

4202.11.



Л. В. ПЕРЕГУДОВ, М. Х. САИДОВ,
Д. Е. АЛИКУЛОВ

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА

"МОЛИЯ"

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Л. В. ПЕРЕГУДОВ, М. Х. САИДОВ, Д. Е. АЛИКУЛОВ

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА

Под редакцией проф., докт. техн. наук Л. В. Перегудова

*Рекомендуется Министерством высшего и среднего
специального образования в качестве учебного*

ТАШКЕНТ — «МОЛИЯ» — 2002

Л. В. Перегудов, М. Х. Саидов, Д. Е. Аликулов. «Методология научного творчества» — Т.: «Молия», 2002 — 124 с.

Приводятся основные понятия, определения, методы и этапы научных исследований; методика поиска, изучения и анализа научно-технической информации. Рассматриваются основы математического моделирования в научном исследовании, модели различных объектов исследований и систем, а также математическое моделирование путем планирования эксперимента. Приводятся методология проведения экспериментальных исследований, включая вычислительный эксперимент, методы обработки и анализа результатов эксперимента и методика подбора эмпирических формул. Даются рекомендации по оформлению результатов научно-исследовательских работ, их внедрению и расчету экономической эффективности.

Предназначено для студентов магистратуры всех областей образования и может быть использовано аспирантами, а также преподавателями вузов при повышении квалификации.

Рецензенты: К. Р. Аллаев, докт. техн. наук, профессор.
Ш. О. Бутаев, докт. экон. наук, профессор.



Банковско-финансовая академия.
Издательство «Молия». 2002.

1792

ВВЕДЕНИЕ

Наука является особой сферой рациональной человеческой деятельности по производству объективно истинных знаний об окружающем нас мире. Эта сфера включает непрерывно развивающуюся **систему знаний, научное творчество людей и учреждения**, обеспечивающие это творчество.

Взаимообусловленный процесс развития науки и техники позволяет человеку воздействовать на окружающую среду для получения **материальных и духовных благ**. Причем это воздействие не должно приносить вред окружающей среде ни в настоящем времени, ни в перспективе.

Внедрение результатов научного творчества в производство выражается в росте производительности труда, снижении себестоимости продукции, повышении её качества и конкурентоспособности, улучшении эксплуатационных показателей и т.д.

Наука — фундамент научно-технического прогресса.

Научные достижения непосредственно сказываются и на развитии высшей школы. Наука предъявляет новые возросшие требования к знаниям студентов, их творческому развитию, умению находить рациональные решения в соответствующей области деятельности. От специалиста требуется умение ставить и решать на научной основе как старые, так и чаще всего принципиально новые задачи.

В шести главах учебного пособия рассматриваются основные определения и понятия научного творчества, методология теоретических и экспериментальных исследований, а также вопросы, связанные с оформлением научных исследований, расчетом их экономической эффективности и внедрением. Главы 2 и 3 написаны Перегудовым Л. В., главы 1 и 4 — совместно Перегудовым Л. В., Саидовым М. Х. и Аликуловым Д. Е., главы 5 и 6 — Аликуловым Д. Е.

Учебное пособие предназначено для студентов магистратуры, областей образования: фундаментальные науки; инженер-

ные, обрабатывающие и строительные отрасли; сельское хозяйство; службы.

Работа является первой попыткой дать методологию научного творчества при подготовке магистров, поэтому она не лишена недостатков. Авторы с благодарностью примут любые пожелания и замечания, которые нужно присылать по адресу: Ташкент 700011, ул. Пахтакорская 3, ИПВССШ.

ГЛАВА 1. НАУКА И ТВОРЧЕСТВО

1.1. Основные определения и понятия.

Методы научных исследований

Наука — сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности.

Данная сфера включает:

- *непрерывно развивающуюся систему знаний* в виде научных понятий, принципов и аксиом, научных законов, теорий и гипотез, эмпирических научных фактов, методов, способов и приемов исследования;
- *научное творчество людей*, направленное на создание и развитие этой системы знаний;
- *учреждения*, обеспечивающие творчество людей объектами научного труда, средствами и условиями научной деятельности.

Развитие науки идет от сбора фактов, их изучения и систематизации, обобщения и раскрытия отдельных закономерностей к созданию логически стройной системы научных знаний, позволяющей объяснить уже известные факты и предсказать новые.

Исходными положениями научных знаний являются принципы (постулаты) и аксиомы, которые, являясь начальной формой систематизации, лежат в основе учений, теорий и т.д. (например, постулат Бора в квантовой механике, аксиомы Евклидовой геометрии и т.д.).

Высшей формой обобщения и систематизации научных знаний является **теория**. Она формулирует научные принципы и законы, методы исследований, которые позволяют обобщить, познать существующие объекты, процессы и явления, а также предсказать новые. Теория является источником соот-

ветствующих рекомендаций по использованию познанного в практической деятельности людей.

Важнейшей составной частью в системе научных знаний являются **научные законы**, отражающие наиболее существенные, устойчивые и повторяющиеся *объективные внутренние связи* в природе, обществе и мышлении. Обычно научные законы относят к общим понятиям, категориям.

В тех случаях, когда ученые не располагают достаточным фактическим материалом, в качестве средства достижения научного результата (положительного или отрицательного) используют **гипотезы**. Гипотеза является научным предположением и требует проверки на опыте и теоретического обоснования, чтобы стать достоверной научной теорией.

Инструментом решения задач науки — разработка теорий, открытие объективных законов действительности, установление научных фактов и т.д. — являются **общие и специальные методы научного познания**.

Общие методы подразделяются на три группы:

- *методы эмпирического исследования* (наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент);
- *методы теоретического исследования* (восхождение от абстрактного к конкретному и др.);
- *методы эмпирического и теоретического исследования* (анализ и синтез, индукция и дедукция, моделирование, абстрагирование и др.).

Наблюдение — метод познания, при котором изучение объекта осуществляется без вмешательства в него. В данном случае фиксируются и измеряются лишь свойства объекта, характер его изменения (например, наблюдение за осадкой здания). Результаты исследования информируют нас об объективных свойствах и отношениях (связях) реально существующих объектов. Эти результаты не зависят от воли, чувств и желаний субъекта.

Сравнение — широко распространенный метод познания, основанный на принципе "все познается в сравнении". В результате сравнения устанавливается то общее, что характерно для нескольких объектов. А это, как известно, первый шаг на пути познания закономерностей и законов.

Чтобы сравнение было плодотворным, необходимо выполнять два основных требования:

во-первых, нужно сравнивать лишь такие объекты, между которыми может существовать определенная объективная общность; во-вторых, сравнение объектов должно осуществляться по наиболее существенным (в плане познавательной задачи) свойствам, признакам.

В отличие от сравнения **измерение** является более точным познавательным инструментом. Ценность этого метода заключается в высокой точности сведений об объекте окружающей действительности. В процессе эмпирического научного познания измерение распространено примерно также, как наблюдение и сравнение.

Эксперимент, в отличие от рассмотренных методов эмпирического исследования, является наиболее общим научно поставленным опытом. В нем не только наблюдают и измеряют, но и изменяют определенным образом условия, в которых находится объект, или сам объект исследования. В результате эксперимента можно выявить влияние одного или нескольких факторов на другой или другие. В отличие от наблюдения эксперимент обеспечивает повторяемость опыта, позволяет исследовать свойства объекта при различных условиях и изучать объект в "чистом виде".

Методы **эмпирического исследования** играют значительную роль в научном познании. Они являются не только основой для подтверждения гипотез, но и часто источниками новых научных открытий, законов и т.д.

При эмпирическом и теоретическом исследовании широко применяются такие универсальные методы, как анализ и синтез, дедукция и индукция, абстрагирование.

Суть метода **анализа** заключается в мысленном или физическом расчленении объекта исследования на составные части. В данном случае изучается сущность отдельных элементов объекта, их связи и взаимодействия.

В отличие от анализа метод **синтеза** заключается в познании объекта исследования как единого целого, в единстве и взаимной связи его частей. Метод синтеза применяется для исследования сложных систем после анализа их составных частей.

Методы анализа и синтеза взаимосвязаны и дополняют друг друга при научном исследовании. Они могут принимать различные формы в зависимости от свойств изучаемого объекта и цели исследования. Существуют эмпирический, элементарно-теоретический, структурно-генетический анализ и синтез.

Эмпирический анализ и синтез применяются при поверхностном ознакомлении с объектом. В этом случае выделяются отдельные части объекта, определяются его свойства, проводятся простейшие измерения и фиксация того, что лежит на поверхности общего. Такая форма анализа и синтеза позволяет изучить объект исследования, но она недостаточна для проникновения в его сущность.

Для изучения сущности объекта исследования используются **гуманитарно-теоретический анализ и синтез**. Они базируются на некоторых теоретических предположениях о причинно-следственной связи различных явлений, о действии какой-либо закономерности.

Более глубокое проникновение в сущность объекта исследования обеспечивают **структурно-генетический анализ и синтез**. При такой форме анализа и синтеза вычлениют самые главные элементы, оказывающие доминирующее влияние на все стороны сущности объекта исследования.

Дедукция и индукция являются своего рода “анализом и синтезом” *логических умозаключений* при изучении объектов исследования. **Дедукция** основана на логическом умозаключении от общих суждений к частным. Этот метод широко используется в математике и механике, когда из общих законов или аксиом выводятся частные зависимости. В противоположность дедукции **индукция** — это логическое умозаключение от частного к общему выводу. Эти два метода также, как методы анализа и синтеза, взаимосвязаны и дополняют друг друга при научном исследовании.

При эмпирическом и теоретическом исследовании, наряду с рассмотренными методами, широко применяется метод **абстрагирования**. Суть этого метода заключается в *отвлечении* от частных, несущественных сторон исследуемого объекта, с целью выделения свойств, раскрывающих его сущность.

Посредством абстракции формируются обобщенные результаты мышления, которые мыслимо изъяты из контекста других явлений, что позволяет проследить их взаимосвязи. Абстрактное мышление — обязательное условие творческих подходов.

Математическое абстрагирование является основой метода научного исследования — **формализации**. В данном случае существенные стороны объекта (свойства, признаки, связи) описываются математическими терминами и формулами, с которыми затем выполняются действия по определенным правилам.

В научном познании часто применяют метод моделирования, суть которого заключается в замене объекта исследования (оригинала) искусственной системой (моделью), отображающей его основные свойства (подробно о моделировании в научном исследовании см. п. 2.1).

Теоретические исследования часто базируются на методе восхождения от абстрактного к конкретному. В данном случае процесс познания разбивается на два относительно самостоятельных этапа.

На первом этапе осуществляется *переход от конкретного в действительности к его абстрактным определениям*. Объект исследования расчленяется и описывается при помощи множества понятий и суждений, т.е. он превращается в совокупность абстракций, зафиксированных мышлением. Это — анализ объекта исследований на уровне абстракций.

Далее на втором этапе познания осуществляется восхождение от абстрактного к конкретному. Здесь как бы восстанавливается целостность объекта исследования (синтез), но уже в мышлении.

Следует отметить, что рассмотренные выше методы научного познания применяются, как правило, в комплексе, дополняя друг друга.

Логика познания представляется как процесс выявления существенного, устойчиво повторяющегося и особенного, что отличает изучаемый объект от других.

В процессе познания важно соблюдать общую технологию: от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике.

Резюме. *Сфера науки включает непрерывно развивающуюся систему знаний, научное творчество людей и учреждения, обеспечивающие это творчество. Высшей формой обобщения и систематизации научных знаний является теория, которая формулирует научные принципы и законы, методы исследований. К методам исследования относятся:*

- *методы эмпирического исследования (наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент);*
- *методы теоретического исследования (восхождение от абстрактного к конкретному и др.);*

• *методы эмпирического и теоретического исследования (анализ и синтез, индукция и дедукция, моделирование, абстрагирование и др.).*

В тех случаях, когда ученые не располагают достаточным фактическим материалом, в качестве средства достижения научного результата (положительного или отрицательного) используют гипотезы, требующие проверки на опыте и теоретического обоснования.

1.2. Классификация и основные этапы научных исследований

Научные исследования или научно-исследовательские работы (НИР) по целевому назначению, степени связи с природой или промышленностью и научной глубине подразделяются на три основных вида: фундаментальные (теоретические), прикладные и разработки.

Фундаментальные исследования направлены на открытие новых законов окружающей действительности, определение связей между явлениями, создание новых теорий и принципов. Они позволяют расширить знания общества, более глубоко понять законы природы. Эти исследования являются основой (фундаментом) как самой науки, так и общественного производства.

Прикладные исследования направлены на разработку научной базы, необходимой для создания новых или совершенствования существующих средств производства (оборудование, машины, материалы, способы производства, организация работ и др.). Эти исследования должны удовлетворять потребность общества в развитии конкретной отрасли производства.

Целью **разработок или опытно-конструкторских работ (ОКР)** является использование результатов прикладных (или фундаментальных) исследований для создания и освоения новых или усовершенствования существующих образцов техники, технологии производства. В процессе ОКР научные исследования преобразуются в технические предложения. Схема такого преобразования в интегрированной системе *наука – производство* приведена на рис 1.01.

Процесс выполнения фундаментальных и прикладных НИР содержит ряд **основных этапов**, расположенных в определенной логической последовательности.

1-й этап. Обоснование актуальности и формулирование выбранной темы:

— ознакомление с проблемой предстоящего исследования по отечественным и зарубежным литературным источникам, обоснование ее актуальности;

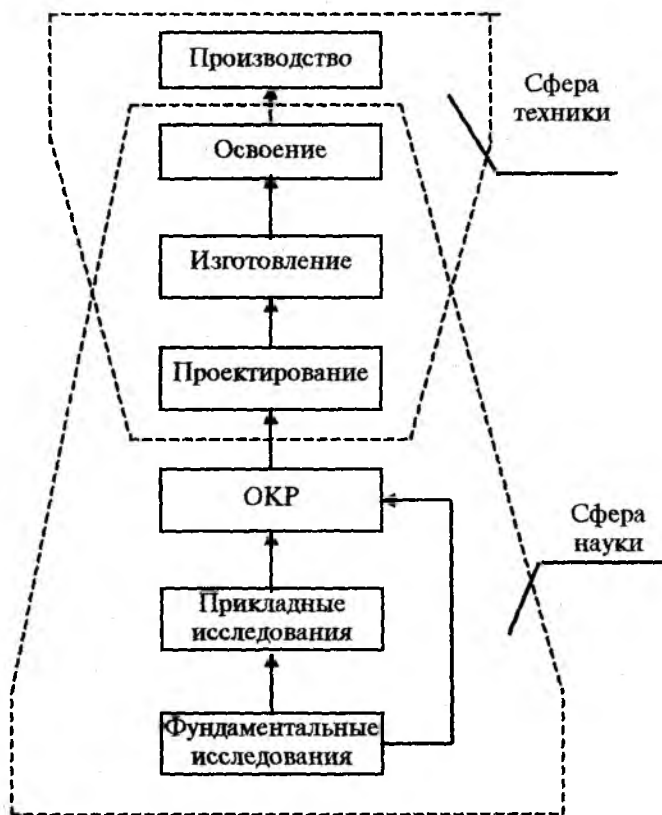


Рис. 1.01. Схема преобразования научных исследований в технические предложения в интегрированной системе наука-производство

— определение и классификация важнейших направлений исследования по проблеме;

— формулирование темы и составление аннотации исследования;

— разработка технического задания и составление общего календарного плана НИР;

— предварительное определение ожидаемого экономического или другого полезного эффекта.

2-й этап. *Формулирование цели и задач исследования:*

— подбор и составление библиографических списков отечественной и зарубежной литературы (монографии, учебники, статьи, патенты и изобретения и др.), а также научно-технических отчетов по выбранной теме;

— составление аннотаций источников и рефератов по теме;

— анализ состояния вопроса по теме;

— формулирование цели и задач исследования.

3-й этап. *Теоретические исследования:*

— выбор объекта и предмета исследования, изучение физической сущности и формулирование рабочей гипотезы на основании задач исследований;

— определение модели в соответствии с рабочей гипотезой и ее исследование;

— анализ результатов исследования и разработка теории исследуемой проблемы.

4-й этап. *Экспериментальные исследования* (для подтверждения, корректировки или опровержения теоретических исследований):

— определение цели и задач экспериментальных исследований;

— планирование эксперимента и разработка методики его проведения;

— создание экспериментальной установки и других средств проведения эксперимента;

— обоснование способов и выбор средств измерения;

— проведение экспериментальных исследований и обработка их результатов.

5-й этап. *Анализ и оформление научных исследований:*

— сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований, анализ их расхождений;

— уточнение теоретической модели объекта исследования и выводов;

— превращение рабочей гипотезы в теорию или ее опровержение;

— формулирование научных и производственных выводов, оценка результатов исследований;

— составление научно-технического отчета и его рецензирование.

6-й этап. Внедрение и экономическая эффективность:

- внедрение результатов исследований в производство;
- определение экономического эффекта.

На ряд основных этапов, расположенных в определенной логической последовательности, разбивается и процесс выполнения ОКР.

1-й этап. Обоснование актуальности и формулирование темы, цели и задач ОКР (выполняются работы 1-го и 2-го этапов НИР).

2-й этап. Техническое задание и предложение:

- разработка технического задания на проектирование экспериментального образца;
- технико-экономическое обоснование;
- проверка на патентоспособность.

3-й этап. Техническое проектирование:

- разработка вариантов технического проекта и выбор рационального;
- создание отдельных узлов и блоков для проверки их показателей надежности;
- определение технического уровня и качества, расчет технико-экономических показателей;
- согласование технического проекта.

4-й этап. Рабочее проектирование:

- разработка рабочего проекта;
- подготовка необходимой конструкторской документации.

5-й этап. Изготовление опытного образца:

- технологическая подготовка производства: разработка технологических процессов, проектирование и изготовление оснастки, режущего и вспомогательного инструмента;
- изготовление деталей, узлов и блоков опытного образца, сборка их;
- апробация, доводка и регулировка опытного образца;
- стендовые и производственные испытания.

6-й этап. Доработка опытного образца:

- анализ работы узлов, блоков и опытного образца в целом после испытаний;
- замена отдельных узлов, блоков и деталей, не отвечающих требованиям надежности.

7-й этап. Государственные испытания:

- передача опытного образца на государственные испытания;

— проведение государственных испытаний и сертификация.

Резюме. *Научные исследования по целевому назначению и научной глубине классифицируются на три основных вида: фундаментальные (теоретические), прикладные и опытно-конструкторские разработки. Процесс выполнения фундаментальных и прикладных НИР содержит шесть основных этапов, а опытно-конструкторских разработок — семь этапов. Все виды научных исследований заканчиваются внедрением.*

1.3. Выбор и оценка тем научных исследований

Научное познание связано с решением проблем. Отсутствие проблем привело бы к остановке исследования и застою в науке.

В научно-исследовательской работе различают: **научные направления, проблемы и темы.**

Научное направление — это сфера научных исследований коллектива, посвященных решению крупных, фундаментальных теоретико-экспериментальных задач в определенной отрасли науки. Научное направление подразделяется на структурные единицы: комплексные проблемы и проблемы, темы и вопросы.

Проблема — это сложная научная задача, требующая разрешения, исследования. Она является результатом **проблемной ситуации**, которая возникает при появлении **противоречия** между существующим старым знанием и вновь обнаруженными результатами эмпирического или теоретического исследования. *Комплексная проблема (или проблематика)* — это **совокупность проблем**, охватывающая несколько сложных задач, как правило, одного направления.

Тема — это научная задача, охватывающая определенную область проблемы, требующая исследования. Она базируется на многочисленных исследовательских вопросах — более мелких научных задачах, относящихся к конкретной области проблемы. При выполнении темы или вопроса решается конкретная исследовательская задача, например, разработка нового материала, конструкции, прогрессивной технологии и т.п. При этом результаты их выполнения имеют не только теоретическое значение, но, главным образом, и практическое значение с определенным ожидаемым экономическим эффектом.

Выбор проблем и тем является трудной и ответственной задачей, решаемой в несколько этапов.

На первом этапе, исходя из проблемной ситуации, формулируется проблема и определяется в общих чертах ожидаемый результат.

На втором этапе устанавливается *актуальность проблемы*, ее ценность для науки и техники.

На третьем этапе разрабатывается *структура проблемы* — выделяются темы, подтемы, вопросы и связи между ними. В результате составляется дерево проблемы.

В дальнейшем после обоснования проблемы и разработки ее структуры научный работник (или коллектив), как правило, самостоятельно выбирает тему научного исследования.

Выбрать тему зачастую более сложно, чем провести само исследование.

К теме научного исследования предъявляется ряд требований.

1. *Тема должна быть актуальной, требующей разрешения в настоящее время.* Для определения степени актуальности тем, связанных с фундаментальными исследованиями, пока нет соответствующих критериев. Поэтому актуальность в данном случае определяет крупный ученый или научный коллектив. Что касается тем прикладного характера, то их актуальность определяется, как правило, потребностями развития конкретной отрасли производства и экономическим эффектом.

2. *Тема должна решать новую научную задачу и характеризоваться научной новизной.*

3. *Важными требованиями, предъявляемыми к научным темам, являются экономическая эффективность и значимость.* Темы, связанные с прикладными исследованиями, должны давать экономический эффект, который на стадии выбора определяется ориентировочно. При выборе тем фундаментального характера критерий экономической эффективности уступает место критерию значимости.

