путь развития.

В Республике Беларусь согласно образовательному стандарту ОСВО 1-360101-2013 по специальности 1-360101 «Технология машиностроения» в государственном компоненте цикла общепрофессиональных и специальных дисциплин предусмотрен курс «Основы исследований, изобретательства и инновационной деятельности в машиностроении». Данный учебник подготовлен в соответствии с типовой программой указанного курса.

Автор

Раздел I

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Глава 1. ЗАДАЧИ, ВИДЫ И МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ЭКСПЕРИМЕНТ КАК ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Знание, наука, инновации, технический прогресс

Знание — информация о закономерных связях объективного мира, к которому относится все, что поддается изучению, — законы природы, общества, живых организмов, объектов и результатов деятельности человека. Процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию называют **познанием**. Реализация этого процесса — основная задача **науки**. Заказчиком науки могут быть как потребности практики, так и стремление научного сообщества или отдельного ученого к более глубокому познанию определенных явлений или объектов.

Наука и практика находятся в постоянном взаимодействии. Знания, полученные наукой для удовлетворения потребностей практики, превращаются в материальные объекты и вновь становятся предметом научных исследований. Этот процесс фактически бесконечен и приводит к развитию науки и практики.

Возникновение науки как объединения отдельных ученых с учетом их специализации в различные сообщества, взаимодействующие между собой и с заказчиками, относят к XVIII в. К этому времени многие результаты познания, достижения отдельных ученых были упорядочены и собраны в единую систему. Начиная с XX в. наука становится производительной силой, так как вне взаимодействия с ней экономика самостоятельно развиваться уже не может. С годами роль науки только возрастает. В 1970-х гг. возникает экономика знаний, или инновационная экономика.

Инновациями называют новшества в различных областях (новые машины, приборы, инструменты, методы их изготовления или организация производства и др.), нашедшие практическое применение и позволившие получить значительный экономический и (или) социальный эффект.

Для инновационной экономики, особенно для производящих отраслей, характерен постоянный рост производства высокотехнологичной (наукоемкой) продукции. В США к такой продукции относят ту, для которой уровень затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) в конечной стоимости превышает данные расходы для аналогичной продукции, производимой ранее или изготавливаемой другими производителями, не менее чем в 2 раза. Нижняя граница наукоемкости оценивается в настоящее время в 5...6%. Важным критерием наукоемкости является также применение новых принципов функционирования, патентов, ноу-хау, повышающих эффективность продукции не менее чем в 1,5...2 раза.

Технический прогресс — это совокупность процессов накопления знаний в области техники и технологий, совершенствования машин, приборов, их компонентов и методов их изготовления. Начиная со второй половины XX в. имеет место постоянное

ускорение технического прогресса. Локомотивом этого ускорения являются достижения в области электроники, средств связи. Например, возникнув в 1981 г., интернет через 70 лет превратился в насущную потребность миллионов пользователей, многих отраслей экономики. Большинство современных машин уже невозможно представить без электроники. Так, современные зерноуборочные комбайны фирмы «John Deere» (США) оборудованы семью компьютерами, навигатором GPS, а станки с ЧПУ практически захватили весь рынок металлорежущих станков.

1.2. Классификация научно-исследовательских работ и методов их организации

В зависимости от классификационных признаков выделяют различные виды научно-исследовательских работ (рис. 1.1) [1].

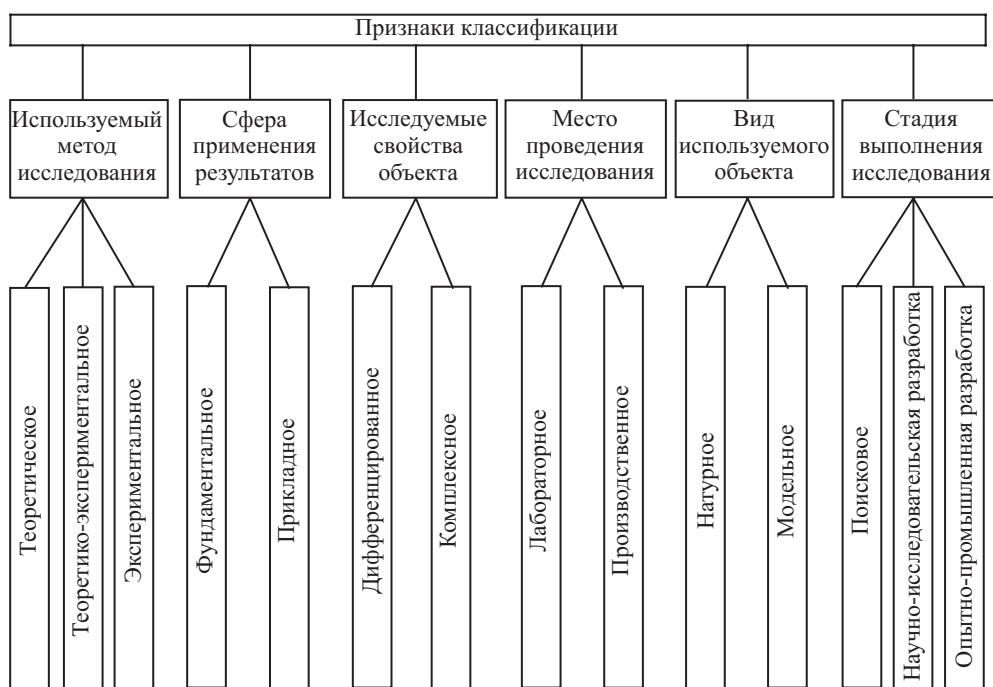


Рис. 1.1. Классификация видов научных исследований

Наиболее распространенной и комплексной является классификация научно-исследовательских работ (НИР) на фундаментальные и прикладные.

Фундаментальные исследования направлены на решение принципиально новых теоретических проблем, открытие новых законов, создание новых теорий. На их основе решаются многие прикладные задачи применительно к потребностям конкретных отраслей науки, техники и производства.

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

В странах СНГ фундаментальные исследования проводятся в основном в институтах Академии наук, в учреждениях высшего образования и финансируются государством. Прикладные исследования могут проводиться как в указанных организациях, так и на предприятиях. В развитых странах значительный объем исследований выполняют научные центры, финансируемые крупными фирмами и корпорациями.

1.3. Основные методы научных исследований

Метод исследования – это способ получения знаний и необходимой информации. Для различных видов и этапов научного исследования (познания) применяют свои методы исследования.

Разнообразные методы научного познания условно подразделяются на уровни – эмпирический, экспериментально-теоретический, теоретический и метатеоретический [1].

Методы эмпирического уровня – наблюдение, сравнение, счет, измерение, анкетный опрос, собеседование, тесты, метод проб и ошибок и т.д. – конкретно связаны с изучаемыми явлениями и используются на этапе формирования научной гипотезы.

Методы экспериментально-теоретического уровня – эксперимент, моделирование, гипотетический, исторический и логический методы – помогают исследователю обнаружить те или иные достоверные факты, объективные проявления в протекании исследуемых процессов. С помощью этих методов производится накопление фактов, их перекрестная проверка. Следует при этом подчеркнуть, что факты имеют научно-познавательную ценность только в тех случаях, когда они систематизированы и между ними вскрыты неслучайные зависимости, определены причины и следствия. Таким образом, задача выявления истины требует не только сбора фактов, но и правильной их теоретической обработки. Первоначальная систематизация фактов и их анализ проводятся уже в процессе наблюдений, бесед, экспериментов, ибо эти методы включают в себя не только акты чувственного восприятия предметов и явлений, но и их отбор, классификацию, осмысление воспринятого материала, его фиксирование.

Методы теоретического уровня – абстрагирование, идеализация, формализация, анализ и синтез, индукция и дедукция, аксиоматика, обобщение и т.д. На теоретическом уровне производится логическое исследование собранных фактов, выработка понятий, суждений, делаются умозаключения. В процессе этой работы соотносятся ранние научные представления с возникающими новыми. Научное мышление освобождается от эмпирической описательности, создает теоретические обобщения. Таким образом, новое теоретическое содержание знаний надстраивается над эмпирическими знаниями.

На теоретическом уровне познания широко используются логические методы сходства, различия, сопутствующих изменений, разрабатываются новые системы знаний, решаются задачи дальнейшего согласования теоретически разработанных систем с накопленным новым экспериментальным материалом.

К **методам метатеоретического уровня** относят диалектический метод и метод системного анализа. С помощью этих методов исследуются сами теории и разрабатываются пути их построения, изучается система положений и понятий данной теории, устанавливаются границы ее применения, способы введения новых понятий, обосновываются пути синтезирования нескольких теорий.

Охарактеризуем кратко некоторые из названных методов.

Наблюдение – способ познания объективного мира, основанный на непосредственном восприятии предметов и явлений с помощью органов чувств без вмешательства в процесс со стороны исследователя.

Сравнение — установление различия между объектами материального мира или нахождение в них общего, осуществляемое как с помощью органов чувств, так и с помощью специальных устройств.

Счет — нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров, характеризующих те или иные свойства.

Измерение — физический процесс определения численного значения некоторой величины путем сравнения ее с эталоном.

Эксперимент — одна из сфер человеческой практики, в которой подвергается проверке истинность выдвигаемых гипотез или выявляются закономерности объективного мира.

Экспериментальное изучение объекта или явления имеет определенные преимущества по сравнению с наблюдением, так как позволяет исследовать явления в «чистом виде» с помощью устранения побочных факторов; при необходимости испытания могут повторяться и организовываться так, чтобы исследовать отдельные свойства объекта, а не их совокупность.

Моделирование — метод познания, заключающийся в замене изучаемого объекта его аналогом (моделью), по которому определяются характеристики объекта оригинала. Различают физическое и математическое моделирование.

В случае **физического моделирования** в качестве аналога объекта выступает другой, менее сложный объект (так, контактные явления, происходящие при зацеплении зубчатых колес, можно изучать на примере контакта роликов).

Математическое (интеллектуальное, абстрактное) моделирование — метод познания, опирающийся на математические (символьные) модели, учитывающие основные факторы, свойства изучаемого объекта. При интеллектуальном моделировании используют такие приемы, как абстрагирование и формализация.

Абстрагирование — это мысленное отвлечение от несущественных свойств, связей, отношений предметов и выделение нескольких сторон, интересующих исследователя. Оно, как правило, осуществляется в два этапа: на первом определяются несущественные свойства, связи и т.д., на втором исследуемый объект заменяют другим, более простым, представляющим собой упрощенную модель, сохраняющую главное в сложном.

Выделяют следующие виды абстрагирования: отождествление (образование понятий путем объединения предметов, связанных по своим свойствам, в особый класс), изолирование (выделение свойств, неразрывно связанных с предметами), конструктивизация (отвлечение от неопределенности границ реальных объектов) и, наконец, допущение потенциальной осуществимости.

Формализация — отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и т.д.) и обеспечение возможности исследования.