4. *Тема должна соответствовать профилю научного коллектива.* Это позволяет наиболее полно использовать квалификацию и компетентность научного коллектива. В результате повышается теоретический уровень разработок, качество и экономическая эффективность, сокращаются сроки выполнения исследования.

5. *Важной характеристикой темы является внедряемость.* Разработчики темы должны определить возможность ее окон-

чания в плановой срок и внедрения в производственных условиях заказчика. Они должны хорошо знать соответствующее производство, его запросы в настоящее время и на перспективу.

Выбору темы должны предшествовать тщательное изучение и анализ зарубежных и отечественных литературных источников, посвященных решаемым задачам. Это необходимо для того, чтобы не изобрести велосипед, а также определить тенденцию в современных научных исследованиях.

В последние годы при выборе тем все шире применяют методы экспертных оценок, заключающиеся в том, что планируемые темы оценивают специалисты-эксперты. Каждый эксперт оценивает в баллах соответствующие требования (см. выше), предъявляемые к темам. Результаты их оценки обрабатываются различными методами. Наиболее простым является метод максимального балла — отдают предпочтение теме, набравшей наибольший суммарный балл.

Резюме. Выбор проблем и тем научных исследований является трудной и ответственной задачей, решаемой в несколько этапов. Выбор тем осуществляется на основе комплекса требований, предъявляемых к ним.

1.4. Анализ научно-технической информации, формулирование цели и задач научных исследований

1.4.1. Научно-техническая информация и ее поиск

Без научной библиографии не может быть правильной постановки научной работы.

Любое научное исследование начинается с поиска научно-технической информации, посвященной тому направлению, в котором предполагается проводить исследования.

Носителями научно-технической информации являются различные документы:

- книги (учебники, учебные пособия, монографии, брошюры);
- периодические издания (журналы, бюллетени, труды институтов, научные сборники);
- нормативные документы (стандарты, технические условия, инструкции, нормативные таблицы, временные указания и др.);
- каталоги и прейскуранты;

- патентная документация;
- отчеты о научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах;
- информационные издания (сборники НТИ, аналитические обзоры, информационные листки, экспресс-информация, выставочные проспекты и др.);
- переводы и оригиналы иностранной научно-технической литературы;
- диссертации, авторефераты;
- материалы научно-технических конференций и производственных совещаний;
- вторичные документы (реферативные обзоры, библиографические каталоги, реферативные журналы и др.).

Перечисленные документы образуют огромные информационные потоки, темпы которых ежегодно возрастают. При этом различают **восходящий** и **нисходящий** потоки информации.

Восходящий поток информации направлен от исполнителей (НИИ, вузы, ОКБ и др.) к регистрирующим органам, а *нисходящий* поток в виде библиографических, обзорных, реферативных и других данных — к исполнителям по их запросам.

Информация имеет свойство «стареть».

В связи с бурным ростом новых научных и научно-технических данных информация *«стареет»*. Закономерность ее «старения» [32] приведена на рис 1.02. По данным зарубежных исследований интенсивность падения ценности информации («старения») ориентировочно составляет 10% в день для газет, 10% в месяц для журналов и 10% в год для книг. Поэтому найти в огромном потоке информации новое, передовое, научное в решении конкретной темы — задача весьма сложная не только для одного научного работника, но и для большого коллектива.

**NAMANGAN DAVLAT
UNIVERSITETI
Axborot-resurs markazi**

1792

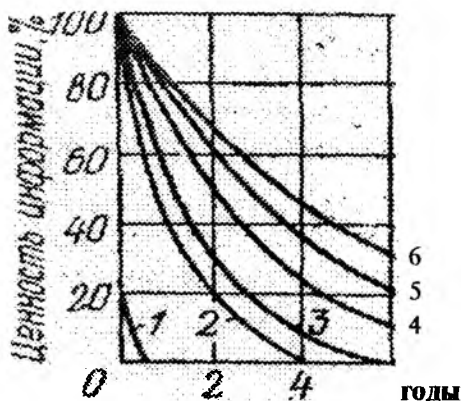


Рис. 1.02. Закономерности «старения» информации: 1 — листки технической информации; 2 — экспресс-информация; 3 — прикладные журнальные статьи; 4 — теоретические журнальные статьи; 5 — монографии; 6 — изобретения

Поиск необходимой информации — процесс творческий, отсюда сложность его формализации и, следовательно, автоматизации.

Информационный поиск — это совокупность операций по отысканию документов, необходимых для разработки выбранной темы. Он может осуществляться **вручную, механически, механизированно и автоматизированно.**

Ручной поиск осуществляется по обычным библиографическим карточкам, картотекам и печатным указателям. Носителем информации при *механическом поиске* являются перфокарты. *Механизированный поиск* базируется на применении счетно-перфорационных машин, а *автоматизированный* — на ЭВМ. В информационно-поисковых системах применяются различные варианты **информационно-поискового языка.**

Для достижения оптимальных результатов поиска необходимо, чтобы в нем в той или иной степени участвовал сам разработчик (или разработчики) темы. Ведя поиск, разработчик как бы исследует поисковый массив и уточняет формулировку своего информационного запроса.

Современным универсальным источником информации в любой отрасли индустрии, транспорта, образовании, науке и т.д. является **Глобальная информационная сеть Интернет** (далее

– Интернет). Эта сеть открывает пользователю доступ к различным информационным ресурсам и позволяет ответить на следующие вопросы:

– *Как найти в автоматизированном режиме нужный информационный объект?*

– *Как его использовать на удаленной машине или перенести его на свой компьютер?*

– *Какими программными средствами сделать его воспринимаемым?*

При этом пользователь Интернета может получить доступ к информационным ресурсам других сетей благодаря существованию межсетевых шлюзов.

Информационные ресурсы Интернета – это вся совокупность информационных технологий и баз данных, доступных при помощи этих технологий, и существующих в режиме постоянного обновления.

К этой совокупности, например, относятся:

– система файловых архивов FTR;

– базы данных WWW;

– базы данных Gopher;

– базы данных WAIS и др.

Система файловых архивов FTR представляет собой расширенное хранилище возможной информации, накопленной за последние 10–15 лет. Ее услугами может воспользоваться любой пользователь, скопировав интересующие его материалы.

Удобный доступ к большинству информационных архивов Интернет предоставляет **гипертекстовая информационная система World Wide Web (WWW – «Всемирная паутина»)**. Многие интерфейсы данной технологии позволяют выбирать интересующие материалы нажатием кнопки манипулятора «мышь» на нужном слове или поле графической картинке. В WWW существует большое количество различных каталогов, позволяющих ориентироваться в Интернете.

Одним из главных преимуществ WWW над другими средствами поиска и передачи информации является многофункциональность – на одной странице в WWW можно увидеть одновременно текст и изображение, звук и анимацию.

WWW – это самое удобное средство работы с информацией.

Идея иерархических каталогов положена в основу интерфейсов распределенной информационной системы Gopher. Она считается простой и достаточно надежной, защищенной системой.

Существует **распределенная информационно-поисковая система WAIS**. В ее основу положен принцип поиска информации с использованием логических запросов, основанных на применении ключевых слов. Пользователь может просмотреть все серверы WAIS на предмет поиска в них документов, удовлетворяющих его запросы.

1.4.2. Изучение и анализ научно-технической информации, формулирование цели и задач научных исследований

Изучение и анализ научно-технической информации — это основа для освещения состояния вопроса по теме, обоснования цели и задач научного исследования.

Чтобы добиться эффективной проработки информации (изучение, запоминание и анализ), необходимо соблюдать ряд условий.

Первым условием является **установка**, т.е. определение цели чтения. Этот психологический фактор активизирует мышление, помогает понять изучаемое, делает восприятие более точным. В данном случае научный работник настраивает себя на «определенную волну».

Следующее условие — это **вдохновение**. Оно лежит в основе творческого подхода и повышает эффективность проработки информации.

Чтобы обеспечить качественную проработку информации, необходимы **внимание и сосредоточенность**. В процессе проработки нужно исключить различные раздражители (шум, разговоры, собственные мысли и др.), отвлекающие внимание и приводящие к быстрому утомлению.

Важным фактором успешной работы над информацией является **самостоятельность** труда.

Не менее важными условиями при изучении литературы являются **настойчивость и систематичность**. Особенно это необходимо при чтении трудного, сложного нового текста. Приходится читать и перечитывать, чтобы добиться полного понимания материала.

Производительность проработки информации существенно зависит от умственной работоспособности. Условием для ее по-

вышения является **правильный режим работы**. Рекомендуется после 1–2 часов умственной работы делать перерывы на 5–7 минут, физические упражнения, усиленное глубокое дыхание и др., что стимулирует центральную нервную систему и повышает работоспособность.

При проработке научно-технической информации применяют **выписки, аннотации, конспекты**.

Выписки — это краткое (или полное) содержание отдельных фрагментов информации. Их ценность очень высока — они позволяют в малом объеме накопить большую информацию и являются основой для дальнейшей творческой деятельности.

Аннотация — это сжатое содержание информации первоисточника. С их помощью можно быстро восстановить в памяти текст.

Конспект — подробное изложение содержания информации того или иного первоисточника. Он должен быть полным по содержанию и по возможности кратким по объему. Конспект нужно составлять своими словами, что требует осмысливания и анализа прочитанного и, тем самым, приносит большую пользу в творческой работе.

Существуют различные способы запоминания прорабатываемой информации: **механический, смысловой, произвольный, произвольный**.

Механический способ основан на многократном повторении и заучивании прочитанного. В данном случае отсутствует логическая связь между отдельными элементами запоминаемой информации. Поэтому он наименее эффективен и применяется, главным образом, для запоминания дат, формул, цитат, иностранных слов и т.п.

Смысловой способ основан на запоминании логических связей между отдельными элементами прорабатываемой информации. При чтении необходимо понять не отдельные элементы, а текст в целом, его смысл и значение. Этот способ запоминания является логически-смысловым, в результате чего он во много раз эффективнее механического.

Произвольный способ запоминания базируется на различных мнемонических приемах, связанных с законами ассоциации.

Непроизвольный способ основан на случайном запоминании того или иного фрагмента текста в связи с возникшими эмоциями в процессе чтения.

Следует отметить, что нет универсального способа запоминания прорабатываемой информации. На практике, чаще всего, используется **совокупность способов** в зависимости от характера той или иной части информации.

Анализ прорабатываемой информации — одна из важнейших задач научного исследования.

В процессе анализа необходимо классифицировать и систематизировать как источники информации, так и их информацию. Источники можно систематизировать двояко: в **хронологическом порядке** и по **тематике** анализируемых вопросов.

В первом случае всю информацию по теме систематизируют по **научным этапам**, для которых характерны качественные скачки. Далее на каждом этапе проводится тщательный критический анализ соответствующих (этапу) источников. Для этого необходимо иметь высокий уровень эрудиции и знаний.

Во втором случае (тематический анализ) весь объем информации систематизируется по вопросу разрабатываемой темы. При этом наибольшее внимание уделяется последним изданиям научно-технической информации, в которых может быть приведен итог исследований данного вопроса. Далее выборочно анализируются другие источники, представляющие особый интерес.

Второй вариант анализа информации наиболее прост и требует меньше затрат времени. В то же время по этому варианту анализируется неполный объем информации по теме.

По результатам проработки (изучение, запоминание и анализ) научно-технической информации определяются:

- актуальность и новизна темы;
- последние достижения в области теоретических и экспериментальных исследований по теме;
- цели и задачи научного исследования;
- производственные рекомендации по теме;
- техническая, экономическая и экологическая целесообразность научных разработок.

Резюме. *Поиск и проработка научно-технической информации (изучение, запоминание и анализ) являются важнейшими задачами научного исследования. На основе их результатов определяются актуальность и новизна темы, ее цели и задачи.*

Вопросы и задания для самоконтроля

1. *Что такое наука и что она включает?*
2. *Какие методы познания Вы знаете?*
3. *Что такое метод анализа и синтеза?*
4. *Что такое дедукция и индукция при изучении объектов исследований?*
5. *Как классифицируются научные исследования и какие этапы они содержат?*
6. *Что такое тема научного исследования и как она выбирается?*
7. *Что такое научно-техническая информация и как осуществляется её поиск?*
8. *В чем заключается анализ научно-технической информации?*

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Математическое моделирование в научном исследовании

2.1.1. Основы и задачи математического моделирования

Математическая модель — искусственная система, отображающая основные свойства изучаемого объекта и изображающая в удобной форме многочисленную информацию о нем.

Математические методы все шире и глубже проникают в разнообразные сферы человеческой деятельности, позволяя пользоваться плодотворными средствами исследования. Поэтому отмечается рост математической культуры специалистов в различных областях науки и техники. Они без серьезных трудностей изучают **общие теоретические положения и методы вычислений**. Однако обладание лишь математическими познаниями на практике далеко недостаточно для решения той или иной прикладной задачи — необходимо еще получить навыки в переводе исходной формулировки задачи на математический язык, т.е. необходимо **научиться методам постановки математических задач**, возникающих в реальных практических ситуациях.

Задача математического моделирования заключается в описании так называемого **“реального мира”** языком математики, что позволяет получить более точное представление о его наиболее существенных свойствах и в некотором смысле предсказать будущие события. Это обстоятельство [32] как раз и отражает термин **“математическое моделирование”**.

На практике исходным пунктом, как правило, является некоторая **реальная ситуация**, выдвигающая перед исследователем задачу, на которую требуется найти ответ.

Процесс выделения (постановки) задачи, поддающейся математическому анализу, в большинстве случаев бывает про-

должительным и требует владения не только математическими знаниями, но и многими навыками в той области, реальная ситуация которой описывается математической моделью. На рис. 2.01. приведена схема разработки математической модели.

В результате анализа реальной ситуации осуществляется постановка задачи, поддающейся математическому описанию. Часто параллельно с постановкой задачи идет процесс выявления основных или существенных особенностей явления. В дальнейшем выявленные **существенные факторы переводятся на язык математических понятий и величин**, а также постулируются соотношения между этими величинами, в результате чего получается математическая модель.

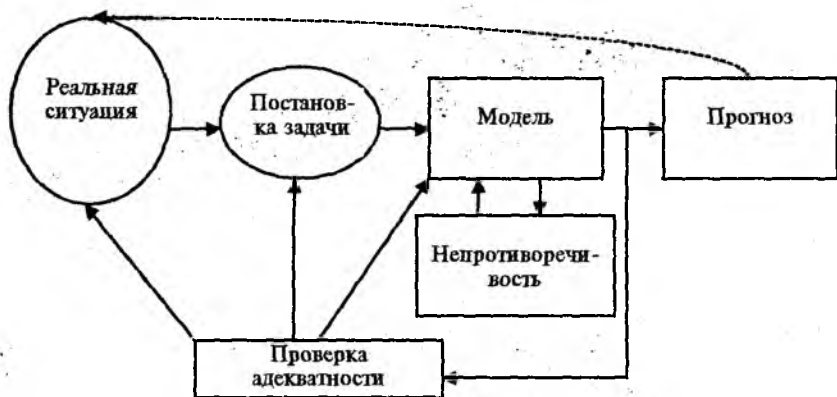


Рис. 2.01. Схема разработки математической модели

Как правило, это самая трудная стадия процесса моделирования, для выполнения которой невозможно дать никаких общих рекомендаций.

После разработки математической модели ее необходимо подвергнуть проверке. Здесь следует отметить, что проверка адекватности модели в какой-то мере осуществляется в ходе постановки задачи, так как уравнения или другие математические соотношения, сформулированные в модели, постоянно сопоставляются с исходной реальной ситуацией.

Существует несколько аспектов проверки адекватности модели. Во-первых, математическая основа модели должна быть **непротиворечивой и подчиняться всем законам математической логики**. Во-вторых, модель должна адекватно описывать исход-

ную реальную ситуацию. Однако заключение об адекватности предложенной модели при такой проверке в значительной мере субъективно. Модель можно заставить отражать действительность, однако она не есть сама действительность [32].

Реальные ситуации моделируют для различных целей. Главная из них — предсказывать новые результаты или новые свойства явления.

Часто эти предсказания относятся к условиям, которые, по всей вероятности, будут иметь место в будущем. Предсказания могут относиться также к событиям, непосредственное экспериментальное исследование которых неосуществимо (прогнозы в программах космических исследований). Другие модели строятся для того, чтобы сделать более удобным масштаб измерения. Например, линейная шкала для температуры является математической моделью, используемой в термометре.

Широко применяются математические модели технических объектов в системах автоматизированного проектирования (САПР). Эти модели можно выполнять на микро-, макро- и метауровнях, различающихся степенью детализации рассмотрения процессов в объекте.

Так, математической моделью технического объекта на микроуровне является система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая процессы в сплошной среде с заданными краевыми условиями.

Математической моделью технического объекта на макроуровне является система обыкновенных дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями.

На метауровне составляют математические модели для объектов, являющихся предметом исследования теории автоматического управления и теории массового обслуживания.

Важнейшим решением, которое принимается в начале процесса моделирования, является установление природы рассматриваемых математических переменных. По существу они делятся на два класса:

— *детерминированные переменные, поддающиеся точному измерению и управлению;*

— *стохастические переменные, не поддающиеся точному измерению и имеющие случайный характер.*

Процесс моделирования не заканчивается получением той или иной математической модели. Необходимо совершить обратный перевод с математического языка на язык формулирования исходной задачи. Следует осознавать не только математический смысл полученных решений, но и то, что они означают на языке реального мира.

Подавляющее число технических объектов относится к классу сложных систем, которые характеризуются большим числом взаимосвязанных параметров. Исследование таких систем заключается:

- в установлении зависимости между входными параметрами — факторами и выходными параметрами — показателями качества функционирования технического объекта;
- в определении уровней (значений) факторов, оптимизирующих выходные параметры технического объекта.

При разработке математических моделей сложных систем существуют два подхода: **детерминистический и стохастический**. При **детерминистическом** подходе модель разрабатывается на основе всестороннего исследования механизма явления и представляется обычно в виде системы дифференциальных уравнений. В этом случае для решения задачи оптимизации может быть использован математический аппарат современной теории управления. **Детерминистический** подход используется для (описания) изучения хорошо организованных систем, в которых можно выделить явления или процессы одной физической природы, зависящие от небольшого числа входных параметров. Данное обстоятельство ограничивает применение **детерминистического** подхода.

Для изучения и математического описания плохо организованных (диффузных) систем используется **стохастический** подход. В таких системах нельзя четко выделить отдельные явления и установить “непроницаемые перегородки”, разграничивающие действия переменных различной физической природы. Примером подобной плохо организованной системы является почти любой технологический процесс.

Для плохо организованных систем, характеризующихся неполным знанием механизма явлений, разработка математической модели и оптимизация решаются с помощью **экспериментально-статистических методов**. В этом случае модель технического объекта представляется в виде **кибернетической системы**

(некоторого “черного ящика”), для которой исследователь ищет связь между выходным параметром и множеством входных параметров (независимых переменных), почти ничего не зная о механизме явлений, протекающих в системе.

К математическим моделям предъявляются требования универсальности (полноты), адекватности, точности и экономичности.

Под универсальностью математической модели понимается полнота отображения ею свойств реального объекта. Большинство математических моделей предназначено для отображения физических или информационных процессов, протекающих в объекте. При этом не описываются такие свойства, как геометрическая форма составляющих элементов объекта.

Точность математической модели характеризуется степенью совпадения значений параметров реального объекта и их значений, рассчитанных с помощью данной (оцениваемой) модели. Относительная погрешность по 1-му параметру определяется по формуле

$$\xi_j = (y_{jm} - y_{juct}) / y_{juct} ; j = 1, 2, \dots, m, \quad (2.01)$$

где y_{jm} — значение j -го выходного параметра, рассчитанное с помощью математической модели; y_{juct} — истинное значение j -го выходного параметра.

Векторная оценка погрешности равна

$$\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m). \quad (2.02)$$

Под адекватностью математической модели понимается ее способность отображать заданные свойства объекта с погрешностью не выше допустимой, т.е.

$$\xi_m \leq \delta, \quad (2.03)$$

где $\delta > 0$ — заданная константа, равная предельно допустимой погрешности модели; ξ_m — скалярная оценка погрешности, $\xi_m = |\xi|$.

Экономичность математической модели характеризуется затратами вычислительных ресурсов на ее реализацию, т.е. затратами машинного времени T_m и памяти Π_m . Естественно, чем меньше эти затраты, тем экономичнее модель.

Требование высокой экономичности модели, с одной стороны, и требования высокой точности и степени универсальности, а также широкой области адекватности, с другой стороны, противоречивы. Компромиссное удовлетворение этих требований зависит от особенностей решаемых задач, иерархического уровня и аспекта проектирования.

2.1.2. Классификация математических моделей

Классификационными признаками математических моделей являются:

- *характер отображаемых свойств технического объекта;*
- *принадлежность к иерархическому уровню;*
- *степень детализации описания внутри одного уровня;*
- *способ представления свойств технического объекта;*
- *способ получения модели.*

По характеру отображаемых свойств объекта математические модели подразделяются на **функциональные и структурные**.