Гипотетический метод познания предполагает разработку научной гипотезы на основе изучения сущности (физической, химической и т.п.) исследуемого явления с помощью описанных выше способов познания и затем формулирование гипотезы, составление расчетной схемы алгоритма (модели), ее изучение, анализ, разработку теоретических положений.

Как в социально-экономических и гуманитарных науках, так и в естественных и технических исследованиях часто используют **исторический метод познания**. Этот метод предполагает исследование возникновения, формирования и развития объектов в хронологической последовательности, в результате чего исследователь получает дополнительные знания об изучаемом объекте (явлении) в процессе их развития.

При **логическом методе познания** основное внимание уделяется не хронологии изменения объекта, а логичности, принципам этого развития, исключению второстепенных случайных обстоятельств.

Абстрагирование и формализация являются начальными этапами и чисто теоретических исследований, мыслительной деятельности. При этом под мышлением понимается опосредованное и обобщенное отражение в мозгу существенных свойств, причинных отношений и закономерных связей между объектами, явлениями. В процессе мыслительной деятельности выделяются следующие этапы и их результаты: понятие, суждение, умозаключение.

Понятие — мысль, отражающая существенные и необходимые (неотъемлемые) признаки предмета (явления). Абстрактные понятия, представляемые зачастую в виде определений (дефиниций), — кирпичи, из которых возводится здание науки.

Суждение — мысль, в которой посредством связи понятий что-либо утверждается или отрицается.

Умозаключение — процесс мышления и его результат, при котором одни суждения (заключения) выводятся из других (посылок). Умозаключение отражает и выражает способности абстрактного теоретического мышления вырабатывать новые знания на базе известных. Это основа исследовательской деятельности.

Классификация — разделение явлений (понятий) на определенные группы (классы), позволяющие увидеть специфику явлений, их разнообразие, свойства, связи и зависимости, общее и специфическое и посредством этого проникнуть в сущность.

Обобщение (индуцирование) — логическая операция, заключающаяся в том, что для некоторой группы явлений находится новое, более широкое по объему понятие, отражающее общность свойств этих явлений на уровне нового знания о них; средство образования новых понятий.

Для обобщения должно существовать **основание**, т.е. свойство, позволяющее сгруппировать однородные явления.

Доказательство — интеллектуальная деятельность, состоящая в установлении некоторого суждения посредством его вывода из других суждений, истинность которых полагается установленной до ее начала и независимо от нее, а также посредством подтверждения фактами и практической деятельностью.

Дедукция (дедуктивное умозаключение) характеризуется направленностью мышления исследователя от общего к частному, выведением свойств составных частей исследуемого объекта из общих закономерностей, свойственных целому (объекту); направление, близкое (однонаправленное) анализу.

Анализ состоит в том, что объект исследования, рассматриваемый как система, мысленно расчленяется на составные части (признаки, свойства, отношения и др.) для изучения каждого из них в отдельности и выявления роли и места в системе, вклада выделенных частей в целое. Основа анализа — абстракция.

Индукция (наведение, индуктивное умозаключение) характеризуется направленностью мышления исследователя от частных к общему, выведением свойств исследуемого объекта из свойств его составных частей; направление, обратное дедукции и близкое синтезу.

Синтез сводится к представлению исследуемого объекта как целого, хоть и состоящего из условно выделенных составных частей (деятельность, обратная анализу). Основа синтеза — системное сведение частей к целому.

Одним из методов научного познания является **аналогия**, посредством которой достигается знание о предметах и явлениях на основании того, что они имеют сходство с другими. Степень вероятности (достоверности) умозаключений по аналогии зависит от количества сходных признаков у сравниваемых явлений (чем их больше, тем боль-

шую вероятность имеет заключение, и она повышается, когда связь выводного признака с каким-либо другим признаком известна более или менее точно). Аналогия тесно связана с моделированием или модельным экспериментом. Если обычный эксперимент непосредственно взаимодействует с объектом исследования, то в моделировании такого взаимодействия нет, так как эксперимент проводится не с самим объектом, а с его заменителем.

Важным условием успеха научного исследования является применение *системного подхода* при выполнении исследования. Системный подход предполагает комплексное исследование объектов и процессов в совокупности с параметрами внешней среды. Изучать системы нужно как единое целое с общих позиций с учетом функционирования и взаимодействия всех ее элементов.

Рассмотренные выше методы исследования являются инструментами **системного анализа**.

1.4. Разновидности и задачи экспериментальных исследований.

Общая схема эксперимента

Экспериментальные исследования (эксперименты) проводятся практически во всех областях науки и техники. Задачей эксперимента может быть проверка либо ранее выдвинутых гипотез, либо установленных ранее неизвестных закономерностей.

Эксперимент включает в себя ряд *опытов*, в процессе каждого из которых происходит воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов. Условия опытов представляют собой значения факторов или независимых переменных величин x_1, \dots, x_k , по предположению влияющих на объект исследования. В результате опыта устанавливается значение **отклика**, или **зависимой переменной** y , по предположению зависящей от факторов $x_1 \dots x_k$. По данным эксперимента определяется зависимость математического ожидания отклика \bar{y} от факторов – **функция отклика**:

$$\bar{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_k; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m), \quad (1.1)$$

где $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ – параметры модели.

Геометрическое представление функции отклика называется **поверхностью отклика** (рис. 1.2).

Координатное пространство, по осям которого отложены факторы, есть **факторное пространство**.

Для удобства рассмотрения поверхность отклика может быть представлена на **факторной плоскости** (x_1, x_2) линиями постоянных значений функций отклика (аналогично изображению рельефа местности на географических картах) (рис. 1.3).

Поверхность отклика может иметь вид *вершины* (рис. 1.3, а). Такая поверхность соответствует области факторов, где расположен максимум величины y .

Очевидно, аналогичный вид имеют линии постоянного уровня и в случае *минимума функции* y . Их называют *кратером*.

Поверхность, изображенная на рис. 1.3, б, характеризует плавное возрастание функции отклика с уменьшением фактора x_1 и увеличением фактора x_2 . Такую поверхность принято называть *стационарным возвышением*.

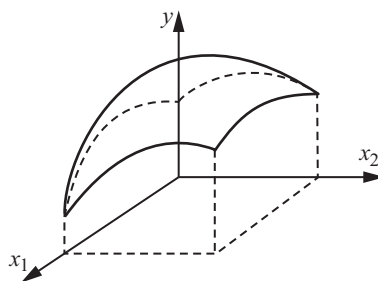


Рис. 1.2. Поверхность отклика

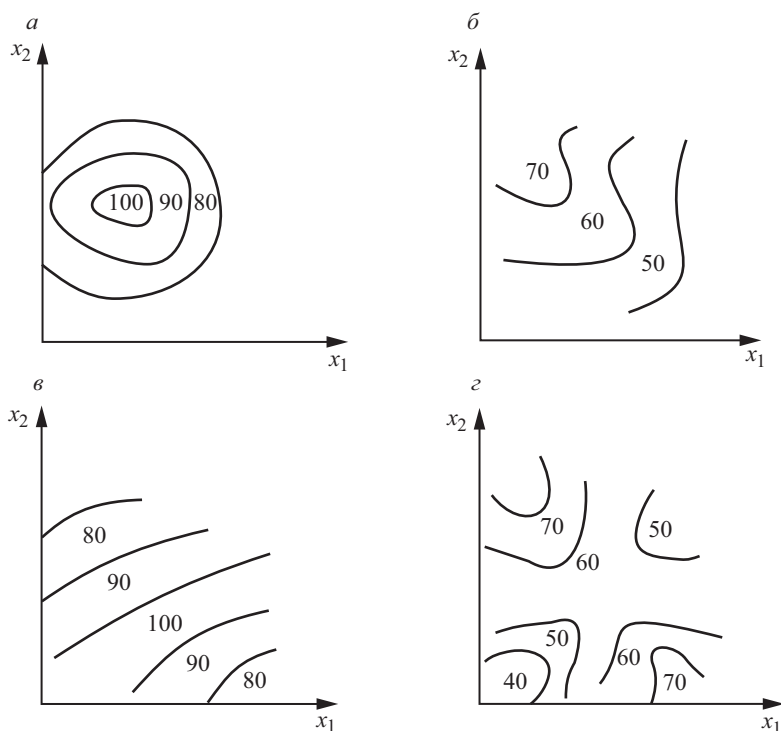


Рис. 1.3. Типы поверхностей отклика

На рис. 1.3, а, показана поверхность, называемая *хребтом*. Его вершина соответствует наибольшим значениям функции отклика. Аналогично располагаются линии постоянных значений y и в случае *оврага*, дно которого соответствует минимальным значениям функции отклика.

Наконец, поверхность может иметь вид *седла* (рис. 1.3, б). На двух участках этой поверхности наблюдается возрастание функции отклика, а на двух других – убывание.

Следует отметить, что на практике встречаются поверхности отклика и с более сложной конфигурацией.

Если число влияющих факторов больше двух, то для изображения поверхности отклика пользуются ее *двумерными сечениями*. С этой целью каждый раз фиксируют все факторы, кроме двух.

По числу переменных эксперименты могут быть классифицированы на одно- и многофакторные: при *однофакторных экспериментах* изменению и регистрации подлежит один фактор (одна независимая переменная), при *многофакторных* – несколько факторов (независимых переменных).

Объекты исследований в экспериментах можно разделить на статистические и детерминированные, управляемые и неуправляемые.

В *статистических объектах* отклик (случайная зависимая переменная y) находится в стохастической связи со случайными или неслучайными факторами x_1, x_2, \dots, x_k . Примером связи первого вида является зависимость характеристик качества готовых деталей от характеристик качества заготовок при их обработке, а примером связи второго вида – зависимость характеристик качества готовых деталей от режимов обработки. Стохастическая связь проявляется в том, что изменение независимой вели-

чины приводит к изменению закона распределения зависимой случайной величины. Простейшим ее видом является корреляционная связь, при которой с изменением независимой переменной изменяется математическое ожидание или среднее значение отклика.

Для **детерминированных объектов** характерны функциональные связи между неслучайными величинами, когда каждому значению аргумента соответствует строго определенное значение функции.

Управляемость объекта определяется возможностью воспроизведения на нем результатов опыта. Для проверки этого свойства можно провести эксперимент при некоторых выбранных уровнях исследуемых факторов, а затем повторить его несколько раз через неравные промежутки времени и сравнить результаты. Воспроизводимость результатов характеризуется разбросом их значения. Если он не превышает некоторой заранее заданной величины (требований к точности эксперимента), то объект удовлетворяет требованию воспроизводимости результатов эксперимента.

Ниже будут рассмотрены методы планирования эксперимента применительно к статистическим, управляемым объектам.

В зависимости от способа выбора уровней факторов (значений независимых переменных) эксперименты делятся на пассивные и активные. Эксперимент, в котором уровни факторов в каждом опыте и порядок опытов задаются исследователем, называется **активным**. Эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются, называется **пассивным**.