Функциональные модели отображают физические или информационные процессы, протекающие в техническом объекте при его функционировании или изготовлении. Эти модели представляют собой системы уравнений, связывающие фазовые переменные, внутренние, внешние и выходные параметры. Типичным примером функциональных моделей являются системы уравнений, описывающие либо электрические, тепловые, механические процессы, либо процессы преобразования информации.

Структурные модели отображают структурные свойства технического объекта, например, его геометрическую форму, взаимное расположение элементов в пространстве и т.п. Эти модели подразделяются на **топологические и геометрические**.

В **топологических математических моделях** отображаются состав и взаимосвязи элементов объекта. При помощи таких моделей решаются задачи компоновки оборудования, размещения деталей, трассировки соединений, разработки технологических процессов и т.д. Топологические математические модели представляются в виде графов, различных матриц, списков и т.п.

Геометрические математические модели отображают непосредственно геометрические свойства технического объекта и

применяются при решении задач конструирования, для оформления конструкторской документации, при задании исходных данных на разработку технологических процессов. Геометрические математические модели могут представляться в виде совокупности уравнений линий и поверхностей; алгебраических соотношений, описывающих области, составляющие тело объекта; графов; списков и т.п.

По принадлежности к иерархическому уровню математические модели могут относиться к **микро-, макро- и метауровням**, на которых изображаются различные свойства сложных технических объектов.

На микроуровне математические модели описывают физическое состояние и процессы в элементах объекта. В этих моделях (системах дифференциальных уравнений в частных производных) независимыми переменными являются пространственные координаты и время.

На макроуровне производится дискретизация пространств с выделением в качестве элементов отдельных деталей. При этом из числа независимых переменных исключают пространственные координаты. В соответствующих математических моделях (системы алгебраических или обыкновенных дифференциальных уравнений) векторы зависимых переменных образуют фазовые переменные, характеризующие состояние укрупненных элементов дискретизированного пространства. К фазовым переменным относятся электрические напряжения и токи, силы, скорости, температуры, расходы и т.д. Эти переменные характеризуют проявление внешних свойств элементов при их взаимодействии между собой и внешней средой.

На метауровне математические модели описывают фазовые переменные, относящиеся только к взаимным связям элементов, которые представляют собой достаточно сложные совокупности деталей. Здесь с помощью дальнейшего абстрагирования от характера физических процессов получают описание информационных процессов, протекающих в проектируемых объектах. На метауровне используются разнообразные математические модели: системы обыкновенных дифференциальных уравнений, системы логических моделей, имитационные модели систем массового обслуживания, топологические модели.

По степени детализации описания внутри каждого уровня математические модели подразделяются на **полные и макромоделли**. Первые описывают фазовые переменные, характеризующие со-

стояния всех межэлементных связей проектируемого объекта, а вторые — связей при укрупненном выделении элементов.

По способу представления свойств технического объекта математические модели могут иметь следующие основные формы.

Аналитическая форма — запись модели в виде выражений выходных параметров как функций входных и внутренних параметров. Эти модели отличаются высокой экономичностью, но при принятии существенных допущений и ограничений снижается их точность и сужается область адекватности.

Алгоритмическая форма — запись связи выходных параметров с входными и внутренними параметрами, а также выбранного численного метода решения осуществляется в форме алгоритма. Среди алгоритмических моделей важный класс составляют имитационные модели, предназначенные для имитации физических или информационных процессов в объекте при задании входных воздействий во времени. Примером такой модели служит модель динамического объекта в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Схемная или графическая форма — запись модели на некотором графическом языке, например, на языке диаграмм, графов, эквивалентных схем и т.п. Такая форма математических моделей наглядна и удобна для восприятия человеком. При этом должны быть единые правила истолковывания элементов моделей.

Для получения математических моделей вышеперечисленных форм используются **формальные и неформальные методы**. **Формальные методы** применяют для получения математических моделей систем при известных моделях их элементов. Что касается **неформальных методов**, то они используются на различных иерархических уровнях для получения математических моделей элементов. В основе этих методов лежит изучение закономерностей процессов и явлений, происходящих в моделируемом техническом объекте, выделение существенных факторов, принятие и обоснование различных допущений и т.п. От результата выполнения этих операций зависят степень универсальности, точность и экономичность математической модели.

Неформальные методы применяются для получения теоретических и эмпирических (экспериментальных) математических моделей. Первые создаются в результате исследования процессов и их закономерностей, присущих рассматриваемым объектам, вторые — в результате изучения внешних проявле-

ний свойств объекта путем измерения фазовых переменных на внешних входах и выходах и обработки результатов измерений.

2.1.3. Методика получения математических моделей

Математические модели составляются, как правило, специалистами конкретных технических областей с помощью различных средств экспериментальных исследований и средств САПР.

Причем многие операции моделирования носят **эвристический характер**. Однако имеется ряд положений и приемов, образующих общую методику получения математической модели.

1. Определение свойств технического объекта, подлежащих отражению в модели и устанавливающих степень универсальности будущей модели.

2. Сбор априорной информации о выбранных свойствах моделируемого технического объекта по различным источникам: научно-техническая, патентная и справочная литература, описание прототипов, результаты экспериментальных исследований и т.п.

3. Синтез структуры математической модели, т.е. получение общего вида уравнений модели без конкретных числовых значений входных и выходных параметров. Эта операция моделирования наиболее ответственная и с трудом поддается формализации.

4. Определение числовых значений параметров математической модели путем:

— использования специфических расчетных соотношений с учетом априорной информации, собранной на 2-ом этапе;

— решения экспериментальной задачи, в которой целевой функцией является степень совпадения известных значений выходных параметров объекта с результатами использования модели;

— проведения экспериментов и обработки их результатов.

5. Оценка точности полученной модели и определение области ее адекватности.

6. Представление математической модели в форме, принятой в используемой библиотеке моделей.

Необходимо отметить, что этапы 2...5 приведенной методики могут выполняться несколько раз по мере последовательного приближения к желаемому результату.

Резюме. В научных исследованиях широко применяются математические модели, которые являются искусственными системами, отображающими в удобной форме многоэлементную информацию о них. Задача моделирования заключается в описании так называемого "реального мира" языком математики. Процесс моделирования выполняется по определенной схеме. При этом математические модели должны отвечать требованиям универсальности (полноты), адекватности, точности и экономичности. Математические модели классифицируются по характеру отображаемых свойств технического объекта, принадлежности к иерархическому уровню, степени детализации описания внутри одного уровня, способу представления свойств технического объекта, способу получения модели.

2.2. Модели объектов исследований

2.2.1. Топологические математические модели

Топологические математические модели отображают состав и взаимосвязи элементов технического объекта посредством графов, различных матриц, списков и т.п. Такими моделями описываются компоновки технологического оборудования, схемы сборки, размещение деталей, трассировки соединений, структура технологических процессов и т.п. Математические модели в виде графов широко используются в САПР при решении задач синтеза в конструкторском и технологическом проектировании, при проектировании программного обеспечения, баз данных, при решении задач анализа на макроуровне.

Прежде чем перейти к применению графов в математическом моделировании структур компоновки рассмотрим основные определения и понятия из их теории.

Граф $\Gamma = \Gamma(X, W)$ — множество X вершин (узлов) и множество W связывающих их ребер (ветвей). Граф называют ориентированным (орграфом), если его ребра имеют определенное направление (рис. 2.02).

Подграф — часть графа (рис. 2.02,б), образованная некоторым подмножеством ребер и всеми инцидентными им вершинами.

Маршрут — последовательность смежных ребер, к которым относятся ребра, инцидентные одной и той же вершине. Маршрут может содержать повторяющиеся ребра и вершины.

Цепь — маршрут с различными ребрами.

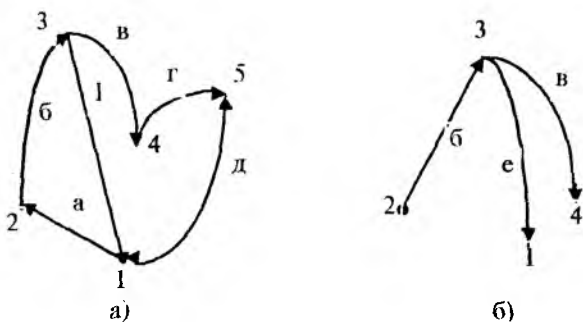


Рис. 2.02. Ориентированный граф (а), подграф (б): 1, 2, 3, 4, 5 — вершины; а, б, в, г, д, е — ребра (дуги)

Связанный граф — граф, любая пара вершин которого соединена цепью (рис. 2.02,а).

Дерево — связанный граф, не содержащий циклов.

Рассмотрим пример математической модели в виде графа (дерева), описывающей множество вариантов структуры компоновки станков из унифицированных узлов и деталей (агрегатных станков). Как показал анализ, множество вариантов данной структуры образуется **отношениями** между вариантами составляющих структур более низкого уровня — **технологической, кинематической и конструкционной**. При этом составляющие структуры и отношения между их вариантами необходимо рассматривать для двух разновидностей элементов формы детали [28], а именно, для элементарных поверхностей и их парных сочетаний. Такая дифференциация диктуется тем, что варианты структур для указанных элементов формы зависят от двух различных групп параметров деталей. Так, к первой группе относятся параметры, характеризующие обрабатываемую элементарную поверхность (геометрические параметры, параметры точности и качества), а ко второй группе — параметры, характеризующие взаимное расположение элементарных поверхностей и его точность. Кроме того, имеются различия в схеме образования вариантов составляющей технологическо-кинематической структуры.

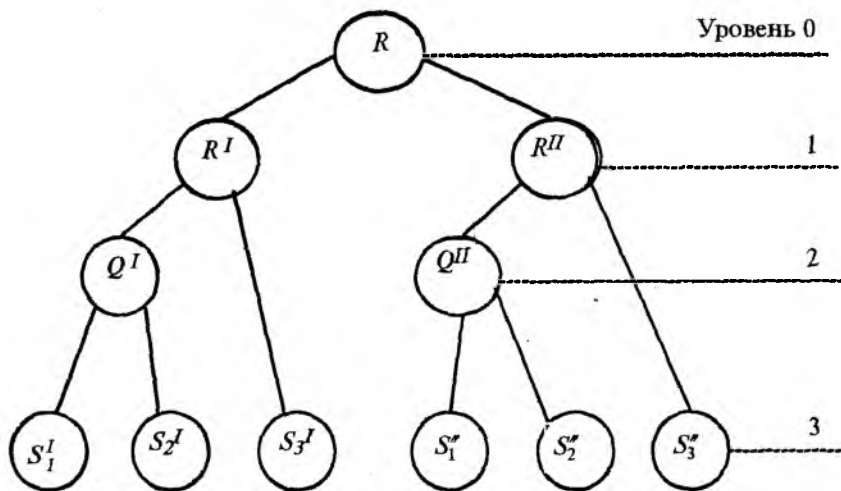


Рис. 2.03. Дерево множеств вариантов структуры компоновки:
 R^I и R^{II} – множества вариантов структуры компоновки соответственно для элементарных поверхностей и их парных сочетаний; Q^I и Q^{II} – множества вариантов технологическо-кинематических структур для указанных элементов формы детали; S_1^I, S_2^I, S_3^I и $S_1^{II}, S_2^{II}, S_3^{II}$ – множества вариантов технологической, кинематической и конструктивной структур для указанных элементов формы детали

При таком дифференцированном подходе схему формирования множества вариантов структуры компоновки можно представить в виде дерева, показанного на рис. 2.03. Здесь вершины обозначают множества вариантов составляющих структур, а ребра – отношения между ними. Данное дерево имеет три уровня составляющих структур. На третьем уровне находятся множества вариантов технологической, кинематической и конструктивной структур соответственно для элементарных поверхностей (S_1^I, S_2^I, S_3^I) и их парных сочетаний ($S_1^{II}, S_2^{II}, S_3^{II}$). Второй уровень образуют множества вариантов технологическо-кинематической структуры (ТКС) для указанных элементов формы, а именно, Q^I и Q^{II} . Рассмотрение данной промежуточной структуры диктуется необходимостью определения совместного влияния параметров технологической и кинематической структур на качественные и технико-экономические показатели агрегатных станков.

На первом уровне находятся множества вариантов структур компоновок для элементарных поверхностей (R^I) и их парных сочетаний (R^{II}). Эти структуры образуют множество R вариан

тов структуры компоновки для совокупности обрабатываемых элементов формы детали.

Рассмотренная топологическая математическая модель описывает состав структуры компоновки и взаимосвязь ее элементов, которые в свою очередь представляют собой достаточно сложные структуры. Так, технологическо-кинематическая структура является классом множеств значений параметров, принадлежащих технологической и кинематической структурам. Для элементарных поверхностей данная структура имеет следующий вид

$$Q^I = \{ \text{этап, группа, } K_y^I, K_n^I, \text{ подкласс, } K_s^I, K_v^I \}, \quad (2.04)$$

где:

этап — характеризует число потоков процесса обработки:

$\mathcal{E}1$ — однопоточный процесс; $\mathcal{E}2$ — многопоточный процесс;

группа — характеризует степень совмещения основного и вспомогательного времени: $I1$ — прерывная обработка с несовмещенным t_{yc} (время установки заготовки и съема детали); $I2$ — прерывная обработка с совмещенным t_{yc} ;

K_y^I — число установов детали; при одном установе $K_y^I = 1$, при нескольких — $K_y^I \geq 2$;

K_n^I — число позиций обработки: при одной позиции $K_n^I = 1$, при нескольких позиций $K_n^I \geq 2$;

подкласс — характеризует последовательность выполнения технологических переходов: подкласс A — последовательное, подкласс B — параллельное выполнение технологических переходов;

K_s^I и K_v^I — число групп подачи и главного движения.

Граф (дерево) множества вариантов указанной технологическо-кинематической структуры для двух технологических переходов приведен на рис. 2.04. Он образует множество

$$Q^I = \{ q_1^I, \dots, q_2^I, \dots, q_j^I, \dots, q_{64}^I \}. \quad (2.05)$$

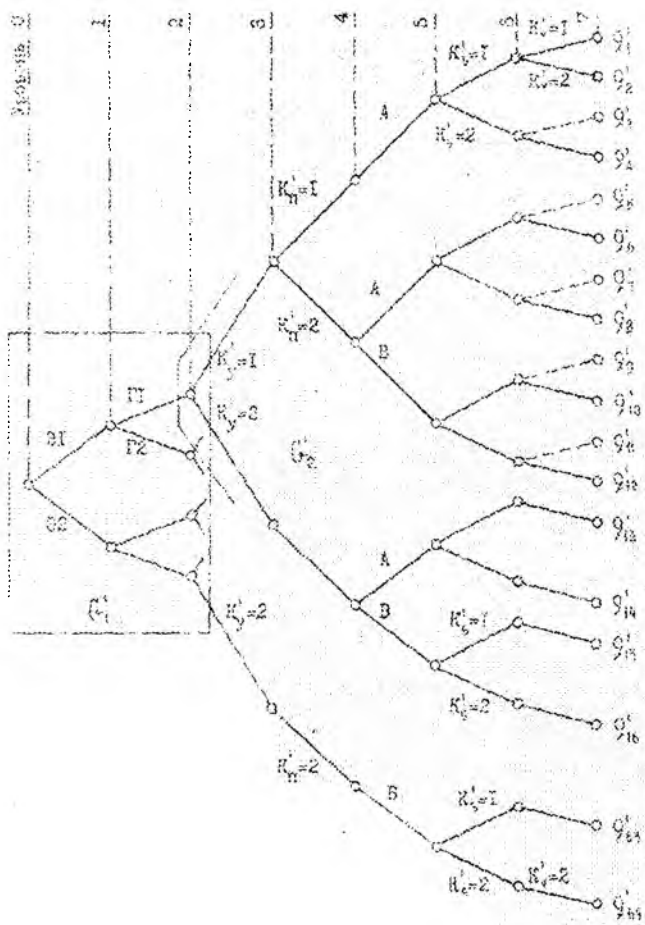


Рис. 2.34. Граф (дерево) множеств вариантов (элементов) структуры для элементов иерархии

2.2.2. Топологические модели в виде матриц

При автоматизации конструкторского и технологического проектирования широко применяются топологические модели в виде матриц инцидентности бинарных отношений, смежности, соответствий и др. Они используются для описания структурных свойств объектов, множественных связей между объектами, для формализации информационного обеспечения и т.д.

При моделировании часто используются двухместные или бинарные отношения R , которые на множестве X записываются как $x_i R x_j$. Такая запись означает, что x_i и x_j находятся в отношении R (в дальнейшем для краткости слово бинарные будем опускать). Например, на множестве N натуральных целых чисел могут быть отношения \leq , “иметь общий делитель, отличный от единицы”, “быть делителем” и т.д. Отношение \leq выполняется для пар $\langle 7,9 \rangle$ и $\langle 7,7 \rangle$, но не выполняется для пар $\langle 9,7 \rangle$ и $\langle 14,13 \rangle$. Отношение “быть делителем” выполняется для пар $\langle 2,4 \rangle$ и $\langle 3,3 \rangle$, но не выполняется для пар $\langle 4,2 \rangle$ и $\langle 7,9 \rangle$. Далее на множестве P людей могут быть отношения: “жить в одном городе”, “быть моложе”, “быть сыном”, “быть знакомым” и т.п.

Отношения на конечных множествах обычно задаются списком или матрицей инцидентности. Так, матрица инцидентности отношения на множестве $M = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ — это квадратная матрица C порядка m , в которой элемент C_{ij} , стоящей на пересечении i -ой строки и j -го столбца, определяется следующим образом

$$C_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i R a_j \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2.06)$$

Например, для конечного множества $N = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ матрица инцидентности отношения \leq приведена в таблице 2.01.

Таблица 2.01

Матрица инцидентности отношения \leq на множестве N

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	1	1
4	0	0	0	1	1	1
5	0	0	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	1

При разработке информационного обеспечения систем автоматизированного проектирования возникает необходимость в формализованном описании различной справочной информации: ГОСТов, нормалей, руководящих материалов, паспортных данных технологического оборудования и т.д. Для этой цели широко используются модели в виде различных матриц (таблиц): справочные таблицы, таблицы решений, соответствий и др.

Справочные таблицы применяются для описания характеристик множеств типовых решений (технологического оборудования, инструментов, оснастки и т.п.), а также разнообразной нормативно-правовой информации. На рис. 2.05 приведена структурная схема справочной таблицы и показан принцип работы с ней. В левой части таблицы записывается множество типовых решений $TP = \{TP_1, \dots, TP_i, \dots, TP_n\}$, а в верхней части — множество параметров применимости $\Pi = \{\Pi_1, \dots, \Pi_j, \dots, \Pi_m\}$. В центральной части таблицы проставляются значения параметров применимости X_{ij} , $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, m$, т.е. характеристики типовых решений.

Алгоритм чтения данной таблицы заключается в следующем: сначала осуществляется поиск требуемого типового решения (например, TP_i), а затем считываются его характеристики ($X_{i1}, \dots, X_{ij}, \dots, X_{im}$) с соответствующей строки.

Пример использования рассмотренной модели для описания основных характеристик зубошевинговальных станков представлен в таблице 2.02.

	Π_1	...	Π_j	...	Π_m
TP_1	X_{11}	...	X_{1j}	...	X_{1m}
...
TP_i	X_{i1}	...	X_{ij}	...	X_{im}
...
TP_n	X_{n1}	...	X_{nj}	...	X_{nm}

Рис. 2.05. Структурная схема справочной таблицы

Справочная таблица характеристик зубошевально-валевых станков

Модель ставка	Размеры деталей, мм				Параметры зубчатого венца			
	Диаметр		Длина		Модуль, мм		Угол наклона зуба, °	
	D min	D max	L min	L max	m min	m max	β min	β max
5A702Г	60	320	0	110	1,5	6	0	35
5703В	125	500	0	80	1,75	8	0	17
5717С	300	800	0	200	2,0	8	0	35

	Π_1			...	Π_j			...	Π_m			X_m^s		
	X_1^j	...	X_1^k		X_j^j	...	X_j^k		X_j^l	...	X_m^j		...	X_m^k
TP_1	e_{11}^1													e_{1m}^s
...														
TP_i						e_{ij}^k								
...														
TP_n	e_{n1}^l			e_{n1}^s										e_{nm}^s

Рис. 2.06. Структурная схема таблицы соответствий

Таблица соответствий для выбора зубошестерняльного ступка

Таблица 2.03

ТР	D, мм					ш, мм					L, мм					C ⁰	
	60	125	300	320	500	800	1,5	1,75	2	6	8	80	110	200	17		
1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	
2	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	
3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	

Справочные таблицы не позволяют решать обратную задачу — поиск возможных технических решений по значениям параметров применимости. Эту задачу можно решать при использовании моделей в виде таблиц соответствий. Структура таблицы соответствий приведена на рис. 2.06. В ее левом столбце, как и в справочной таблице, записывается множество типовых решений $TP = \{TP_1, \dots, TP_i, \dots, TP_n\}$. Что касается верхней части таблицы, то в ней наряду с множеством параметров применимости $\Pi = \{\Pi_1, \dots, \Pi_j, \dots, \Pi_m\}$ записываются их характеристические значения $X_j^k, j=1, \dots, m; k=1, \dots, s$. Центральную часть таблицы соответствий составляет массив логических переменных $e_{ij}^k, i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; k=1, \dots, s$, которые определяются следующим образом

$$e_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } X_j^k \in \Pi_i, i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; k=1, \dots, s \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2.07)$$

Эти логические переменные характеризуют связи между техническими решениями и значениями параметров применимости. Согласно (2.07) наличие связи обозначают единицей, отсутствие — нулем.