Экспериментальные исследования классифицируют также на **качественные** (с целью установления только факта существования явления) и **количественные, лабораторные и промышленные**. В последнее время все большее распространение получают **автоматизированные**, часто с помощью ЭВМ, экспериментальные исследования.

Экспериментальное исследование включает ряд следующих друг за другом этапов (рис. 1.4), сопровождающихся проверками соблюдения условий их эффективности. Как видим, исследование объекта состоит из повторяющихся циклов, причем от цикла к циклу растет объем знаний об объекте, а выдвигаемые гипотезы все более приближаются к действительности.

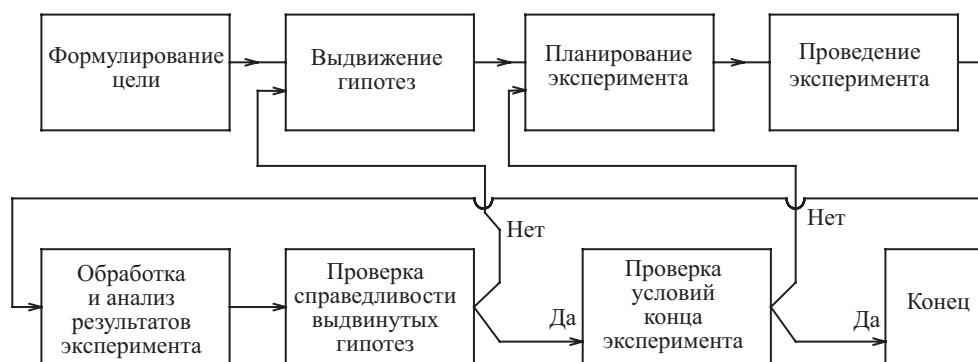


Рис. 1.4. Стратегия построения математической модели

1.5. Классификация переменных в технологических экспериментах

План эксперимента – общий термин, определяющий набор инструкций по проведению эксперимента, в которых указываются последовательность работы, характер

и величина изменений переменных и даются указания о проведении повторных экспериментов.

Переменная – любая варьируемая физическая величина. Если варьирование переменной производится независимо от других величин, то имеем *независимую переменную*. Если же физическая величина изменяется при изменении одной или большего числа независимых, то она называется *зависимой*. Если некоторая физическая величина, оказывающая влияние на эксперимент, изменяется случайным образом и ее нельзя контролировать, то она является *внешней переменной*. Независимые переменные, в свою очередь, можно разделить на управляемые и неуправляемые.

Взаимодействие указанных переменных с исследуемым объектом, внутренняя структура (природа) которого нам неизвестна, лучше всего изобразить с помощью *черного ящика*. Это понятие введено в кибернетике Н. Винером (Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио, 1958) с целью изучения сложности. Его построение основано на принципе: оптимальное управление возможно при неполной информации. Ясная формулировка этого факта является важнейшим достижением кибернетики. Данный принцип лежит в основе и методов планирования эксперимента.

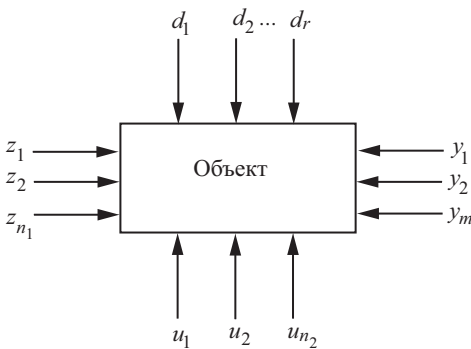


Рис. 1.5. Схематическое представление объекта

Итак, все переменные, определяющие состояние объекта независимо от их физико-химической сущности, можно разделить на четыре группы (рис. 1.5).

1. В группу $Z = (z_1 \dots z_{n_1})$ входят факторы, которые характеризуют качество сырья или промежуточных продуктов и не допускают целенаправленного изменения в ходе исследования. К этим факторам можно отнести физико-механические (твердость, прочность, структура и т.п.) и технологические (припуск, точность размеров и формы и т.п.) характеристики заготовок и деталей на промежуточных операциях механической обработки.

Информация о значениях переменных этой группы получается в результате измерений, анализов и т.п.

2. Группу $U = (u_1 \dots u_{n_2})$ образуют управляемые факторы процесса. С их помощью реализуется заданный технологический режим. К ним относятся режимы обработки, конструктивные, точностные и прочностные характеристики оборудования и оснастки. На значение управляемых факторов накладываются технологические ограничения, т.е. ограничивается область их допустимых значений.

Переменные группы Z и U можно объединить в группу $X = (x_1 \dots x_n)$ – группу *контролируемых входных* или *независимых переменных* процесса.

3. Переменные группы $Y = (y_1 \dots y_m)$ часто называют *выходными*. К их числу относятся величины, характеризующие экономическую эффективность процесса, а также технико-экономические параметры, технологические свойства и характеристики готовых продуктов: себестоимость, трудоемкость, точность обработки, шероховатость поверхности и т.п.

Часто задача состоит в том, чтобы определять зависимость между входными и выходными переменными процесса или найти значения входных факторов, обеспечивающие достижение экстремума (max и min) некоторой выходной переменной (воз-

можно при каких-то ограничениях). Это означает, что переменные данной группы часто выступают в качестве целевых величин при оптимизации процессов.

4. Группу $D = (d_1 \dots d_r)$ образуют *неконтролируемые факторы*. Они характеризуют действующие на объект возмущения, которые не могут быть измерены количественно (неконтролируемые изменения химического состава, физико-механических свойств и технологических характеристик заготовок и полуфабрикатов, колебания напряжения в электрической сети, температуры среды, изменения свойств оборудования и оснастки во времени и др.). Воздействие неконтролируемых факторов, медленно изменяющихся во времени, приводит к дрейфу характеристик объекта.

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОШИБКИ И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ

2.1. Основные сведения об измерениях

Термины и определения основных понятий метрологии установлены ГОСТ 16263-70.

Измерить какую-либо величину – значит узнать, сколько раз заключается в ней однородная с ней величина, принятая за единицу меры. Единицы меры устанавливаются действующей системой единиц (в СНГ – ГОСТ 8.417-2002).

Для измерений различных величин используются специальные приборы и установки. Приборы подбирают в соответствии с желаемой точностью измерений и устанавливают согласно рекомендациям по их нормальной технической эксплуатации. При этом должно быть исключено возможное влияние на работу установки различных внешних факторов (электромагнитных полей, тепловых воздействий, вибраций и т.п.). Затем выполняется ряд контрольных измерений, чтобы убедиться в том, что установка работает в режиме нормальной эксплуатации. С этой целью измеряют заранее известные характеристики эталонных веществ, амплитуды сигналов и т.д. Одновременно (если требуется) проводят тарировку аппаратуры, т.е. определяют показания приборов, соответствующие известным значениям измеряемого фактора. После этого приступают к выполнению запланированных измерений.

Непосредственный процесс измерения состоит из наблюдения и отсчета. Цель наблюдения – фиксация факта наступления определенного события. События могут быть самыми разнообразными: иногда требуется совместить две риски, риску – с какой-либо частью измеряемого объекта, заметить момент, когда мениск, образуемый жидкостью в капилляре, становится плоским при изменении давления, и т.д. После наступления ожидаемого события производится считывание показания прибора со шкалы, лимба или цифрового табло, определение массы эталонного вещества (гирь) и т.д.

Очевидно, что отсчет по шкале прибора и значение величины, которая измеряется, не одно и то же. Процесс измерения имеет смысл, если между ними существует определенная связь. Наличие такой связи характеризуется уравнением измерения. По виду этих уравнений выделяют три группы измерений: прямые, косвенные, совместные.

При *прямом измерении* соответствующее уравнение имеет вид

$$y = Cx, \tag{2.1}$$

где y – значение измеряемой величины в принятых для нее единицах; C – цена деления шкалы или единичного показания цифрового табло, переводной коэффициент от еди-

ницы меры свойства эталонного вещества к значению измеряемой величины в единицах измеряемой величины; x — отсчет по измерительному устройству (в делениях шкалы или непосредственно на цифровом табло) или количественная характеристика какого-либо свойства эталонного вещества (например, масса гирь при взвешивании).

Таким образом, при прямых измерениях искомое значение величины находят *непосредственно* из опытных данных (измерение длины линейкой, углов — транспортиром или измерение какой-либо величины прибором, шкала которого проградуирована в единицах измеряемой величины).

Для *косвенного измерения* характерно уравнение

$$z = f(x, y, \dots; a, b, \dots), \quad (2.2)$$

где z — значение измеряемой величины в принятых для нее единицах; x, y, \dots — результаты прямых измерений; a, b, \dots — физические константы и постоянные приборов.

Например, площадь прямоугольника находится измерением длин l_1 и l_2 двух его сторон по соотношению $S = l_1 l_2$. При этом измерение длины каждой из сторон будет прямым, а измерение площади прямоугольника — косвенным.

Совместные измерения — это одновременные измерения двух или нескольких *неодноименных* величин, уравнения измерения которых образуют систему линейно независимых уравнений. В случае двух измеряемых величин такие уравнения имеют вид

$$\begin{cases} f_1(\alpha, \beta, x_1, y_1, \dots; a_1, b_1, \dots) = 0, \\ f_2(\alpha, \beta, x_2, y_2, \dots; a_2, b_2, \dots) = 0, \end{cases} \quad (2.3)$$

где α, β — измеряемые величины; x_1, y_1, \dots — результаты прямых или косвенных измерений; a_1, b_1, \dots — физические константы или постоянные приборов.

Примером совместных измерений может служить оценка параметров некоторой прямой $y = \alpha + \beta x$: тангенса угла ее наклона β к оси абсцисс и значения ординаты α при нулевом значении абсциссы ($x = 0$).

Аналогичные измерения одноименных величин называются *совокупными*.

Если число уравнений превышает число неизвестных (в случае многих опытов), то получается система так называемых условных уравнений, которую решают методом наименьших квадратов.

Измерения, при которых число опытов и соответственно число уравнений измерений равно числу измеряемых величин, называют *однократными*, если же число опытов и соответственно число уравнений измерения превышает число измеряемых величин, — *многократными*. Измерения проводятся многократно, когда необходимо уменьшить случайную ошибку измерений.