В качестве примера в таблице 2.03 представлена таблица соответствий для выбора зубошевинговального станка.

2.2.3. Имитационные математические модели динамических систем

Имитационные математические модели составляют важный класс алгоритмических математических моделей, выражающих связи входных параметров с параметрами внутренними и внешними в форме алгоритма.

Данный класс моделей предназначен для имитации физических или информационных процессов в объекте при задании различных входных воздействий во времени, т.е. они отражают поведение исследуемого объекта во времени. Примерами имитационных математических моделей являются модели динамических систем, электрических и электронных схем в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений, а также модели систем массового обслуживания, предназначенные для имитации процессов прохождения заявок через систему.

Имитационные математические модели широко используются на различных этапах жизненного цикла сложных объектов, а именно, при их проектировании, изготовлении и эксплуатации. При проектировании они применяются для параметрического и структурного синтеза, проведения многовариантного анализа; при изготовлении — для обеспечения оптимальных количественных и качественных показателей объекта; при эксплуатации — сначала для поиска “узких” мест при вводе в действие, а затем для поддержания обеспеченных количественных и качественных показателей.

В САПР имитационные математические модели могут использоваться в составе функциональных подсистем САПР, а также для получения оценок показателей ее функционирования.

Как известно, среди процессов, свободно протекающих в природе, а также используемых в технике, колебания занимают доминирующее место. В одних случаях колебания вредны и от них нужно избавляться или, по возможности, предотвращать их вредные действия; в других случаях они приносят пользу и колебания нужно применять целенаправленно и эффективно.

В технике и деятельности человека колебания приносят следующий вред:

- *создают прямую угрозу прочности ответственных конструкций*: валопроводам, турбинным лопаткам и воздушным винтам, мостам, перекрытиям промышленных зданий и т.д.;
- *нарушают условия эксплуатации технических объектов* и приводят к ухудшению их технико-экономических показателей (например, колебания в металлорежущих станках приводят к снижению производительности, точности и качества обработки);
- *оказывают вредное физиологическое действие* на лиц, организм которых подвергается длительным вибрациям, например, при работе с ручным инструментом вибрационного типа. Для устранения перечисленных вредных действий необходимо решать задачи предвидения и количественной оценки колебаний как при создании, так и при эксплуатации технических объектов, представляющих собой динамические системы.

Польза от искусственно возбуждаемых колебаний заключается в их применении в различных процессах, в том числе и технологических, для улучшения технико-экономических показателей. Такими примерами являются **вибрационная объемная обработка, вибрационное резание, вибротранспортировка сыпу-**

чих материалов и штучных заготовок и т.д. При полезном использовании колебаний необходимо также решать задачи их количественной оценки с целью выбора режима, обеспечивающего оптимальные выходные параметры процесса.

Различают следующие основные виды колебаний:

- *свободные колебания*, происходящие под действием только восстанавливающей силы около состояния равновесия (например, колебания маятника после нарушения состояния равновесия);

- *затухающие колебания*, происходящие под действием восстанавливающей силы и силы сопротивления движению (например, колебания динамической системы привода главного движения станка в процессе останова);

- *вынужденные колебания*, происходящие под действием восстанавливающей силы, силы сопротивления и силы периодического характера, называемой возмущающей или вынуждающей силой, (например, колебания динамической системы привода главного движения фрезерного станка в процессе обработки);

- *параметрические колебания*, возникающие в динамических системах, параметры которых (жесткость или масса) заданным образом периодически изменяются во времени (например, колебания маятника, ось подвеса которого совершает заданные колебания в вертикальном направлении);

- *автоколебания*, представляющие незатухающие стационарные колебания, поддерживаемые за счет энергии, подводимой к динамической системе от источников неколебательного характера (например, автоколебания могут иметь место при определенных условиях в металлорежущих станках в процессе обработки).

Перечисленные виды колебаний при определенных условиях имеют место, например, практически во всех группах и типах металлорежущих станков и оказывают, как правило, вредное воздействие на результаты их работы. Поэтому возникает необходимость в динамическом расчете станка для определения показателей динамического качества, влияющих на производительность и точность обработки. Основными показателями динамического качества станка являются [24]: **запас устойчивости, реакция системы на внешние воздействия и быстродействия**, определяющие продолжительность переходного процесса в системе.

Запас устойчивости характеризует возможности изменения того или иного параметра системы (жесткости, массы, линейного размера, скорости движения и др.) в отдельности или в совокупности без потери ею устойчивости. Что касается *реакции системы на внешние воздействия*, то она может характеризоваться сигналами в виде относительных смещений или отклонений скорости движения инструмента и заготовки (при оценке точности обработки), напряжений в нагруженных деталях или контактных напряжений (при оценке надежности и долговечности системы), параметров колебаний (при оценке виброустойчивости системы), температуры нагрева и температурных деформаций и др.

Реальная динамическая система металлорежущего станка представляет собой сложную замкнутую многоконтурную систему [29], которая включает упругую систему (станок — приспособление — инструмент — деталь), рабочие процессы в ее подвижных соединениях (резание, трение, процессы в двигателях) и воздействия внешней среды (температурные, колебательные и др.). Данная колебательная система с распределенными инерционными, упругими и вязкими диссипативными параметрами имеет бесконечное число степеней свободы и, соответственно, *бесконечное число собственных частот колебаний*. Естественно, точный расчет такой системы практически невозможен.

При определении показателей динамического качества реальную упругую систему станка заменяют **расчетной схемой** в виде системы с **конечным числом степеней свободы**, включающей некоторое количество сосредоточенных масс, соединенных невесомыми упругими и диссипативными (рассеивающими энергию колебаний) элементами. При этом предполагают, что указанные элементы имеют линейные характеристики. Такая замена реальной упругой системы станка основана на том, что большинство корпусных и других деталей имеют большую массу и жесткость, а деформации происходят в основном в стыках. Если же в системе имеются детали с распределенными параметрами, то их заменяют моделями в виде упругих элементов (стержней, пластин) с сосредоточенными инерционными параметрами.

Замена реальных упругих систем технических объектов, в том числе и металлорежущих станков, неизбежно дает погрешности при определении показателей динамического качества.

Поэтому, чтобы повысить точность расчетов и обеспечить возможность их реализации, необходимо стремиться к рациональному ограничению количества степеней свободы исследуемых технических объектов.

Поведение приведенных динамических систем, как известно, описывается математической моделью в виде системы линейных однородных дифференциальных уравнений. В общем виде дифференциальные уравнения движения динамической системы могут быть получены в форме уравнений Лагранжа, которые при консервативных силах имеют вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, 3), \quad (2.08)$$

где T и Π — кинетическая и потенциальная энергия;
 q_i и \dot{q}_i — обобщенные координаты и скорости;
 s — число степеней свободы (обобщенных координат);
 Q_i — обобщенные вынуждающие силы.

При малых движениях системы со стационарными связями около положения равновесия кинетическая и потенциальная энергии равны

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^S a_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j, \quad \Pi = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^S c_{ij} q_i q_j. \quad (2.09)$$

Подставив значения T и Π в систему (2.08), получим следующую систему дифференциальных уравнений¹.

$$\sum_{j=1}^S (a_{ij} \ddot{q}_j + c_{ij} q_j) = Q_i, \quad (i = 1, 2, \dots, S), \quad (2.10)$$

где $a_{ij} = a_{ji}$ — инерциальные коэффициенты; $c_{ij} = c_{ji}$ — обобщенные коэффициенты (параметры) жесткости.

Пользуясь системой дифференциальных уравнений (2.08), можно определить математическую модель привода с конечным числом степеней свободы.

¹ Данная система дифференциальных уравнений не учитывает диссипацию (рассеяние) энергии.

Разработка расчетной схемы и ее описание системой однородных дифференциальных уравнений — это первый этап исследования и анализа динамической системы технического объекта. Второй этап заключается в решении полученной математической модели с использованием вычислительных машин.

В электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ) осуществляется последовательная обработка информации дискретного типа в соответствии с созданной программой. Результаты решения представляются также в виде дискретной последовательности чисел.

2.2.4. Имитационные математические модели систем массового обслуживания

Теория массового обслуживания как раздел теории вероятностей возникла в связи с развитием телефонных сетей. Поэтому в этой теории широко используется терминология из телефонии: требования, вызовы, заявки, каналы связи, длительность разговора и т.п. Однако в настоящее время методы и результаты теории массового обслуживания с успехом используются при анализе функционирования сложных систем, разработке автоматизированных систем управления объектами в различных областях (транспорт, производство, системы связи, медицинское обслуживание, системы снабжения и т.д.), решении проблем теории надежности.

Теория массового обслуживания решает широкую область практических задач, связанных с исследованием любых операций, состоящих из многих однородных элементарных операций (заявок), на осуществление которых влияют случайные факторы.

Рассмотрим примеры некоторых практических задач.

1. Как операцию массового обслуживания можно рассматривать работу ЭВМ, управляющую сложным техническим объектом (технологическим процессом, самолетом, доменной печью и т.п.). В данном случае обработка сигналов, поступающих от датчиков, связанных с техническим объектом, является однородными элементарными операциями. Требуется решить задачу: способна ли ЭВМ с заданным объемом памяти и быстродействием справиться с обработкой всех поступающих сигналов?

2. Операцией массового обслуживания является сборка различных видов изделий в сборочном цехе. Здесь элементарной операцией является сборка одного изделия из готового комплекта деталей. При отсутствии хотя бы одного вида деталей производство (сборка изделий) останавливается, а избыточные детали поступают в бункера определенной вместимости. На процесс поступления деталей и на время сборки изделия влияют случайные факторы. В данном случае требуется решить задачи: какова вероятность простоя производственной линии, чему равна вероятность переполнения бункеров?

3. Операцией массового обслуживания можно считать работу морского порта по разгрузке и загрузке судов, которые прибывают к погрузочно-разгрузочным площадкам порта не строго по графику. В данном случае к элементарной операции относится процесс разгрузки и погрузки одного судна. Требуется решить: чему равно среднее время от момента прибытия судна в порт до окончания его разгрузки и погрузки?

Математические модели теории массового обслуживания обладают достаточной степенью абстрактности. Поэтому совершенно неважна природа обслуживаемых объектов, а также их физические свойства. Такими объектами могут быть посетители магазина, обрабатываемые детали на автоматической линии, космические частицы, регистрируемые счетчиком Гейгера-Мюллера и т.п. В данном случае существенными являются лишь моменты появления указанных объектов, так как от этих моментов зависит эволюция рассматриваемой модели во времени. Таким образом, первой характерной особенностью систем массового обслуживания является наличие некоторого потока (протяженного во времени) однородных абстрактных объектов (заявок, событий, требований).

Процесс обслуживания системы рассматривается в широком смысле этого термина, а именно: обслужить объект (заявку, требование) означает, что нужно затратить некоторое количество работы, произвести некоторое количество операций, затратить некоторое время на переработку, видоизменение, обслуживание данного объекта. В описании процесса обслуживания должно входить также описание правил и порядка, в соответствии с которыми происходит обслуживание. Наличие определенных правил и некоторого порядка (дисциплины обслуживания) является второй характерной особенностью систем массового обслуживания.

Таким образом, чтобы получить математическую модель системы массового обслуживания необходимо описать:

- *свойства входящего потока однородных событий;*
- *структуру исследуемой системы;*
- *дисциплину и характеристики обслуживания.*

Кроме того, нужно еще указать характеристики (критерии), которые необходимо определить.

Процесс функционирования систем массового обслуживания носит случайный характер, так как моменты поступления требований и длительность их обслуживания являются случайными величинами. Поэтому исследуемые характеристики носят также вероятностный характер. В этой связи методы исследования систем массового обслуживания сводятся к построению некоторого случайного процесса, описывающего эволюцию системы, и исследованию данного процесса.

Работа любой системы массового обслуживания заключается в выполнении поступающего в нее случайного потока требований или заявок. Обслуживание поступившей заявки продолжается какое-то время (случайная величина), после чего обслуживающий канал освобождается и снова готов для приема следующей заявки. Поэтому задачей теории массового обслуживания является установление зависимости между характером потока заявок, производительностью отдельного канала, числом каналов и эффективностью (успешностью) обслуживания.

Эффективность обслуживания (в зависимости от условий задачи и целей исследования) может характеризоваться различными величинами и функциями:

- *средним процентом заявок, получивших отказ и покидающих систему необслуженными;*
- *средним временем простоя отдельных каналов и системы в целом;*
- *средним временем ожидания в очереди;*
- *вероятностью того, что поступившая заявка немедленно будет принята к обслуживанию;*
- *законом распределения длины очереди и т.д.*

Каждая из указанных характеристик в той или иной мере описывает пропускную способность системы, т.е. степень ее приспособленности к выполнению потока заявок.

Различают абсолютную и относительную пропускную способность. Под абсолютной пропускной способностью понима-

ют среднее число заявок, которое система может обслужить в единицу времени. Относительная пропускная способность — среднее отношение числа обслуженных заявок к числу поданных. Та и другая пропускная способность зависит не только от параметров системы, но и от характера потока заявок. В связи с тем, что моменты поступления заявок и длительность их обслуживания случайны, работа системы протекает нерегулярно, а именно, в потоке заявок образуются местные сгущения и разрежения. При сгущении (увеличении) числа заявок могут произойти отказы в обслуживании или образоваться очереди, а при разрежении (уменьшении) числа заявок — непроизводительные простои отдельных каналов и системы в целом.

Любая система массового обслуживания представляет собой физическую систему дискретного типа со счетным множеством состояний. Протекающий в ней случайный процесс состоит в том, что в случайный момент времени, когда осуществляется какое-либо событие (приход новой заявки, освобождение канала и т.п.), система переходит скачком из одного состояния в другое.

Рассмотрим такую систему X со счетным множеством состояний

$$X_1, X_2, \dots, X_n, \dots \quad (2.11)$$

В любой момент времени t система X может быть в одном из указанных состояний. Очевидно, для любого t

$$\sum P_K(t) = 1 \quad (k = 1, 2, \dots, n, \dots), \quad (2.12)$$

где $P_k(t)$ — вероятность того, что в момент t система будет находиться в состоянии X_k .

Случайные процессы в системах со счетным множеством состояний бывают двух типов: с дискретным или непрерывным временем, в которых переход из одного состояния в другое может происходить соответственно только в строго определенные моменты времени $t_1, t_2 \dots$ или в любой момент времени.

Примером [4] дискретной системы X , в которой протекает случайный процесс с непрерывным временем, является налет группы из n самолетов на территорию противника, обороняемую истребительной авиацией. В данном случае моменты обнаружения группы и моменты подъема истребителей заранее неизвестны и являются случайными величинами. Различные

состояния системы соответствуют различному числу пораженных самолетов в составе группы:

- не поражено ни одного самолета,
- поражен один самолет,
-
- поражено k самолетов,
-
- поражены все n самолетов.

Схема возможных состояний данной системы и возможных переходов из одного состояния в другое представлена на рис. 2.07.

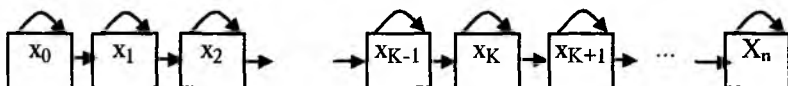


Рис. 2.07. Схема возможных состояний дискретной системы X

Здесь стрелками показаны возможные переходы системы из состояния в состояние. Закругленная стрелка, направленная из состояния " k " в него же, означает, что система может остаться в прежнем состоянии " k ". Для этой системы характерны необратимые переходы, так как пораженные самолеты не восстанавливаются.

В системах массового обслуживания случайные процессы, как правило, относятся к процессам с непрерывным временем, что объясняется случайностью потока заявок. Для этих систем характерны обратимые переходы, так как занятый канал может освободиться, а очередь может "рассосаться".

В качестве примера на рис.2.08 показана схема возможных переходов n - канальной системы массового обслуживания (например автоматической телефонной станции). Здесь состояние x_0 - все каналы свободны; x_1 - занят один канал; x_2 - занято два канала и т.д.

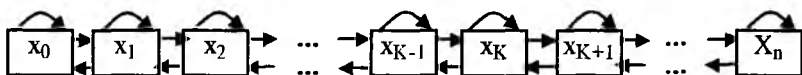


Рис. 2.08. Схема возможных переходов n -канальной системы массового обслуживания

Чтобы описать случайный процесс, протекающий в дискретной системе с непрерывным временем, прежде всего необходимо проанализировать причины, вызывающие переход системы из состояния в состояние. Для систем массового обслуживания такими причинами является поток заявок. Поэтому математическое описание любой системы начинается с описания потока заявок (событий).

Поток событий и его свойства. В теории вероятностей поток событий — это последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то моменты времени. Поток однородных событий, рассматриваемый в системах массового обслуживания, различается только моментами их появления.

Поток событий может быть **регулярным, стационарным, потоком без последствия и ординарным.**

Поток событий называется *регулярным*, если события следуют одно за другим через строго определенные промежутки времени. В реальных системах подобный поток встречается крайне редко.

Поток событий называется *стационарным*, если вероятность попадания того или иного числа событий на участок времени длиной τ зависит только от длины участка, где бы он не располагался на оси времени t . Условию стационарности отвечает поток заявок, для которого вероятностные характеристики не зависят от времени. Стационарный поток имеет постоянную плотность. На практике часто встречаются потоки заявок, которые могут рассматриваться как стационарные только на ограниченном отрезке времени. Например, поток вызовов на телефонной станции с 11 до 12 часов может быть стационарным.

Поток событий называется *потоком без последствия*, если для любых неперекрывающихся участков времени число событий, попадающих на один из них, не зависит от числа событий, попадающих на другие. Условие отсутствия последствия означает, что заявки поступают в систему независимо друг от друга. Этому условию отвечает, например, поток пассажиров, входящих на станцию метро. В данном случае причины прихода отдельного пассажира именно в тот, а не другой момент, как правило, не связаны с аналогичными причинами для других пассажиров. В то же время поток пассажиров, покидающих станцию метро, нельзя считать потоком без последствия, так как моменты выхода пассажиров, прибывших одним и тем же

поездом, зависимы между собой. Следует отметить, что выходной поток (или поток обслуженных заявок), покидающий систему массового обслуживания, как правило, имеет последствие. Данное последствие необходимо учитывать, если выходной поток является, в свою очередь, входным для какой-либо другой системы массового обслуживания. Это имеет место тогда, когда одна и та же заявка последовательно переходит из системы в систему.

Поток событий называется *ординарным*, если вероятность попадания на элементарный участок Δt двух и более событий пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одного события. Условие ординарности означает, что заявки в системе массового обслуживания проходят поодиночке, а не парами, тройками и т.д. Например, поток клиентов в парикмахерскую практически может считаться ординарным, чего нельзя сказать о потоке клиентов в ЗАГС для регистрации брака.

Если поток событий отвечает всем трем условиям (стационарности, отсутствия последствия и ординарности), то он называется *простейшим (или стационарным пуассоновским) потоком*. Для данного потока число событий, попадающих на любой фиксированный интервал времени, распределяется по закону Пуассона.

Простейший поток событий играет важную роль в теории массового обслуживания. Это объясняется тем, что, во-первых, простейшие и близкие к ним потоки часто встречаются на практике, а во-вторых, даже при потоке событий, отличающемся от простейшего, его можно заменить простейшим потоком с той же плотностью и получить при этом удовлетворительные по точности результаты.

Основной характеристикой потока событий является закон распределения длины промежутка времени между соседними событиями. Простейшему потоку соответствует показательный закон распределения с плотностью, определяемой по формуле

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (t > 0), \quad (2.13)$$

где λ — параметр. График плотности $f(t)$ показан на рис.2.09.

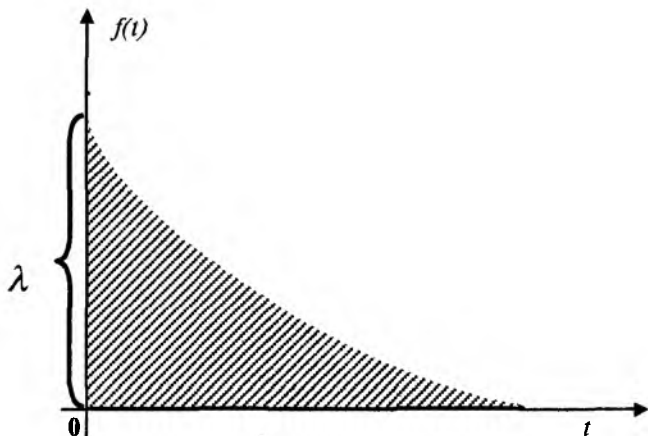


Рис. 2.09. График плотности $f(t)$ показательного закона распределения

Математическое ожидание величины T , распределенной по показательному закону, равно

$$m_t = M[T] = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} . \quad (2.14)$$

Дисперсия величины T равна

$$D_t = D[T] = \int_0^{\infty} \lambda t^2 e^{-\lambda t} dt - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2} . \quad (2.15)$$

Показательный закон распределения обладает интересным свойством, а именно [6]: если промежуток времени, распределенный по показательному закону, уже длился некоторое время τ , то это никак не влияет на закон распределения оставшейся части промежутка: он будет таким же, как и закон распределения всего промежутка T . Это свойство показательного закона, в сущности, является другой формулировкой для “отсутствия последействия”.