В зависимости от точности результатов можно выделить три класса измерений:

- *эталонные*, результат которых должен иметь максимально возможную точность при достигнутом уровне техники и науки (измерения физических констант — скорости света, заряда электрона и т.д.): например, в 2014 г. введены в строй атомные часы MIST-F2, разработанные в США, которые накапливают ошибку в 1 с в течение 300 млн лет (Международное бюро мер и весов в Париже признало их самыми точными работающими часами в мире);

- *контрольно-поверочные*, при которых ошибка результата не превышает заранее заданного допуска; такие измерения выполняются в поверочных или контрольно-измерительных лабораториях при поверке приборов;

- *технические*, ошибка результатов которых определяется характеристиками измерительного комплекса.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Раздел I. ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ	4
Глава 1. Задачи, виды и методы научных исследований. Эксперимент как предмет исследования	4
1.1. Знание, наука, инновации, технический прогресс	4
1.2. Классификация научно-исследовательских работ и методов их организации	5
1.3. Основные методы научных исследований	6
1.4. Разновидности и задачи экспериментальных исследований. Общая схема эксперимента	9
1.5. Классификация переменных в технологических экспериментах	11
Глава 2. Экспериментальные ошибки и методы их оценки	13
2.1. Основные сведения об измерениях	13
2.2. Классификация погрешностей измерений	15
2.3. Методы учета и исключения систематических ошибок	16
2.4. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики, необходимые для анализа случайных ошибок измерений	18
2.4.1. Основные понятия теории вероятностей	18
2.4.2. Основные понятия математической статистики	26
2.5. Методы оценки случайных ошибок измерений	29
2.6. Математическая обработка результатов прямых измерений	30
2.7. Математическая обработка результатов косвенных измерений	32
2.8. Ошибки измерений и организация исследований, запись результата	34
2.9. Оценка результатов, содержащих резко выделяющиеся опытные данные	36
Глава 3. Основы корреляционно-регрессионного анализа	37
3.1. Основные понятия, задачи, предпосылки, методы проверки их соблюдения	37
3.2. Метод наименьших квадратов	42
3.3. Оценка достоверности результатов	45
Глава 4. Планирование и обработка результатов однофакторного эксперимента	49
4.1. Выбор интервалов между экспериментальными уровнями факторов и порядка проведения опытов	49
4.2. Типы однофакторных экспериментов	50
4.3. Методы рандомизации внешних условий	51
Глава 5. Планирование и обработка результатов многофакторного эксперимента	54
5.1. Полный факторный план	54
5.1.1. Основные преимущества и условия выполнения	54
5.1.2. Полный факторный план типа 2^k	57
5.1.3. Расчет параметров математической модели	59
5.2. Дробный факторный план	61
5.3. Порядок составления плана первого порядка и обработка результатов эксперимента	63
5.4. Понятие о планах второго порядка	64

5.4.1. Ортогональное центральное композиционное планирование	65
5.4.2. Ротатальный план	66
5.5. Задачи и методы оптимизации при планировании экспериментов	67
5.6. Крутое восхождение по поверхности отклика	71

Глава 6. Основы измерений и исследований физико-механических свойств материалов и деталей машин 73

6.1. Измерения твердости и микротвердости	73
6.2. Изучение наклепа поверхностного слоя деталей машин	79
6.3. Изучение макро- и микроструктуры металлов	81
6.3.1. Задачи и методы изучения структуры металлов	81
6.3.2. Изучение макроструктуры металлов	90
6.3.3. Изучение микроструктуры металлов	96
6.4. Методы анализа остаточных напряжений в деталях машин	104
6.4.1. Общие сведения	104
6.4.2. Классификация и характеристики методов определения остаточных напряжений	105
6.4.3. Основы применения некоторых механических методов определения остаточных напряжений.	112
6.5. Испытания на растяжение-сжатие	117
6.5.1. Задачи и методы испытаний материалов на растяжение-сжатие	117
6.5.2. Машины и приборы для определения механических свойств материалов при статическом нагружении	119
6.6. Методы измерений характеристик шероховатости и отклонений формы поверхностей	121
6.6.1. Общие сведения	121
6.6.2. Оптические методы измерения параметров шероховатости	122
6.6.3. Щуповой метод измерения параметров шероховатости	124
6.7. Измерения погрешностей формы и расположения поверхностей	126
6.7.1. Измерение некруглости	126
6.7.2. Измерение непрямолинейности и неплоскостности	128

Глава 7. Основы изучения эксплуатационных свойств деталей машин и режущих инструментов 130

7.1. Испытания на трение и износ	130
7.1.1. Основные понятия трибологии	130
7.1.2. Методы измерения износа	137
7.1.3. Стандартизованные методы испытаний на трение и износ	141
7.1.4. Оборудование для триботехнических испытаний	141
7.1.5. Ускоренные испытания на трение и износ	142
7.2. Сопротивление усталости и методы его оценки	144
7.2.1. Общие сведения	144
7.2.2. Испытания на усталость	146
7.3. Изучение стойкости режущих инструментов	154
7.3.1. Износ и разрушение режущих инструментов при резании	154
7.3.2. Проявление износа режущего инструмента	155
7.3.3. Характер протекания износа инструментов во времени	156
7.3.4. Критерии затупления инструмента	157
7.3.5. Диагностика состояния режущего инструмента в процессе обработки	162
7.3.6. Влияние различных факторов на стойкость инструмента	163
7.4. Изучение обрабатываемости материалов резанием	164