В системах массового обслуживания, наряду с широко распространенным простейшим потоком, может быть нестационарный пуассоновский поток и поток с ограниченным последействием. Подробно эти потоки рассматриваются в работе [6].

Время обслуживания. Режим работы системы массового обслуживания, кроме характеристик входного потока заявок, зависит еще от характеристик производительности самой системы: числа каналов n и быстродействия каждого канала. Важнейшей величиной, связанной с системой, является время обслуживания одной заявки $T_{об}$. Оно может быть как неслучайным, так и случайным.

Необходимо отметить, что при случайном времени обслуживания заявки, оно распределяется по показательному закону или близкому к нему. Такое распределение позволяет сильно упростить математический аппарат, применяемый для решения задач массового обслуживания. Кроме того, допущение о пуассоновском характере потока заявок и показательном законе распределения времени обслуживания позволяет применить в теории массового обслуживания аппарат марковских случайных процессов [4,31].

Характеристики производительности систем массового обслуживания. Существует два основных типа систем массового обслуживания:

- системы с отказами;
- системы с ожиданием.

В системах с отказами при поступлении заявки в момент, когда все каналы обслуживания заняты, она немедленно получает отказ, покидает систему и в дальнейшем процессе обслуживания более не участвует.

В системах с ожиданием, когда заявка застает все каналы обслуживания занятыми, она не покидает систему, а становится в очередь и ожидает освобождения какого-либо канала. Если время ожидания заявки в очереди ничем не ограничено, то такая система называется чистой системой с ожиданием. При ограничении данного времени какими-либо условиями система называется системой смешанного типа. Ограничения могут накладываться на время ожидания заявки в очереди, число заявок в очереди.

Рассмотрим систему с отказами. Для n -канальной системы, схема возможных переходов которой показана на рис. 2.08, при простейшем (стационарном пуассоновском) потоке заявок и показательном законе распределения времени обслуживания относительная пропускная способность равна [4] $q(t) = 1 - P_{отк}$,

где $P_{отк}$ — вероятность отказа в обслуживании, т.е. вероятность того, что заявка, пришедшая в момент t , застанет все каналы занятыми.

Примером системы с отказами является n -канальная станция наведения истребителей на цели, когда число целей $m > n$. Например, при $n=3$, среднем времени наведения истребителя на цель $m/n=2$ мин и простейшем потоке целей с плотностью $\lambda = 1,5$ (самолетов в минуту) станцию наведения можно считать системой с отказами. По данным работы [4] для рассматриваемого примера $P_{отк} = 0,346$.

Для системы с ожиданием смешанного типа относительная пропускная способность определяется по формуле [4]

$$q(t) = 1 - P_H, \quad (2.16)$$

где P_H — вероятность того, что заявка покинет систему (из очереди) необслуженной.

Резюме. Для описания изучаемых технических объектов применяются разнообразные математические модели:

- топологические модели в виде графов, различных матриц, списков и т.д.;
- имитационные модели динамических систем, электрических и электронных схем в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений;
- имитационные модели систем массового обслуживания, предназначенные для имитации процессов прохождения заявок через систему.

2.2.5. Модели систем

Структура — взаиморасположение и связь составных частей чего-либо, например системы.

Любая система характеризуется целостностью и обособленностью, которые выступают как внешние свойства. Внутренность же систем является неоднородной и имеет различные составные части. Неделимые части системы называются **элементами**, а части, состоящие более чем из одного элемента — **подсистемами**. В иерархическом плане различаются подсистемы различных уровней.

Подсистемы и элементы, из которых состоит система, описываются моделью состава системы. Пример такой модели представлен на рис. 2.10.

Данная система состоит из трех элементов и двух подсистем 1^1 и 2^1 первого уровня. В свою очередь подсистема 1^1 состоит из трех элементов и подсистемы 1^{11} второго уровня с двумя элементами, а подсистема 2^1 — из четырех элементов.

Модель состава системы определяет из каких частей (подсистем и элементов) состоит система.

Построение модели состава системы является вообще сложной задачей. Например, различные эксперты на одну и ту же систему могут построить несколько моделей состава, отличающихся друг от друга, причем иногда существенно. Даже один и тот же эксперт при различных условиях может построить различные модели состава. Данный факт объясняется следующим.

Во-первых, понятие элементарности можно определять по-разному в зависимости от точки зрения. С одной точки зрения та или иная часть системы является элементом, а с другой — подсистемой.

Во-вторых, модель состава системы является целевой. Поэтому одна и та же система для различных целей будет разбиваться по-разному. Например [22], завод с точки зрения директора, бухгалтера, начальника пожарной охраны (налицо разные цели) состоит из совершенно различных частей: подсистем и элементов.

В-третьих, всякое деление системы на части является относительным, в определенной степени условным.

Модель состава системы достаточна лишь для достижения ряда практических целей. При решении многих других задач необходимо знать еще связи между частями — отношения. Совокупность *необходимых и достаточных* для достижения цели отношений между частями называется **структурой системы**. Перечень отношений между элементами является отвлеченной, абстрактной моделью. Она устанавливает только отношения между элементами, но не описывает сами элементы.

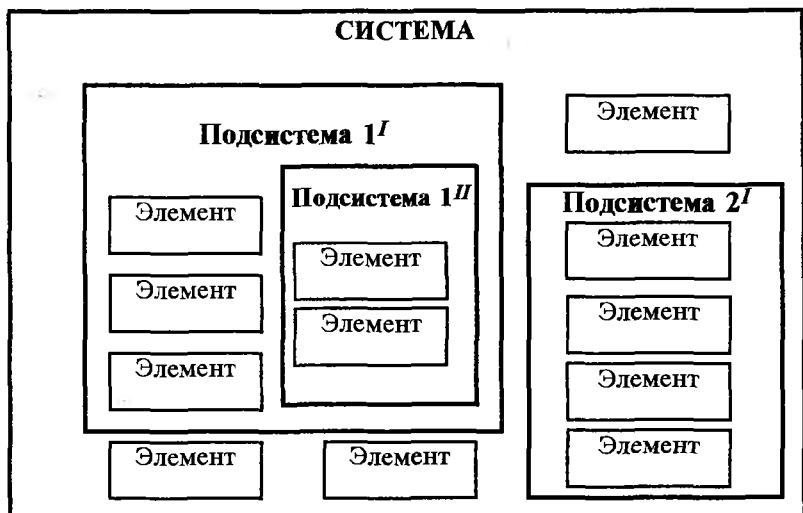


Рис. 2.10. Модель состава системы.

Модель структуры системы отображает отношения (связи) между частями модели ее состава.

Вместе модель состава и модель структуры системы образуют еще одну модель — **структурную схему системы**. В ней указываются все части системы, все связи между частями внутри системы и связи определенных частей с окружающей средой, т. е. входы и выходы системы.

На рис. 2.11 показана **структурная схема** системы “синхронизирующие часы”. В **состав системы** входят три элемента: датчик времени, индикатор и эталон времени. **Структура системы** определяется отношениями 1,2 и 3 внутри системы (датчик — индикатор, эталон — датчик, эталон — индикатор), входами 4 (поступление энергии извне) и 5 (регулировка индикатора), а также выходом 6 (показание часов).



Рис. 2. 11. Структурная схема системы “синхронизирующие часы”:
1, 2 и 3 – отношения (связи) внутри системы ; 4 и 5 – входы ; 6 – выход

Структурная схема системы – это ее состав и совокупность отношений (связей) внутри системы и с окружающей средой.

Для математических исследований структурных схем систем широко используются **графы**, в которых обозначается наличие частей системы и связей между ними, а также разница между частями и связями. **Вершины** графа обозначают части произвольной природы, а **ребра** – связи между ними. Вершины обозначают в виде кружков, а ребра – в виде линий (рис. 2.12). Если вершина соединена сама с собой, то ребро называют **петлей**.

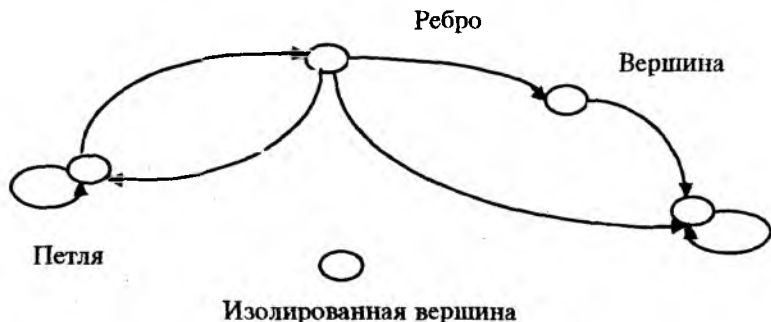


Рис. 2.12. Пример графа

Граф называется **неориентированным**, если направления связей не обозначаются, и **ориентированным** при наличии стрелок, указывающих направление связей. Примеры графов, соответствующих различным структурам, приведены на рис. 2.13.

Линейные, древовидные (иерархические) и матричные структуры (рис. 2.13, а, б, в) чаще всего встречаются в организационных системах, а **сетевые структуры** (рис. 2.13, г) — в технических системах. Особое место в теории систем [22] занимают **структуры с обратными связями**, которые соответствуют кольцевым путям в ориентированных графах. Изображение структурных схем посредством графов позволяет использовать теорию графов для математических исследований систем.

Резюме. *Структурная схема системы является наиболее подробной и полной ее моделью. Она объединяет модель состава и модель структуры системы.*

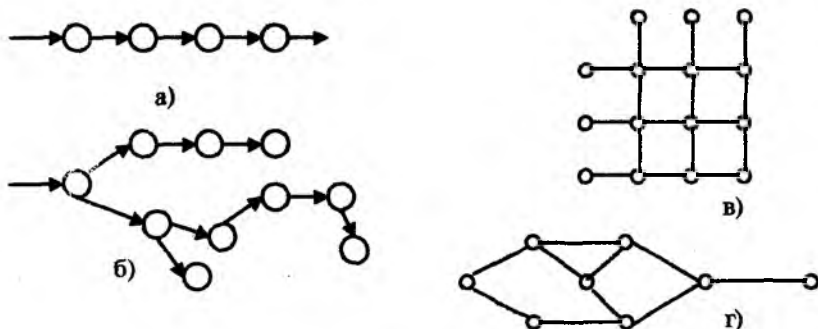


Рис. 2.13. Графы различных структур: а) линейная структура; б) древовидная структура; в) матричная структура; г) сетевая структура

2.3. Методология исследования систем

2.3.1. Анализ и синтез в системных исследованиях

Для исследования систем широко применяются аналитический и синтетический методы познания: **анализ и синтез**. Суть метода **анализа** заключается в мысленном или фактическом расчленении объекта исследования на составные части. В данном случае изучается сущность отдельных элементов объекта, их связи и взаимодействия. В отличие от анализа, **метод синте-**

за заключается в познании объекта, исследования как единого целого, в единстве взаимной связи его частей.

Методы анализа и синтеза взаимосвязаны и дополняют друг друга.

При анализе в результате расчленения системы часто теряются не только ее свойства (разобранный автомобиль не поедет), но и исчезают существенные свойства частей системы (отдельный от автомобиля руль не рулит). Анализ позволяет лишь установить структуру системы и узнать как она работает, но не позволяет определить почему и зачем она это делает. На этот вопрос отвечает синтетический метод познания. Он устанавливает функцию, а не структуру системы.

Аналитический метод приводит к хорошим результатам тогда, когда систему удастся расчленить на независимые друг от друга части, т.е. когда соблюдается принцип суперпозиции. В этом случае по отдельному рассмотрению частей системы можно составить правильное представление об их вкладе в общий эффект. Однако такие случаи встречаются крайне редко. Чаще всего вклад каждой части в общесистемный эффект зависит от вкладов других частей. Поэтому при наилучшем функционировании частей системы общий эффект не будет наивысшим.

При исследовании систем аналитический метод дополняется синтезом, а синтетический метод — анализом.

Анализ и синтез содержат более простые операции — соответственно декомпозицию и агрегатирование. При декомпозиции целое расчленяют на части, а при агрегатировании части объединяют в целое. Эти операции в свою очередь можно алгоритмизировать, что рассматривается ниже.

При декомпозиции целого на части система расчленяется на подсистемы, цели — на подцели, задачи — на подзадачи. Этот процесс в зависимости от сложности целого может повторяться дальше, что приводит к древовидным (иерархическим) структурам.

2.3.2. Модели систем как основа декомпозиции. Алгоритм декомпозиции

Основанием всякой декомпозиции системы является ее модель.

Так как объект исследования, как правило, сложен, слабо структурирован и плохо формализован, то декомпозицию выполняет эксперт. В результате качество построенных им древовидных структур зависит от уровня его компетентности и применяемой методики декомпозиции.

Эксперт обычно легко расчленяет целое на части, но, как правило, испытывает затруднения при доказательстве полноты и безызбыточности предлагаемого набора частей. Число частей при декомпозиции целого получается столько, сколько элементов содержится в модели, взятой в качестве основания. Что касается полноты декомпозиции, то она зависит от завершенности модели.

Декомпозиция — разделение целого на части с сохранением признака подчиненности, принадлежности.

Как отмечалось выше, исследуемые или создаваемые системы описываются моделями формального типа: моделью состава, моделью структуры и моделью в виде структурной схемы. Возникает вопрос — **какую модель брать за основание декомпозиции?**

Основанием для декомпозиции может служить только конкретная, **содержательная модель** рассматриваемой системы. Эта модель получается из выбранной формальной модели путем наполнения ее содержанием. Она строится по “образу” формальной модели, но не тождественна ей. При этом полнота декомпозиции определяется полнотой модели - основания, зависимой от полноты формальной модели.

Примером полной формальной модели является марксова схема [22] любой деятельности человека, применяемая для анализа процесса труда (рис. 2.14). Она включает: **субъект деятельности; объект этой деятельности; средства, используемые в процессе деятельности; окружающую среду; все возможные связи между ними (показаны стрелками).**



Рис. 2.14. Общая схема деятельности человека

Другим примером полной формальной модели является схема входов организационной системы, представленная на рис. 2.15. Здесь изъятие любого элемента лишит ее полноты.



Рис. 2.15. Схема входов организационной системы

Следующим примером полной формальной модели является модель жизненного цикла продукции (рис. 2.16), охватывающая пять этапов (исследование и проектирование; изготовление; обращение и реализация; эксплуатация или потребление; ликвидация), окружающую среду и совокупность связей между ними. Однако эта модель в конкретных случаях (по этапам жизненного цикла) является малополезной, так как она слишком обща. Поэтому при рассмотрении жизненного цикла по этапам нужно использовать более детальные модели.

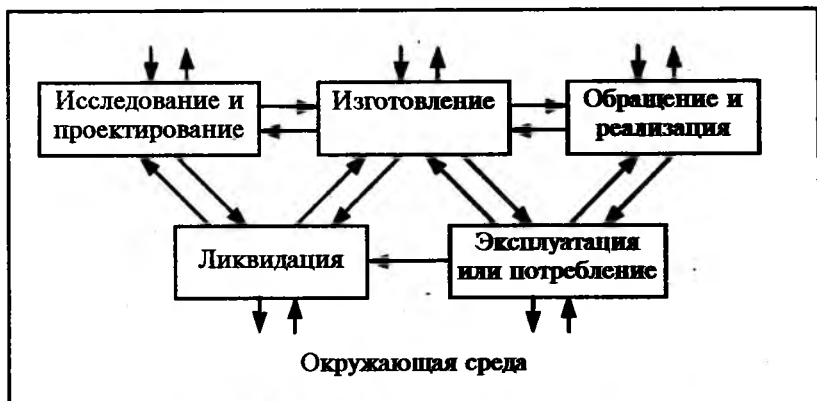


Рис. 2.16. Модель жизненного цикла продукции

Таким образом, необходимым условием полноты декомпозиции системы является полнота ее формальной модели. Однако это условие не является достаточным. В конечном счете все зависит от полноты содержательной модели. Поэтому, чтобы сохранить полноту и возможность расширения содержательной модели, необходимо перечень элементов системы замыкать компонентой “все остальное”. Ее присутствие будет постоянно напоминать эксперту о том, что, возможно, он не учел что-то важное.

Процесс декомпозиции системы является многоступенчатым и, как отмечалось выше, он приводит к древовидной структуре. С качественной стороны требования к этой структуре сводятся к двум противоречивым принципам [22]: **полноты** (проблема должна быть рассмотрена максимально всесторонне и подробно) и **простоты** (все дерево должно быть максимально компактным — “вширь” и “вглубь”). Компромиссы между указанными количественными требованиями вытекают из **качественного требования**: свести сложный объект анализа к конечной совокупности простых объектов, а если это не удастся, то выяснить конкретную причину неустранимой сложности (рис. 2.17).

С позиции *принципа простоты* следует сокращать размеры дерева “вширь” (определяются числом элементов модели), поэтому нужно брать более компактные модели-основания. С другой стороны, *принцип полноты* заставляет брать как можно

развитые, подробные модели-основания. В данном случае компромисс достигается с помощью понятия существенности: в модель включаются только компоненты, существенные по отношению к цели анализа. Эти задачи решаются экспертом. Чтобы облегчить его работу, в алгоритме декомпозиции должны быть предусмотрены возможности внесения поправок и дополнений в модель-основание. Первая возможность обеспечивается путем использования компоненты “все остальное”, а вторая – заключается в разукрупнении, расчленении отдельных элементов модели-основания.

Во-первых, декомпозиция “вглубь” прекращается тогда, когда она привела к получению результата (подсистемы, подцели, подзадачи и т.д.), не требующего дальнейшего расчленения, т.е. результата простого, понятного, обеспеченного, заведомо выполнимого. Этот результат называется элементарным (см. понятие элементарности на рис. 2.17). Для некоторых задач (например, математических, технических и т.п.) понятие элементарности может быть конкретизировано до формального признака, а в других задачах оно остается неформальным и определяется экспертом.



Рис. 2.17. Схема компромиссов между принципами простоты и полноты декомпозиции

Во-вторых, в случае неэлементарного фрагмента его декомпозиция проводится по другой, ранее неиспользованной модели-основанию, полученной путем **постепенной детализации** прежней модели. Такая возможность обеспечивается введением новых элементов в модель-основание. Поскольку новые суще-

ственные элементы могут быть получены расчленением уже имеющихся, в алгоритме декомпозиции должна быть заложена возможность возврата к ранее использованной модели-основанию. При этом нет необходимости рассматривать заново все элементы модели, а только вновь введенные.

Указанная **интеративность** алгоритма придает ему возможность пользоваться моделями различной детальности на разных ветвях, при этом углублять детализацию сколь угодно.

Укрупненная блок-схема алгоритма декомпозиции [22] приведена на рис. 2.18. Комментарии к соответствующим блокам алгоритма приводятся ниже.

Блок 1. Определение объекта анализа требует значительных усилий, когда речь идет о сложной проблеме исследования. От правильности выбора объекта анализа зависит необходимость и правильность дальнейших действий.

Блок 2. Здесь определяется, зачем нужны наши действия. В качестве целевой системы выступает система, в интересах которой осуществляется весь анализ.

Блок 3. Этот блок содержит набор формальных моделей и рекомендуемые правила их перебора или обращение к эксперту с просьбой самому определить очередную модель.

Блок 4. Здесь экспертом на основании изучения целевой системы и выбранной формальной модели строится содержательная модель, по которой будет выполнена декомпозиция.

Блоки 5–10. Назначение этих блоков достаточно ясно показано на укрупненной блок-схеме алгоритма декомпозиции.

Блок 11. Здесь в виде дерева оформляется окончательный результат анализа. Конечными фрагментами ветвей дерева являются либо элементарные фрагменты, либо фрагменты, признанные экспертом сложными, но не поддающимися дальнейшему расчленению.

Рассмотренная блок-схема алгоритма декомпозиции является слишком укрупненной. Она предназначена для разъяснения основных идей этого алгоритма. Для большей конкретизации формальных операций в алгоритме используется развернутая блок-схема [22].

Резюме. *Декомпозиция заключается в расчленении сложного целого на более мелкие и простые части. Основанием для декомпозиции служит содержательная модель системы. Компромиссы между полнотой и простотой декомпозиции достигаются с помощью понятий существенности, элементарности, а*

также нарастающей постепенной детализации моделей и итеративности алгоритма декомпозиции.