7.4.1. Понятия и характеристики обрабатываемости	164
7.4.2. Способы определения обрабатываемости материалов	165
Глава 8. Статистические методы анализа точности и стабильности механической обработки деталей машин	170
8.1. Погрешности механической обработки	170
8.2. Понятие о точности и стабильности технологического процесса. Теоретические диаграммы точности обработки	171
8.3. Методы оценки точности и стабильности обработки	174
8.4. Задачи и методы статистического анализа точности и стабильности обработки	175
8.5. Законы распределения показателей точности механической обработки	175
8.6. Экспериментальная оценка распределения показателей точности обработки	181
8.7. Организация эксперимента при исследовании точности и стабильности обработки	186
8.8. Статистическая оценка точности технологического процесса	187
8.9. Статистическая оценка стабильности технологического процесса	193
8.10. Статистические методы исследования влияния различных факторов на точность и стабильность обработки	195
8.10.1. Метод статистической проверки гипотез	196
8.10.2. Дисперсионный анализ	197
8.10.3. Анализ временных рядов и случайных последовательностей	200
Список литературы	206
Раздел II. ОСНОВЫ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА	210
Глава 9. Технический прогресс и инженерное творчество. Основные понятия техники	210
9.1. Значение методов интенсификации инженерного творчества	210
9.2. История развития методов инженерного творчества	211
9.3. Классификации методов инженерного творчества	214
9.4. Технический объект и технология	216
9.5. Методы описания технических объектов	216
9.6. Последовательность решения задач поиска и выбора проектно-конструкторских решений	220
9.7. Технический объект и окружающая среда	222
9.8. Требования к техническому объекту. Критерии развития, показатели качества, список недостатков	223
9.9. Виды моделей технических объектов. Понятие о законах и закономерностях техники	224
Глава 10. Функционально-физический анализ технических объектов	226
10.1. Построение конструктивной функциональной структуры технических объектов, технологического процесса, материала	226
10.2. Построение потоковой функциональной структуры	228
10.3. Описание физического принципа действия технического объекта	231
Глава 11. Методы мозговой атаки	234
11.1. История и психологические основы методов мозговой атаки	234
11.2. Метод прямой мозговой атаки	236
11.3. Метод обратной мозговой атаки	239
11.4. Комбинированное использование методов мозговой атаки	241

Глава 12. Морфологический анализ	242
12.1. Сущность метода и последовательность его реализации	242
12.2. Составление морфологических таблиц	243
12.3. Выбор наиболее эффективных технических решений	246
12.4. Пример решения задачи с помощью морфологического анализа	248
12.5. Преимущества и недостатки метода	253
Глава 13. Функционально-стоимостной анализ (ФСА) технических объектов	254
13.1. История возникновения, особенности и задачи ФСА	254
13.2. Последовательность проведения ФСА, подготовка к его выполнению	257
13.3. Сбор и анализ информации об объекте ФСА	259
13.4. Поиск и исследование улучшенных проектно-конструкторских решений	264
13.5. Разработка и внедрение результатов ФСА	265
13.6. Методический пример применения ФСА	265
Глава 14. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ)	269
14.1. Основные понятия	269
14.2. Теоретические основы ТРИЗ	275
14.3. Методы и средства, применяемые в ТРИЗ	278
14.4. Рекомендации по использованию методов ТРИЗ	281
Глава 15. Основные положения охраны объектов интеллектуальной собственности	283
15.1. Основные понятия	283
15.2. Правовая защита изобретений, полезных моделей и промышленных образцов	286
15.3. Оформление заявки на выдачу патента на объект промышленной собственности и ее экспертиза	293
15.4. Патентные исследования. Понятие и цели патентных исследований	298
15.5. Влияние объектов интеллектуальной собственности на развитие экономики	303
Список литературы	308
Раздел III. ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	310
Глава 16. ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	310
16.1. Основные понятия	310
16.2. Виды инноваций	312
16.3. Инновации как основа технологического развития общества и устойчивого развития экономики	314
16.4. Инновационный процесс: структура затрат, жизненный цикл	316
16.5. Задачи, виды и функции инновационного менеджмента и инновационного маркетинга	318
Глава 17. Организационные формы инновационной деятельности	332
17.1. Государственная инновационная политика	332
17.2. Кадровое обеспечение инновационной деятельности	335
17.3. Виды и особенности инновационных организаций	337
17.4. Организация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в инновационной деятельности	343
	365

<u>Глава 18. Основы экономики инновационной деятельности</u>	347
18.1. Эффекты инновационной деятельности	347
18.2. Оценка эффективности инновационных организаций	350
18.3. Показатели эффективности инновационных проектов	352
18.4. Поиск, систематизация и анализ инновационных технологий, проектов, решений . . .	357
Список литературы	360

Кане, М. М.

- К19 Основы исследований, изобретательства и инновационной деятельности в машиностроении : учебник / М. М. Кане. – Минск : Вышэйшая школа, 2018. – 366 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2829-9.

Рассмотрены задачи, виды и методы научных исследований, основные положения теории ошибок, корреляционного и регрессионного анализа, планирования и обработки результатов одно- и многофакторного экспериментов, методы измерений некоторых физико-механических и эксплуатационных свойств материалов, деталей, инструментов и технологических систем, статистические методы анализа точности и стабильности технологических процессов. Показаны основные методы инженерного творчества, принципы функционально-физического анализа технических объектов, различные методы изобретательства (мозговая атака, морфологический анализ, функционально-стоимостной анализ, ТРИЗ). Даны основные понятия патентоведения. Описаны цели, методы, организационные формы, основы экономики инновационной деятельности.

Для студентов учреждений высшего образования машиностроительных специальностей, научных и технических специалистов в области машиностроения.

**УДК 62:001.89(075.8)
ББК 34.4я73**

Учебное издание

Кане Марк Моисеевич

**ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебник

Редактор *Е.В. Савицкая*

Художественный редактор *Т.В. Шабунько*

Технический редактор *Н.А. Лебедевич*

Корректор *Т.В. Кульнис*

Компьютерная верстка *А.Н. Бабенковой*

Подписано в печать 24.07.2018. Формат 70×100/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «NewtonС». Печать офсетная. Усл. печ. л. 29,9. Уч.-изд. л. 32,5.
Тираж 600 экз. Заказ 2826.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.
Пр. Победителей, 11, 220004, Минск.

e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Типография “Победа”». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014.
Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.