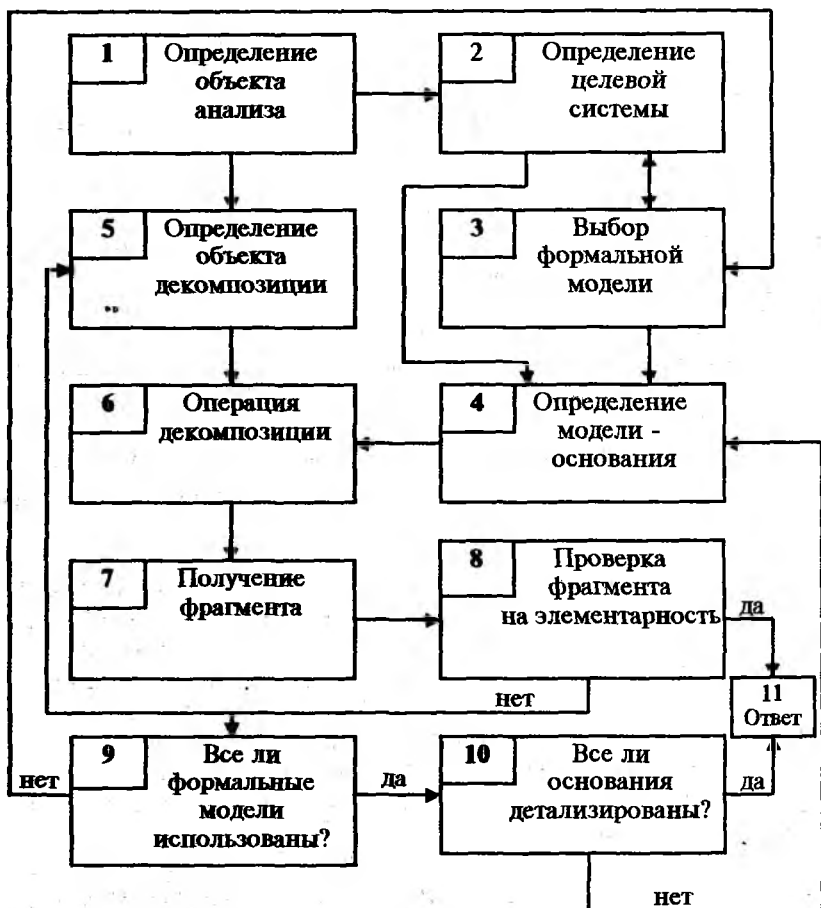


Рис. 2.18. Украинская блок-схема алгоритма декомпозиции

2.3.3. Агрегатирование и эмерджентность системы

Агрегатирование — объединение множества элементов в единое целое и установление отношений на данном множестве элементов.

В зависимости от того, как образуется множество элементов и какие отношения устанавливаются (т. е. выявляются или навязываются) на этом множестве, получается весьма обширное множество задач агрегатирования. В результате появляются различные совокупности элементов, получившие название **агрегатов**. Типичными агрегатами в системных исследованиях являются: **конфигуратор, агрегаты-операторы и агрегаты-структуры**.

Конфигуратор — набор различных языков описания изучаемой системы, достаточный для проведения системных исследований по данной проблеме.

Рассмотрим различные примеры конфигулятора.

В радиотехнике [22] для одного и того же прибора используется следующий конфигулятор: **блок-схема, принципиальная (функциональная) схема, монтажная схема**. *Блок-схема* характеризует прибор, как систему, по составу входящих в него конструктивных блоков. *Принципиальная (функциональная) схема* предполагает иное расчленение прибора, а именно: на части, выполняющие определенные функции, необходимые для его работы; каналы связи, соединяющие эти части, и направление передачи информации по данным каналам (показывается стрелками). При этом приборы могут иметь одинаковые принципиальные схемы, но различные блок-схемы, и наоборот. Наконец, *монтажная схема* является результатом расчленения прибора в зависимости от габаритов объема, в котором производится монтаж, удобства монтажа и ремонтпригодности прибора.

Необходимо отметить, что главное в конфигуляторе не то, что анализ объекта исследования должен производиться отдельно на каждом языке конфигулятора (это разумеется само собой), а то, что синтез, проектирование, производство и эксплуатация объекта возможны только при наличии описаний на всех языках (конфигуратора).

При описании поверхности трехмерного тела на «плоскостных» языках [22] конфигулятором является **совокупность из трех ортогональных проекций**, принятая в техническом черчении.

Другая разновидность конфигулятора используется при об- суждении кандидатов на руководящую должность. Каждый претендент рассматривается с учетом его **профессиональных, деловых и моральных качеств**, а также **состояния здоровья**.

Следует отметить, что конфигулятор является содержатель- ной моделью высшего уровня. Описание системы на всех языках конфигулятора позволяет определять, синтезировать тип системы, фиксировать ее понимание. Как всякая модель, конфигулятор имеет целевой характер, поэтому при изменении цели изменяется и конфигулятор. Например, если в вышепри- веденном примере кроме целей производства предусмотреть цели сбыта радиоаппаратуры, то в конфигулятор системы не- обходимо включить язык рекламы.

Одной из часто решаемых задач при агрегатировании явля- ется **приведение к агрегату-оператору** слишком многочислен- ной совокупности данных, с которыми приходится работать. В данном случае на первый план выступает такая особенность агрегатирования, как **уменьшение размерности** (агрегат объеди- няет части в нечто целое, единое, отдельное).

Простейший способ агрегатирования — установление от- ношения эквивалентности между агрегируемыми элемента- ми, т. е. образования классов.

Классификация является важным и многофункциональным явлением в человеческой практике вообще и в системных ис- следованиях в частности. В данном случае важнейшая практи- ческая задача — определить к какому классу относится тот или иной конкретный элемент.

Классификация не представляет особых трудностей, если признак принадлежности к классу является *непосредственно наблюдаемым*. Однако и в этом случае возникает вопрос о на- дежности, правильности классификации. Например [22], рас- кладка окрашенных кусков картона по цветам трудная задача даже для ученых-психологов, а именно, отнести ли кусок кар- тона оранжевого цвета к «красным» или «желтым», если между ними нет других классов?

Сложность классификации резко возрастает, если признак принадлежности к классу *не наблюдается непосредственно* и представляет собой *агрегат косвенных признаков*. Это имеет ме-

сто, например, при диагностике заболевания по результатам анамнеза, т. е. сведениям об условиях жизни, а также начале и развитии заболевания, сообщаемым больным или его близкими.

Агрегатирование в классы является эффективной, но далеко не тривиальной процедурой.

Важнейшей формой агрегатирования, особенно на этапе синтеза, является образование **агрегатов-структур**. В любой реальной системе независимо от нашего желания устанавливаются и начинают «работать», кроме спроектированных связей (отношений), множество других, не предусмотренных, но вытекающих из самой природы сведенных в одну систему элементов. Поэтому при проектировании системы важно задать ее структуры во всех существенных отношениях. В остальных отношениях структуры сложатся сами, стихийным образом. Что касается совокупности существенных отношений, то она определяется конфигуратором системы.

Проект любой системы должен содержать разработку столько структур, сколько языков описания включено в ее конфигурактор.

Для всех агрегатов характерно одно общее свойство — **эмерджентность**. Данная особенность систем заключается в том, что свойство целого не сводится к совокупности свойств его частей.

При объединении частей в целое возникает нечто качественно новое, т. е. новое качество.

Это новое качество является проявлением *внутренней целостности* системы, т. е. оно существует, пока существует целое. Свойство **эмерджентности** признано официально. Так, при государственной экспертизе заявок на изобретения патентоспособным признается новое ранее неизвестное соединение известных элементов, если оно приводит к возникновению новых полезных свойств.

Резюме. Существуют различные формы агрегатирования, т. е. объединения множества элементов в единое целое и установления отношений на данном множестве элементов. Наиболее распространенными являются следующие виды агрегатов: конфигурактор (совокупность языков описания системы), агрегаты-операторы (классификация, упорядочение и т. д.) и агрегаты-структуры (описание связей на всех языках конфигурактора). Для всех агрегатов характерно одно общее свойство — эмерджентность, которое является проявлением внутренней целостности системы и результатом агрегатирования. При объединении частей в целое возникает новое свойство.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое математическая модель?
2. Объясните схему разработки математической модели.
3. Какие требования предъявляются к математическим моделям?
4. Как классифицируются математические модели?
5. Расскажите методику получения математических моделей.
6. Что такое топологические модели и как они записываются?
7. Приведите примеры топологических моделей.
8. Что такое имитационные математические модели динамических систем и где они применяются?
9. Что такое имитационные математические модели систем массового обслуживания и где они применяются?
10. Что такое модель состава системы, модель структуры и структурная схема системы?
11. Что такое декомпозиция системы?
12. Объясните алгоритм декомпозиции.
13. Какие принципы простоты и полноты декомпозиции Вы знаете?
14. Что такое агрегатирование системы и какие агрегаты Вы знаете?
15. Что такое эмерджентность системы?

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Кибернетическая модель технического объекта

Для сложных технических объектов, относящихся к плохо организованным системам, кибернетическая модель представляется в виде "черного ящика" с $k+n+l$ входами (факторами) и m выходами (показателями качества функционирования системы).

Каждый из выходных параметров y (рис 3.01) зависит от состояния контролируемой управляемой части входов, определяемой k -мерным вектором $X=(x_1, x_2, \dots, x_k)$, контролируемой неуправляемой части входов, определяемой n -мерным вектором $Z=(z_1, z_2, \dots, z_n)$, и неконтролируемой части, определяемой l -мерным вектором $W=(w_1, w_2, \dots, w_l)$.

Действие неконтролируемых возмущающих входных параметров проявляется в том, что выходной параметр системы (технического объекта) при известных контролируемых управляемых и неуправляемых входных параметрах характеризуется неоднозначно. Технический объект, в котором влияние случайных возмущающих параметров велико, является стохастическим объектом. Для его изучения используется математический аппарат теории вероятности.

При экспериментально-статистическом исследовании технического объекта связь между входными и выходными параметрами описывается обычно математической моделью в виде полинома. Для оценки его коэффициентов необходимо иметь статистический материал, характеризующий состояние технического объекта в процессе функционирования. Данная информация может быть получена либо путем пассивного эксперимента, т.е. пассивного наблюдения за функционированием технического объекта, либо путем планирования эксперимента, т.е. активного вмешательства в функционирование техническо-

го объекта и постановки опытов в определенных точках допустимой области пространства управляемых входных параметров.

Для сложных технических объектов, относящихся к плохо организованным системам, пассивный эксперимент не нашел широкого применения. Что касается планирования эксперимента, оно является мощным инструментом экспериментально-статистического исследования и оптимизации сложных плохо организованных систем. Планирование эксперимента исключает слепой поиск, значительно сокращает число опытов и, как следствие, затраты и сроки проведения эксперимента, а также даст возможность получить математические модели.

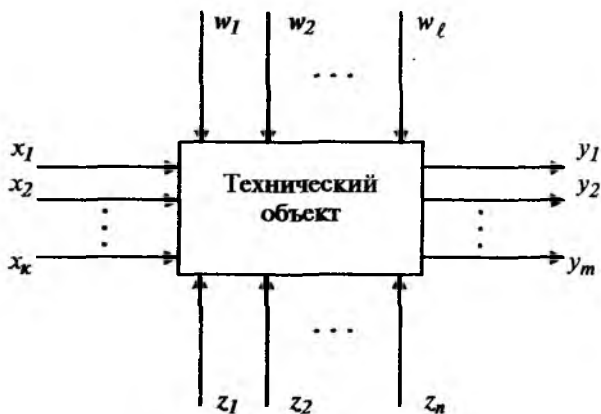


Рис. 3.01. "Черный ящик": x_1, x_2, \dots, x_k — контролируемые управляемые входные параметры; z_1, z_2, \dots, z_n — контролируемые неуправляемые входные параметры; w_1, w_2, \dots, w_l — неконтролируемые входные параметры

Основным достоинством методов планирования эксперимента является их универсальность, т.е. пригодность в большинстве областей исследований: в металловедении и металлургии, машиностроении и обработки материалов, химии и химической технологии, медицине и биологии, электронике и вычислительной технике и др.

Разработка современных статистических методов планирования эксперимента связана с работами Фишера [2], Бокса и Уилсона [1], В. В. Налимова [19] и др.

Резюме. Для исследования сложных технических объектов, относящихся к плохо организованным системам, наиболее приемлемой является кибернетическая модель в виде "черного

ящика” с множеством входов (факторов) и множеством выходов (показателей качества функционирования системы). При экспериментально-статистическом исследовании такой модели связь между входными и выходными параметрами описывается математической моделью в виде полинома.

3.2. Основные понятия и модели при планировании эксперимента

Математические модели планирования эксперимента основаны на кибернетической модели в виде “черного ящика” (см. рис. 3.01.). При рассмотрении такой кибернетической системы контролируемые управляемые входные параметры x_1, x_2, \dots, x_k называют факторами, а выходные параметры y_1, y_2, \dots, y_m — параметрами (критериями) оптимизации.

Факторы могут быть количественными и качественными. К первым относятся входные параметры, которые можно оценивать количественно: измерять, взвешивать и т.д. Качественные факторы характеризуются качественными свойствами и, в отличие от количественных, им не соответствует числовая шкала. Однако и для них можно построить условную порядковую шкалу, которая устанавливает соответствие между уровнями качественного фактора и числами натурального ряда.

Факторы должны быть управляемыми и отвечать требованию непосредственного воздействия на технический объект. Под управляемостью фактора понимается возможность установки и поддержания выбранного нужного уровня фактора постоянным в течение всего опыта или его изменение по заданной программе. Требования непосредственного воздействия заключаются в отсутствии функциональной зависимости фактора от других факторов, так как при наличии такой зависимости им трудно управлять.

Каждый фактор при проведении опыта может принимать одно из нескольких значений, называемых уровнями. Фиксированный набор уровней факторов определяет одно из возможных состояний кибернетической системы. Этому фиксированному набору уровней соответствует определенная точка в многомерном пространстве факторов, называемым **факторным пространством**.

Опыты реализуются не во всех точках факторного пространства, а лишь в точках, принадлежащих допустимой облас-

ти факторного пространства. В качестве примера на рис.3.02, а показана допустимая область G для двух факторов x_1 и x_2 .

Кибернетическая система реагирует по-разному на каждый фиксированный набор уровней факторов. Однако существует вполне определенная связь между уровнями факторов и реакцией (откликом) системы. Эта реакция называется **функцией отклика**, а ее геометрический образ — **поверхностью отклика** (рис. 3.02, б).

Функция отклика имеет следующий вид

$$y_{\ell} \Psi =_{\ell} (x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (\ell = 1, 2, \dots, m). \quad (3.01)$$

Естественно исследователю неизвестен заранее вид зависимости ψ . Он по данным планируемого эксперимента получает приближенные уравнения

$$\hat{y}_{\ell} = \varphi_{\ell} (x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (\ell = 1, 2, \dots, m). \quad (3.02)$$

Этот эксперимент необходимо поставить так, чтобы при минимальном количестве опытов, варьируя уровни факторов по специально сформулированным правилам, можно было получить математическую модель и найти оптимальные значения выходных параметров кибернетической системы.

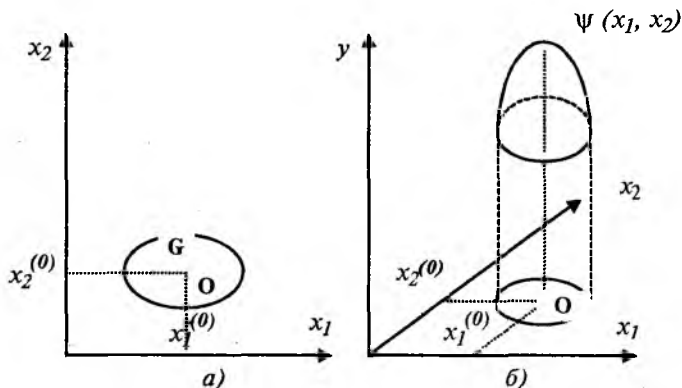


Рис. 3.02. Допустимая область факторного пространства (а) и поверхность отклика (б)

Функцию отклика с достаточной точностью можно представить в виде полинома степени d от k переменных

$$M\{y\} = \eta = \beta_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \dots$$

$$\dots + \sum_{i_1, i_2, \dots, i_k} \beta_{i_1 i_2 \dots i_k} x_{i_1}^{i_1} x_{i_2}^{i_2} \dots x_{i_k}^{i_k}, \quad \sum ij = d, \quad (3.03)$$

где $M\{y\}$ или η - математическое ожидание отклика.

Точность, с которой данный полином описывает тот или иной процесс в кибернетической системе, зависит от порядка (степени) ряда, т.е. от того, с каким показателем степени представлены последние члены ряда. Для сокращения числа опытов на первой стадии исследования очень часто ограничиваются моделью (3.03), содержащей только линейные члены и взаимодействия первого порядка.

$$M\{y\} = \eta = \beta_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \dots + \beta_{i_1 i_2 \dots i_k} x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_k}. \quad (3.04)$$

Лишь для описания почти стационарной (оптимальной) области в модели (3.03) учитываются еще члены второго, иногда третьего порядка.

По результатам планируемого эксперимента определяются выборочные коэффициенты регрессии b_0, b_i, b_{ij} , которые являются оценками для теоретических коэффициентов регрессии $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}$, т.е.

$$b_i \rightarrow \beta_i, b_{ij} \rightarrow \beta_{ij},$$

$$b_0 \rightarrow \beta_0 + \sum \beta_{ii} + \sum \beta_{iii} + \dots$$

В результате модель (уравнение регрессии), получаемая на основе экспериментальных данных, в отличие от модели (3.04), имеет вид

$$\hat{M}\{y\} = \hat{\eta} = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \dots + b_{i_1 i_2 \dots i_k} x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_k}, \quad (3.05)$$

где $\hat{\eta}$ - оценка математического ожидания отклика η .

Уравнение регрессии (3.05) дает представление о влиянии изучаемых факторов на процесс кибернетической системы, о взаимодействии факторов и о направлении движения к оптимальной области. Такая аппроксимация небольшого участка поверхности отклика гиперплоскостью необходима, чтобы попасть в почти в стационарную (оптимальную) область. После

попадания в указанную область при помощи модели (3.05) задача считается решенной. Если же необходимо адекватно описать область оптимума, то переходят к полиномам более высоких степеней — второй, иногда третьей.

Резюме. В кибернетической системе существует вполне определенная связь между значениями факторов и реакцией (откликом) системы. Эта реакция называется функцией отклика, а её геометрический образ — поверхностью отклика. Функцию отклика с достаточной точностью можно представить в виде полинома степени d от k переменных. Точность, с которой данный полином описывает тот или иной процесс в кибернетической системе, зависит от степени ряда.

3.3. Выбор уровней факторов при планировании эксперимента

Каждый фактор кибернетической системы имеет определенные пределы изменения своей величины, внутри которых он может принимать любое значение или ряд дискретных значений. Совокупность всех этих значений образует область определения фактора.

При планировании эксперимента в области определения каждого фактора находят его локальную подобласть, т.е. тот интервал изменения (варьирования) фактора, в пределах которого ставится исследование.

Выбор указанных локальных подобластей сводится к выбору основного (нулевого) уровня x_{i0} и интервала варьирования Δx_i для каждого фактора x_i ($i = 1, 2, \dots, k$). Для этого на основе априорной информации устанавливаются ориентировочные значения факторов, комбинации которых дают наилучший выходной результат кибернетической системы. Этой комбинации значений факторов и соответствует исходная точка факторного пространства, которая используется при построении плана эксперимента. Координаты исходной точки называются **основными (нулевыми) уровнями факторов**.

Интервалы варьирования Δx_i факторов также выбираются на основе априорной информации, например, о кривизне изучаемой поверхности отклика. Так, чем меньше кривизна поверхности, тем большими могут быть взяты интервалы варьирования Δx_i . Данную априорную информацию можно полу-

чить из предварительных однофакторных экспериментов или теоретических предположений. Кроме того, интервал варьирования может быть определен как некоторая доля [16] от размера области определения соответствующего фактора. Узкий интервал варьирования составляет не более 10% от области определения, средний — от 10% до 30%, широкий — более 30%.

При известных основном уровне и интервале варьирования фактора его верхний и нижний уровни равны

$$x_{iB} = x_{i0} + \Delta x_i, \quad x_{iH} = x_{i0} - \Delta x_i, \quad (3.06)$$

Для упрощения записи условий и обработки результатов эксперимента обычно переходят от натуральных переменных x_i к безразмерным \tilde{x}_i (нормированным), которые определяются по формуле

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}. \quad (3.07)$$

В этом случае $\tilde{x}_{i0} = 0$, $\tilde{x}_{iB} = +1$, $\tilde{x}_{iH} = -1$, т.е. основному уровню каждого фактора соответствует 0, верхнему уровню — “+1”, нижнему уровню — “-1”.

Планирование эксперимента на двух уровнях наиболее широко применяется для получения математических моделей различных кибернетических систем. Такие планы, в которых все факторы варьируются на двух уровнях, называются планами типа 2^K , где K — число факторов.

Резюме. При исследовании кибернетической системы (“черный ящик”) каждый фактор имеет определенные пределы изменения своей величины. Внутри этих пределов (интервалов варьирования) он может принимать любое значение или ряд дискретных значений. Интервалы варьирования определяются на основе априорной информации. Для получения математических моделей кибернетических систем факторы чаще всего варьируются на двух уровнях.

3.4. Полный факторный эксперимент. Получение математической модели

Эксперимент, в котором реализуются все возможные неповторяющиеся комбинации уровней независимых факторов, варьируемых на двух уровнях, называется полным факторным экспериментом (ПФЭ). Число этих комбинаций $N=2^K$.

Рассмотрим планирование ПФЭ на примере трехфакторной кибернетической системы ($N=2^3$). Для нее математическая модель, согласно уравнению регрессии (3.03) имеет вид

$$\hat{M}(y) = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i \tilde{x}_i + \sum_{1 \leq i < j}^3 b_{ij} \tilde{x}_i \tilde{x}_j + b_{123} \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \tilde{x}_3. \quad (3.08)$$

Нахождение указанной математической модели методом ПФЭ состоит из следующих этапов:

- планирование эксперимента;
- проведение эксперимента;
- получение математической модели кибернетической кибернетической сой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии;
- проверка воспроизводимости (однородности выборочных дисперсий);
- проверка адекватности математического описания.

Матрица планирования ПФЭ для трех факторов приведена в таблице 3.01. Здесь столбцы $\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \tilde{x}_3$ образуют матрицу плана. По ним непосредственно определяются условия опыта. Столбцы $\tilde{x}_1 \tilde{x}_2$, $\tilde{x}_1 \tilde{x}_3$, $\tilde{x}_2 \tilde{x}_3$, $\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \tilde{x}_3$ представляют возможные комбинации произведений факторов, которые позволяют оценить эффекты взаимодействия факторов. Столбец \tilde{x}_0 (фиктивная переменная) введен в таблицу для оценки свободного члена β_0 . Значение x_0 одинаково во всех опытах и равно +1.

ПЛАН

Таблица 3.01

Матрица планирования типа 2^3 и результаты опытов

Номер точки плана ν									Параметр оптимизации
	\tilde{x}_0	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	$\tilde{x}_1 \tilde{x}_2$	$\tilde{x}_1 \tilde{x}_3$	$\tilde{x}_2 \tilde{x}_3$	$\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \tilde{x}_3$	
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	\bar{Y}_1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	\bar{Y}_2
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	\bar{Y}_3
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	\bar{Y}_4
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	\bar{Y}_5
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	\bar{Y}_6
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	\bar{Y}_7
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	\bar{Y}_8

Матрицы планирования ПФЭ обладают рядом свойств, делающих их оптимальным средством получения математической модели по результатам планируемого эксперимента.

Первое свойство — симметричность относительно центра эксперимента. Это свойство формулируется следующим образом: алгебраическая сумма элементов каждого вектор-столбца, кроме столбца фиктивной переменной \tilde{x}_0 , равна нулю

$$\sum_{v=1}^n \tilde{x}_{iv} = 0; i = 1, 2, \dots, 2^k - 1, \quad (3.09)$$

где n — число различных точек в плане, v — номер точки плана.

Второе свойство формулируется так: сумма квадратов элементов каждого вектор-столбца равна числу точек плана

$$\sum_{v=1}^n \tilde{x}_{iv}^2 = n; i = 0, 1, 2, \dots, 2^k - 1. \quad (3.10)$$

Третье свойство — ортогональность вектор-столбцов матрицы планирования. Данное свойство имеет следующую формулировку: сумма произведений элементов любых двух вектор-столбцов матрицы планирования равна нулю

$$\sum_{v=1}^n \tilde{x}_{iv} \tilde{x}_{jv} = 0; i \neq j; i, j = 0, 1, 2, \dots, 2^k - 1. \quad (3.11)$$

Из свойства ортогональности следует диагональность матрицы нормальной системы уравнений и взаимная независимость оценок коэффициентов уравнения регрессии, а также простота расчета этих коэффициентов.

Матрица планирования типа 2^3 позволяет оценить восемь коэффициентов регрессии: $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$. Однако ее нельзя использовать для оценки квадратичных коэффициентов регрессии (b_{11}, b_{22}, \dots), так как вектор-столбцы $\tilde{x}_1^2, \tilde{x}_2^2, \tilde{x}_3^2$ совпадают друг с другом и со столбцом \tilde{x}_0 .

При планировании эксперимента предъявляются повышенные требования к тщательности проведения эксперимента. Это объясняется тем, что статистические оценки результатов реализации плана эксперимента неизбежно покажут недостатки в экспериментировании. Тогда как традиционные методы

исследования (однофакторный эксперимент) не предусматривают нахождения ошибки эксперимента и проверки достоверности (адекватности) полученных зависимостей. Кроме того, нужно скрупулезно (чрезвычайно тщательно) подходить к выбору интервалов варьирования факторов.

Из специфических особенностей планирования эксперимента необходимо отметить следующие. Если нельзя обеспечить однородность фактора, например, однородность обрабатываемого материала на весь объем испытаний, то необходимо определить количество различных партий материала и соответственно разбить матрицу планирования на **ортогональные блоки**. Далее, для исключения влияния изменчивости условий эксперимента во времени рекомендуется **случайная последовательность постановки опытов** в пределах каждого блока, т.е. опыты необходимо **рандомизировать** во времени с помощью таблицы случайных чисел.

Целью проведения ПФЭ является получение описания кибернетической системы в виде уравнения регрессии (3.05). Для матрицы планирования типа $N=2^3$ уравнение регрессии представлено в виде формулы (3.08).

Как отмечалось выше, ортогональность матрицы планирования позволяет существенно упростить вычисления коэффициентов уравнения регрессии. Так, для любого числа факторов коэффициенты b_i вычисляются по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{v=1}^n \tilde{x}_{iv} \bar{y}_v}{n}, \quad (3.12)$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, k$ — номер фактора (включая фиктивную переменную x_0); \bar{y}_v — средний отклик (т.е. среднее значение выходного параметра) по r опытам в точке с номером v

$$\bar{y}_v = \frac{\sum_{j=1}^r \bar{y}_{vj}}{r}. \quad (3.13)$$

Коэффициенты b_{ij} при взаимодействиях первого порядка вычисляются по формуле аналогичной формуле (3.12)

$$b_{ij} = \frac{\sum_{v=1}^n \tilde{x}_{iv} \tilde{x}_{jv} \bar{y}_v}{n}; i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, k. \quad (3.14)$$

Резюме. Матрицы планирования ПФЭ, обладая рядом свойств, являются оптимальным средством получения математической модели по результатам планируемого эксперимента. К таким свойствам относятся: симметричность относительно центра эксперимента; ортогональность вектор-столбцов; диагональность матрицы и т.д.

3.5. Обработка результатов эксперимента

Так как планирование эксперимента исходит из статистического характера зависимостей, то полученные уравнения связи входных и выходных параметров подвергаются статистическому анализу. Цели анализа:

- убедиться в достоверности полученной зависимости, ее точности;
- получить максимум информации из результатов эксперимента.

По результатам эксперимента определяется дисперсия, характеризующая ошибку опыта в точках плана, и дисперсия параметра оптимизации. Дисперсия в точках плана определяется по формуле

$$S_v^2 = \frac{\sum_{j=1}^r (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{r-1}, \quad (3.15)$$

где r — число повторных опытов в точках плана.

Дисперсия параметра оптимизации — среднее арифметическое значение дисперсий всех точек плана

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{v=1}^n S_v^2}{n} = \frac{\sum_{v=1}^n \sum_{j=1}^r (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{n(r-1)}, \quad (3.16)$$

где n — число точек плана.

Проверка однородности дисперсий производится с помощью различных статистических критериев: Фишера, Кохрена, Бартлетта. Критерий Кохрена применяется для случаев, когда

число повторных опытов во всех точках плана одинаково. Данный критерий представляет собой отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий

$$G = \frac{S_v^2 \max}{\sum_{v=1}^n S_v^2}. \quad (3.17)$$

Гипотеза об однородности дисперсий принимается в том случае, если экспериментальное значение критерия Кохрена не превышает табличного значения $G_{кр}$.

$$G < G_{кр}. \quad (3.18)$$

Проверка значимости коэффициентов модели (регрессии) осуществляется независимо по t – критерию Стьюдента. Величина t – критерия определяется по формуле

$$t_i = \frac{|b_i|}{S \{b\}}, \quad (3.19)$$

где $|b_i|$ – модуль значения i -го коэффициента регрессии;

$S \{b\}$ – корень квадратный из дисперсии коэффициентов регрессии, определяемой по формуле

$$S^2 \{b\} = \frac{S^2 \{y\}}{n \cdot r}. \quad (3.20)$$

Коэффициент b_i признается значимым, если $t_i > t_{кр}$. В противном случае b_i считается статистически незначимым, т.е. $\beta_0 = 0$.

Причинами статистической незначимости коэффициента b_i являются:

- основной уровень x_{i0} близок к точке частного экстремума по переменной x_i ;
- интервал варьирования Δx_i выбран малым;
- данная переменная (произведение переменных) не имеет функциональной связи с выходным параметром \bar{y} ;
- велика ошибка эксперимента вследствие наличия неуправляемых и неконтролируемых переменных.

Завершает обработку результатов эксперимента **проверка адекватности модели**. Она заключается в сравнении среднего значения \bar{y}_v выходного параметра (среднего отклика) с резуль-

татами расчета \bar{y}_v по полученному уравнению регрессии в тех же точках факторного пространства. Рассеяние результатов эксперимента относительно уравнения регрессии, аппроксимирующего искомую функциональную зависимость, можно характеризовать с помощью остаточной дисперсии или дисперсии адекватности S_{ag}^2 , определяемой по формуле

$$S_{ag}^2 = \frac{r}{n \cdot m} \sum_{v=1}^n (\bar{y}_v - \bar{y}_v)^2, \quad (3.21)$$

где m — число всех членов аппроксимирующего уравнения регрессии.

Проверку адекватности осуществляют с помощью F — критерия Фишера, который формируется как отношение $F = \frac{S_{ag}^2}{S^2\{y\}}$. Математическая модель признается адекватной, если

$$F = \frac{S_{ag}^2}{S^2\{y\}} < F_{кр}, \quad (3.22)$$

где $F_{кр}$ — критическое значение F — критерия Фишера, найденное по таблице.

Резюме. Уравнение связи между факторами и выходными параметрами кибернетической модели, полученное по результатам планируемого эксперимента, подвергается статистическому анализу. Цель анализа: убедиться в достоверности полученной зависимости и её точности, получить максимум информации из результатов эксперимента.

3.6. Дробный факторный эксперимент. Крутое восхождение по поверхности отклика

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) дает возможность определить раздельно коэффициенты регрессии, соответствующие не только линейным эффектам, но и всем эффектам их взаимодействия. Однако использовать ПФЭ не всегда эффективно особенно при большом числе факторов, так как ПФЭ требуют постановки числа опытов $N=2^K$, значительно превышающего число оценивае-

мых линейных эффектов k . ПФЭ обладают большой избыточностью опытов $\Delta = 2^k - k$.

Значительно меньшей избыточностью обладают **дробные факторные эксперименты (ДФЭ)**, которые представляют собой определенную часть ПФЭ. В данном случае опыты реализуются не во всех 2^k вершинах гиперкуба, а лишь в некоторых из них. Естественно, при этом часть информации теряется. Однако путем рационального выбора вершин гиперкуба удается получить оценку линейных эффектов и части эффектов взаимодействия с достаточной для первого этапа исследования точностью.

Чтобы получить план ДФЭ для $k+p$ независимых факторов, необходимо составить ПФЭ для k факторов и их эффекты взаимодействия наивысшего порядка приравнять к линейным эффектам оставшихся p независимых факторов. При этом уровни оставшихся p факторов должны меняться согласно знакомым комбинациям столбцов соответствующих взаимодействий. ДФЭ, полученные таким путем, являются дробными репликами от ПФЭ типа 2^{k+p} . Дробные реплики обозначаются 2^{k-p} . План с предельным числом факторов для данного числа опытов и заданной модели называется **насыщенным**. План типа 2^k называется **ненасыщенным**.

Необходимо отметить, что матрицы планирования ДФЭ не теряют своих оптимальных свойств: ортогональность, ротатабельность. Подробное описание ДФЭ приводится в работах [17,19].

Уравнения регрессии, получаемые на основе результатов планируемых ПФЭ и ДФЭ, дают представление не только о влиянии факторов на процесс кибернетической системы и их взаимодействии, но и позволяют оптимизировать ее свойства, т.е. найти такие уровни факторов, которые обеспечивают экстремальные значения выходных параметров системы.

Данная оптимизация может осуществляться различными способами, из которых наибольшее практическое применение нашел *способ крутого восхождения по поверхности отклика*, предложенный в 1951 году Боксом и Уилсоном [1]. **Крутое восхождение** — это целенаправленное шаговое “ползание” по поверхности отклика путем использования метода градиента в сочетании с факторным экспериментом.

Поиск экстремального значения выходного параметра (точки экстремума) по способу кругого восхождения осуществляется следующим образом [19].

— Реализуется ПФЭ или ДФЭ по соответствующим матрицам планирования эксперимента.

— Путем статистического анализа полученных результатов эксперимента вычисляются коэффициенты регрессии (см. формулы (3.12) и (3.14)), определяются их значимость (см. формулу (3.19)), однородность дисперсий (см. формулы (3.17) и (3.18)) и адекватность математической модели (см. формулу (3.22)). Коэффициенты регрессии являются составляющими вектора градиента.

— На основе выбранных значений параметра λ определяются шаг t_i изменения факторов (относительно основного уровня) и их координаты $x_i^{(h)}$ на линии кругого восхождения:

$$t_i = \lambda b_i \Delta x_i, \quad (3.23)$$

$$x_i^{(h)} = x_{i0} + h \lambda b_i \Delta x_i; \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad h = 1, 2, \dots,$$

где h — номер шага в направлении кругого восхождения.

Параметр λ выбирают по-разному. Наиболее распространенный способ выбора состоит в следующем:

— находят фактор, для которого абсолютная величина произведения $|b_i| \Delta x_i$ является наибольшей. Этот фактор называется базовым

$$|b_{\sigma}| \Delta x_{\sigma} = \max \{ |b_i| \Delta x_i \}; \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad (3.24)$$

— выбирают значение $\lambda = \lambda_1$ для первого шага в направлении кругого восхождения таким образом, чтобы шаг по базовому фактору был равен интервалу варьирования Δx_{σ} или его части, т.е.

$$\begin{aligned} \lambda_1 |b_{\sigma}| \Delta x_{\sigma} &= \mu \Delta x_{\sigma}, \\ \text{где} \quad 0 < \mu &\leq 1. \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\text{Откуда } \lambda_1 = \frac{\mu}{|b_{\sigma}|};$$

— с учетом выбранного значения λ_1 по формулам (3.23) определяют шаги изменения факторов и координаты последующих точек на линии крутого восхождения.

— В точках крутого восхождения реализуются эксперименты, из которых затем выбирается эксперимент с наилучшими результатами по выходному параметру. Значения факторов этого эксперимента принимаются за основной уровень в следующей серии экспериментов. Цикл крутого восхождения повторяется.

— Поиск точки экстремума осуществляется до тех пор, пока все коэффициенты b_i ($i = 1, 2, \dots, k$) линейной модели кибернетической системы получатся незначимыми. Это свидетельствует о выходе в область экстремума.

Резюме. Полный факторный эксперимент (ПФЭ) обладает большой избыточностью опытов. Поэтому в ряде случаев применяют дробный факторный эксперимент (ДФЭ), который представляет часть ПФЭ. ДФЭ обладает меньшей избыточностью, но при его реализации часть информации теряется.

Уравнения регрессии, полученные на основе результатов ПФЭ или ДФЭ, дают представление не только о влиянии факторов на процесс кибернетической системы, но и позволяют оптимизировать её свойства. Одним из способов данной оптимизации является крутое восхождение по поверхности отклика.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что представляет собой кибернетическая модель технического объекта?
2. Расскажите об основных понятиях и модели при планировании эксперимента?
3. Что такое поверхность отклика и чем она описывается?
4. Как выбирают уровни факторов при планировании эксперимента?
5. Что такое полный факторный эксперимент и как он планируется?
6. Как получается математическая модель при полном факторном эксперименте?
7. Что такое матрица планирования эксперимента и какими свойствами она обладает?
8. Как обрабатываются результаты планируемого эксперимента?
9. Что такое критерий Корена и критерий Фишера?
10. Что такое дробный факторный эксперимент?
11. В чем заключается крутое восхождение по поверхности отклика?

ГЛАВА 4. МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Основы экспериментальных исследований

4.1.1. Виды экспериментальных исследований

Экспериментальное исследование — это один из основных способов получения новых научных знаний.

Главной целью эксперимента является проверка теоретических положений (подтверждение рабочей гипотезы), а также более широкое и глубокое изучение темы научного исследования [32]. Эксперименты могут быть **естественные и искусственные**.

Естественные эксперименты характерны при изучении социальных явлений в условиях производства, быта и т.п. Что касается *искусственных экспериментов*, то они широко применяются в технических и др. науках.

В зависимости от характера модели объекта или процесса, условий постановки и проведения экспериментов они подразделяются на **лабораторные и производственные**.

Лабораторные эксперименты проводятся на специальных моделирующих установках, стендах с применением типовых приборов и соответствующей аппаратуры. Они позволяют получить ценную научную информацию с минимальными затратами. Однако эти результаты экспериментального исследования не всегда полностью отражают ход процесса или работу объекта.

Производственные эксперименты проводятся в реальных условиях с учетом воздействия различных случайных факторов окружающей среды. Такие эксперименты сложнее лабораторных и, вследствие громоздкости опыта на натуре (реальный процесс или объект), требуют тщательного продумывания и планирования.

К производственным исследованиям относятся также различные *полевые испытания* эксплуатируемых объектов. Другой разновидностью производственных экспериментов является *сбор материалов* по тому или иному исследуемому вопросу на предприятиях, в организациях или учреждениях по соответствующей методике и формам.

Для эффективного проведения экспериментальных исследований разрабатывается **методология эксперимента**. Она включает следующие основные этапы:

- *разработку плана-программы эксперимента;*
- *оценку измерений и выбор средств проведения эксперимента;*
- *проведение эксперимента;*
- *обработку и анализ экспериментальных данных.*

4.1.2. Разработка плана-программы эксперимента

План-программа эксперимента — это основа методологии экспериментальных исследований.

План-программа включает:

- *наименование темы исследования и содержание рабочей гипотезы;*
- *методику эксперимента и перечень материалов, приборов, установок и т.п., необходимых для его выполнения;*
- *список исполнителей и календарные планы их работы;*
- *смету на выполнение эксперимента.*

Методика эксперимента — это совокупность методов, приемов целесообразного проведения экспериментальных исследований. В общем случае она включает:

- *цель и задачи эксперимента;*
- *выбор факторов и уровней их изменения;*
- *обоснование средств и необходимого количества измерений;*
- *описание содержания и порядка проведения эксперимента;*
- *обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.*

Цель и задачи эксперимента определяются на основе анализа рабочей гипотезы и соответствующих теоретических разработок. Задачи должны быть четкими, а их количество — небольшим: для простого эксперимента — 3... 4, а для комплексного эксперимента — 8 ...10 задач.

Выбор факторов, влияющих на исследуемый процесс или объект, осуществляется на основе анализа теоретических работ в соответствии с принятой рабочей гипотезой. Все факторы сначала ранжируются по степени важности для данного эксперимента, а затем из них выделяются основные и вспомогательные. При небольшом количестве факторов (до 3-х) степень их важности определяется по однофакторному эксперименту (один фактор изменяется при постоянных остальных). Если же количество факторов большое, то применяется многофакторный анализ, рассмотренный выше (см. главу 3).

Средства измерений выбираются исходя из цели и задач эксперимента, характера измеряемых параметров и требуемой точности. Как правило, используются стандартные, серийно выпускаемые средства измерения (отечественные или зарубежные). В отдельных случаях создаются уникальные измерительные приборы и аппаратура.

Теоретические и физические основы измерительной техники, методы измерения физических величин подробно рассматриваются в работах [24, 38].

Содержание и порядок проведения эксперимента — это центральная часть методики. В ней подробно проектируется процесс проведения эксперимента:

— *составляется последовательность проведения операций наблюдения и измерения;*

— *подробно описывается каждая операция в отдельности с учетом выбранных средств проведения эксперимента;*

— *описываются применяемые методы контроля качества операций;*

— *разрабатывается журнал для записи результатов наблюдений и измерений.*

Важным разделом методики является обоснование **способов обработки и анализа** экспериментальных данных. Результаты экспериментов должны быть сведены к наглядной форме представления (таблицы, графики, номограммы и т.п.), чтобы их можно было сравнивать и анализировать. Особое внимание уделяется *математическим методам обработки* — установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между факторами и выходными параметрами, установлению критериев и доверительных интервалов и др. Эти методы обработки подробно рассматриваются в работах [6, 15, 34 и др.].

После разработки методики эксперимента определяются **объем и трудоемкость** экспериментального исследования. Они зависят от глубины теоретических разработок и характеристик принятых средств измерения (точность, надежность, быстродействие и т.д.). Чем четче сформулирована теоретическая часть исследования, тем меньше объем и трудоемкость эксперимента [32].

Естественно, объем и трудоемкость существенно зависят от вида эксперимента. Полевые испытания, как правило, имеют большую трудоемкость. "

4.1.3. Проведение эксперимента

Эксперимент — это важнейший и наиболее трудоемкий этап научного исследования.

Экспериментальные работы проводятся в соответствии с утвержденными планом-программой и методикой эксперимента. Приступая к эксперименту, окончательно уточняют методику и последовательность проведения испытаний.

В процессе проведения экспериментальных исследований необходимо соблюдать ряд основных правил:

— экспериментатор должен **добросовестно фиксировать** все характеристики исследуемого процесса или параметры объекта, не допуская субъективного влияния на результаты измерений;

— недопустима **небрежность** экспериментатора, которая часто приводит к большим искажениям и ошибкам и, как следствие, к повтору экспериментов;

— экспериментатор должен **обязательно вести журнал** наблюдений и измерений, заполняя его аккуратно и без каких-либо исправлений;

— в процессе эксперимента исполнитель должен **непрерывно следить** за работой средств измерений и правильностью их показаний, устойчивостью работы установок, оборудования, стендов и т.д., характеристиками окружающей среды, и **не допускать** посторонних лиц в рабочую зону;

— экспериментатор должен **систематически проводить** рабочую поверку средств измерений, контролируя их точность;

— одновременно с производством измерений исполнитель должен **проводить** предварительную обработку результатов и их

анализ. Это позволяет контролировать исследуемый процесс, корректировать эксперимент, улучшать методику и повышать эффективность эксперимента;

— экспериментатор должен соблюдать требования инструкций по технике безопасности, промышленной санитарии и пожарной профилактике.

Все вышеизложенные правила особенно тщательно нужно соблюдать при выполнении производственных экспериментов.

Резюме. Одним из основных способов получения научных данных является экспериментальное исследование. Эксперименты подразделяются на естественные и искусственные, лабораторные и производственные. Основой методологии любых экспериментальных исследований являются план-программа, методика и правила проведения эксперимента.

4.2. Методы обработки и анализ результатов эксперимента

4.2.1. Методы графического изображения результатов измерений

Графическое изображение дает наглядное представление о результатах эксперимента, позволяет лучше понять физическую сущность исследуемого процесса, выявить характер функциональной зависимости и установить на ней минимум или максимум.

Для графического изображения результатов измерения (или наблюдения) часто используют **прямоугольную систему координат**. По оси X наносят значения фактора x_1, x_2, \dots, x_n , а по оси Y — соответствующие им значения выходного параметра процесса y_1, y_2, \dots, y_n (рис. 4.01).

Если точки $x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n$ соединить отрезками, то получится ломаная кривая 1, характеризующая изменение функции $y=f(x)$ по данным эксперимента. Эту ломаную кривую аппроксимируют **плавной кривой 2**, которая проходит близко ко всем экспериментальным точкам.

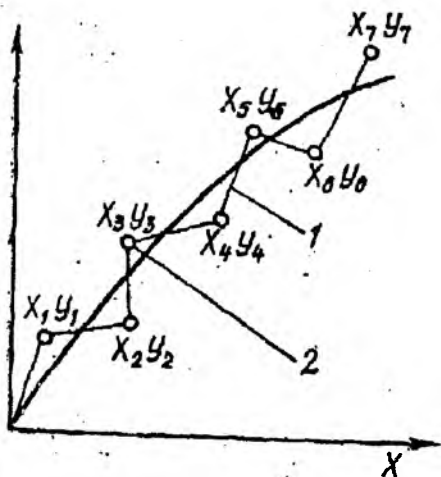


Рис. 4.01. Графическое изображение зависимости $y=f(x)$: 1 — кривая по результатам непосредственных измерений; 2 — аппроксимирующая плавная кривая

Иногда на графике 1 ... 2 точки резко удаляются от кривой. В этом случае сначала нужно проанализировать физическую сущность явления. Если нет основания для такого резкого скачка функции $y=f(x)$, то отклонение можно объяснить грубой ошибкой или промахом.

На графическое изображение экспериментальной функции $y=f(x)$ существенно влияет выбор **координатных сеток**. Они могут быть равномерными и неравномерными. У **равномерных координатных сеток** ординаты и абсциссы имеют равномерную шкалу.

Из неравномерных координатных сеток наибольшее распространение получили полулогарифмические (рис. 4.02., а), логарифмические (рис. 4.02., б), вероятностные. Их применение объясняется различными причинами. Так, полулогарифмические и логарифмические координатные сетки используются, как правило, при больших интервалах изменения факторов и (или) выходных параметров. Кроме того, они спрямляют многие криволинейные функции.

При вычерчивании графиков нужно руководствоваться следующими практическими соображениями:

— необходимо правильно выбрать координатную сетку и масштаб графика. Чем крупнее масштаб, тем выше точность

снимаемых с графика значений. Однако графики, как правило, не должны превышать размеры 200x150 мм;

— масштаб по координатным осям нужно выбрать таким, чтобы график не получился узким или широким;

— график целесообразно вычерчивать на миллиметровой бумаге.

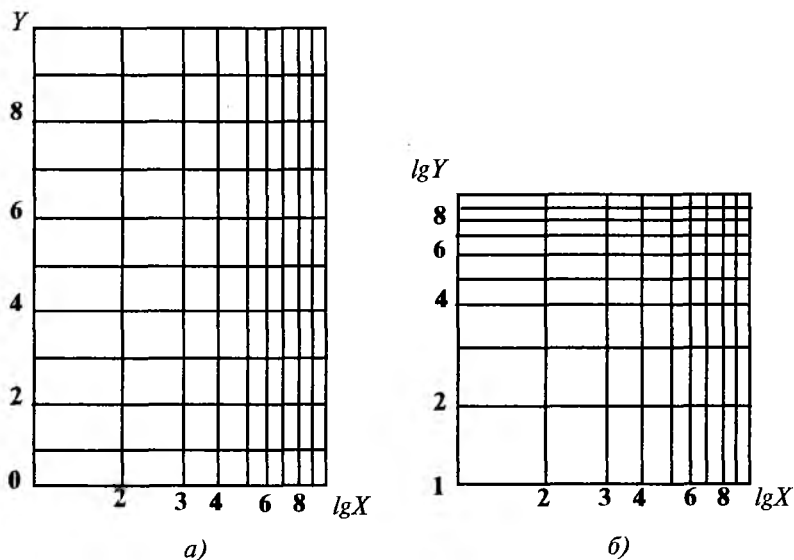


Рис. 4.02. Координатная полулогарифмическая (а) и логарифмическая (б) сетки

4.2.2. Методы подбора эмпирических формул

Эмпирические формулы являются приближенными выражениями аналитических формул.

Алгебраические выражения, подобранные на основе экспериментальных данных, называются **эмпирическими формулами**. Они подбираются в пределах заданных значений фактора (от x_1 до x_n) и измеренных значений выходного параметра (от y_1 до y_n). Эти формулы по возможности должны быть наиболее простыми и с большой точностью соответствовать экспериментальным данным в указанных пределах изменения фактора.

Процесс подбора эмпирических формул осуществляется в два этапа. На *первом этапе* на сетку прямоугольной системы координат наносят в виде точек результаты измерений, между

которыми проводят аппроксимирующую кривую (см. рис. 4.01). Затем ориентировочно выбирают тип формулы. На **втором этапе** вычисляют параметры, которые наилучшим образом соответствовали бы принятой формуле.

При подборе эмпирических формул начинают с самых простых выражений. Таким выражением является линейное уравнение типа

$$y=a+bx, \quad (4.01)$$

где a и b — постоянные параметры. Их значения определяются из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} y_1 &= a + bx_1 \\ y_n &= a + bx_n, \end{aligned} \quad (4.02)$$

где x_1, y_1 и x_n, y_n — координаты крайних точек аппроксимирующей прямой.

В случае криволинейных экспериментальных графиков выбирают аппроксимирующие формулы типа $y=ax^b$, $y=ax^b+c$, $y=ae^{bx}$, $y=ae^{bx}+c$. Формы кривых, соответствующие этим формулам, и методика определения параметров приводятся в работе [32].

4.2.3. Анализ результатов теоретико-экспериментальных исследований, формулирование выводов и предложений

Основная цель совместного анализа теоретических и экспериментальных исследований — это сопоставление выдвинутой рабочей гипотезы с результатами эксперимента.

При сопоставлении теоретических (в соответствии с рабочей гипотезой) и экспериментальных данных используются различные критерии. Например, минимальные, средние и максимальные отклонения экспериментальных результатов от данных, полученных расчетом на основе теоретической зависимости. Однако наиболее достоверными считаются **критерии адекватности (соответствия)** теоретических зависимостей экспериментальным [32].

В результате сопоставления рабочей гипотезы с данными эксперимента возможны следующие случаи:

1. Рабочая гипотеза полностью или почти полностью подтверждается экспериментом. В этом случае рабочая гипотеза становится доказанным теоретическим положением, теорией.

2. Рабочая гипотеза лишь частично подтверждается экспериментом, а в остальном противоречит ему. В данном случае рабочую гипотезу модифицируют, чтобы она полностью или почти полностью соответствовала результатам эксперимента. С целью подтверждения изменения рабочей гипотезы проводятся корректировочные эксперименты. После этого гипотеза, как и в первом случае, превращается в теорию.

3. Рабочая гипотеза не подтверждается экспериментом. В этом случае полностью пересматривают ранее принятую гипотезу, т. е. разрабатывают новую, в соответствии с которой ставится новый эксперимент. Что касается отрицательных научных результатов, то они помогают сузить поле поиска новой гипотезы.

После признания гипотезы теоретическим положением формулируют выводы и (или) предложения, т. е. выделяют новое и существенное, полученное в результате исследований. Число основных выводов не должно превышать 5...10. Наряду с основными выводами отдельно можно сделать другие выводы (как бы второго уровня).

Все выводы подразделяются на две группы: научные и производственные. В научных выводах показывается новый вклад, который внесен в науку в результате выполненных исследований. Производственные выводы связаны с пользой, которую дают (или дадут) проведенные исследования в сфере экономики.

Резюме. *Графическое изображение результатов эксперимента позволяет лучше понять физическую сущность исследуемого процесса. Это изображение является основой для подбора эмпирических формул. Сравнивая теоретические и экспериментальные данные, определяют насколько рабочая гипотеза подтверждается экспериментом.*

4.3. Вычислительный эксперимент

Основой вычислительного эксперимента является математическое моделирование, теоретической базой — прикладная математика, а технической — компьютеры.

Вычислительный эксперимент используется как средство для решения сложных прикладных задач в различных отраслях

науки и техники. Несмотря на разнообразие решаемых задач для вычислительного эксперимента характерен общий *технологический цикл*, который условно подразделяется на ряд этапов.

На первом этапе создается *математическая модель* исследуемого объекта, как правило, в виде дифференциальных или интегродифференциальных уравнений. Конструирование математической модели осуществляется чаще всего специалистами той или иной предметной области (физиками, химиками, биологами, медиками, экономистами и т.д.) в тесном сотрудничестве с математиками. Математики оценивают возможность решения возникшей математической задачи и проводят предварительное исследование модели: правильно ли поставлена задача, имеет ли она решение, единственно ли оно и т.д.

На втором этапе разрабатывается метод расчета сформулированной математической задачи или, как говорят, *вычислительный алгоритм*. Он представляет собой совокупность цепочек алгебраических формул, по которым ведутся вычисления, и логических условий, устанавливающих последовательность применения этих формул.

Следует отметить, что для решения одной и той же математической задачи можно разработать множество вычислительных алгоритмов — хороших и плохих. Поэтому возникает необходимость в разработке рационального вычислительного алгоритма, для чего используется *теория численных методов*.

На третьем этапе создается *программа* реализации разработанного вычислительного алгоритма на компьютерах.

Четвертый этап связан с *реализацией* вычислительного эксперимента. Компьютер в процессе расчета может выдать любую информацию, которая интересует исследователя. Естественно, точность этой информации определяется достоверностью математической модели. Поэтому в серьезных прикладных исследованиях никогда сразу не начинают проводить полномасштабные расчеты по только что составленной программе. Им всегда предшествует период проведения *тестовых расчетов*, необходимых для “отладки” программы.

При проведении предварительных расчетов тестируется также сама математическая модель — выясняется насколько хорошо она описывает изучаемый объект, процесс или явление, в какой степени адекватна реальности. Для этого проводится “обсчет” некоторых контрольных экспериментов, по которым имеются достаточно надежные измерения. Сопоставляя

результаты эксперимента и результаты расчета, уточняют математическую модель.

На пятом этапе вычислительного эксперимента осуществляется *обработка результатов расчета на компьютерах, проводится их всесторонний анализ и делаются выводы*. При этом выводы могут быть двух типов: или устанавливается необходимость уточнения математической модели, или полученные результаты, пройдя проверку по различным критериям, становятся научными достижениями и передаются заказчику. На практике чаще всего имеют место те и другие выводы.

Рассмотренная схема технологического цикла вычислительного эксперимента представлена на рис 4.03.

Решение прикладных задач на компьютерах — сложный научно-производственный процесс и, чтобы им овладеть и уметь управлять, необходимо его изучать [12].

Вычислительный эксперимент применяется при решении различных прикладных задач во многих отраслях науки и техники.

В ядерной энергетике прогнозируется работа реакторов на основе детального моделирования происходящих в них физических процессов. Причем вычислительный эксперимент тесно сопрягается с натурным, что ускоряет и удешевляет весь исследовательский цикл.

В космической технике рассчитываются траектории летательных аппаратов, задачи обтекания, обрабатываются радиолокационные данные, изображения со спутников и т.д.

В экологии решаются вопросы прогнозирования и управления экологическими системами.

В химии рассчитываются химические реакции, определяют их константы, исследуются химические процессы на макро — и микроуровне с целью их интенсификации и т.д.

В технике рассчитываются процессы получения кристаллов и пленок, технологические процессы создания материалов с заданными свойствами и т.д.

Классической областью применения вычислительного эксперимента является **физика**, например, при изучении сильно нелинейных процессов в микромире.

Указанные и другие примеры применения вычислительного эксперимента говорят об эффективности методологии нового современного подхода к теоретическому анализу прикладных проблем.



Рис 4.03. Схема технологического цикла вычислительного эксперимента

Резюме. *Вычислительный эксперимент широко применяется в различных отраслях науки и технике при решении сложных прикладных задач. Основой вычислительного эксперимента является математическое моделирование, теоретической базой – прикладная математика, а технической – Компьютер. Независимо от разнообразия решаемых задач для вычислительного эксперимента характерен общий технологический цикл, включающий пять этапов: создание математической модели; разработка вычислительного алгоритма; программирование; расчет на компьютер; обработка результатов расчета, анализ и выводы.*

Вопросы и задания для самоконтроля

1. *Какие виды экспериментальных исследований Вы знаете?*
2. *В чем заключается методология проведения эксперимента?*
3. *Что предусматривает план-программа эксперимента?*
4. *В чем заключается методика эксперимента?*
5. *Как осуществляется подбор эмпирических формул?*
6. *В чем заключается анализ результатов теоретико-экспериментальных исследований?*
7. *Что такое вычислительный эксперимент?*
8. *Объясните технологический цикл проведения вычислительного эксперимента.*
9. *Приведите примеры отраслей науки и техники эффективного применения вычислительного эксперимента.*

ГЛАВА 5. ОФОРМЛЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Оформление отчётов о научно-исследовательских работах

Общие требования, структура и правила оформления отчётов о научно-исследовательских работах (НИР) установлены общепринятыми стандартами.

К отчётам НИР предъявляются следующие требования:

- *чёткость построения;*
- *логическая последовательность изложения материалов;*
- *убедительность аргументации;*
- *краткость и точность формулировок;*
- *конкретность изложения результатов работы;*
- *доказательность выводов и обоснованность рекомендаций.*

Общие требования и правила оформления отчетов приведены в ГОСТ 7.32–91 «Отчет о научно-исследовательской работе».

Отчёт о НИР должен включать:

- *титульный лист;*
- *список исполнителей с кратким содержанием выполненных работ;*
- *реферат;*
- *содержание (оглавление);*
- *перечень сокращений, символов и специальных терминов с их определениями в случае необходимости;*
- *основную часть;*
- *список литературы;*
- *приложения.*

Реферат должен отражать основное содержание проведенной НИР, где должны быть сведения об объеме отчёта, количестве и характере иллюстраций и количестве таблиц, о языке, на котором написан отчёт; перечень ключевых слов и текст реферата.

Текст реферата включает:

- *основную часть, отражающую сущность выполненной работы и методы исследования;*

— конкретные сведения, раскрывающие содержание основной части реферата;

— краткие выводы относительно особенностей, эффективности, возможности и области применения полученных результатов.

Оптимальный объем реферата 1100...1200 печатных знаков.

Основная часть отчёта включает разделы:

— введение;

— аналитический обзор (состояние вопроса);

— обоснование выбранного направления работы;

— разделы отчёта, отражающие методику, содержание и результаты выполненной работы;

— заключение (выводы и предложения).

Введение должно кратко характеризовать современное состояние научно-технической проблемы (задачи), которой посвящена работа, а также цель работы.

Во введении необходимо сформулировать, в чем заключается **новизна** и **актуальность** описываемой работы, и обосновать по существу необходимость ее проведения.

В аналитическом обзоре должны быть изложены известные в литературе сведения о методике и средствах решения поставленной задачи, возможные пути новых решений задач, стоящих перед НИР. Обоснование выбранного направления работы основывается на его преимуществах по сравнению с другими возможными направлениями. Выбранное направление НИР и рабочая гипотеза должны опираться на рекомендации, содержащиеся в аналитическом обзоре, с учётом конкретных условий проведения НИР. Обоснование выбранного направления НИР не следует подменять обоснованием целесообразности (или необходимости) самой работы. Выбор направления НИР не должен обосновываться соответствующими заданиями.

Разделы отчёта, отражающие методику, содержание и результаты выполненной работы, должны излагаться подробно и последовательно со всеми промежуточными и окончательными результатами, в том числе и отрицательными.

Методика исследования должна содержать обоснование выбора методологии проведения исследований, используемых либо разрабатываемых технических средств, математического либо другого метода обработки результатов исследований со ссылкой на соответствующие источники документальной информации.

В разделе содержание и результаты выполненной работы должны: указываться цель; описываться программа конкрет-

ных экспериментов, их сущность; оцениваться точность и достоверность полученных данных и сопоставляться с теоретическими данными. Отсутствие такого сопоставления следует обосновывать. Необходима трактовка полученных результатов и описание их возможного применения.

В приложение следует включать вспомогательный материал, который при включении в основную часть загромождает текст. К таким материалам относятся:

- *промежуточные математические выкладки и расчёты;*
- *таблица вспомогательных цифровых данных;*
- *протоколы и акты испытаний;*
- *описания аппаратуры и приборов, примененных при проведении экспериментов, измерений и испытаний;*
- *инструкции, методики, описания частных технических решений, иллюстрации вспомогательного характера и т.п.*

Текстовая часть, иллюстрации, таблицы и формулы оформляются в соответствии с нормативными требованиями к правилам оформления отчёта о научно-исследовательской работе.

Количество иллюстраций, помещаемых в отчете, определяется его содержанием и должно быть достаточным для того, чтобы придать излагаемому материалу ясность и конкретность. Иллюстрации подготавливаются так, чтобы детали и надписи обеспечивали возможность качественного репродуцирования, либо компьютерного изображения. Для отчетов, подлежащих микрофильмированию, необходимо прикладывать штриховые рисунки и подлинные фотографии. Копии и цветные рисунки не прикладываются.

Все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуются рисунками. Рисунки нумеруются последовательно в пределах каждого раздела арабскими цифрами. Номер рисунка должен состоять из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой, например «рис. 2.01» (первый рисунок второго раздела).

В тексте отчета при ссылке на рисунок следует указывать его точный номер, например «рис. 2.01», «рис. 2.02». Допускаются повторные ссылки на рисунки. При этом следует давать ссылки сокращенным словом «смотри», например «см. рис. 2.01», «см. рис. 3.02».

Рисунки размещаются сразу после ссылки на них в тексте отчета. Рисунки следует размещать так, чтобы их можно было рассматривать без поворота отчета. Если такое размещение не-

возможно, рисунки располагают так, чтобы для их рассмотрения надо было повернуть отчет по часовой стрелке. Не рекомендуется в отчете помещать рисунки, размер которых превышает формат А₄.

Каждый рисунок должен сопровождаться содержательной подписью. Подпись печатают в одну строку с номером рисунка. Надписи на рисунке выполняют шрифтом единообразным по размеру на всех рисунках отчета.

Цифровой материал научных исследований в отчетах помещают в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь содержательный заголовок. Над таблицей помещают слово «таблица» и ее номер. Номер таблицы составляется также как и номер рисунка. Заголовок помещают над словом «таблица». Слово «Таблица» и заголовок начинают с прописной буквы. Заголовки граф таблиц должны начинаться с прописных букв, подзаголовки — со строчных.

В тексте отчета при необходимости помещают формулы. Под формулой даются разъяснения к символам, коэффициентам и др., называемых экспликацией. В экспликации значения символов и числовых коэффициентов должны приводиться непосредственно под формулой в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку экспликации начинают со слова «где». Двосточие после этого слова не ставится.

В конце формулы ставится либо точка, либо запятая. Запятая ставится в том случае, когда приводится экспликация.

Формулы нумеруются в пределах раздела арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой и заключенных в скобки, например: «(1.02)» (вторая формула первого раздела). Номер формулы помещают на правом поле на уровне нижней строки формулы. При ссылке в тексте на формулу необходимо указывать ее точный номер в скобках, например: «в формуле (1.02) ...».

К отчету прилагается список литературы. В список литературы включают все использованные источники.

Сведения о монографиях, статьях, стандартах, изобретениях, тезисах докладов, газетных публикациях, отчетах НИР, депонированных материалах, каталогах и др. материалах оформляются в соответствии с требованиями, опубликованными в Бюллетене ВАК №5 1985.

Резюме. Оформление отчетов о НИР осуществляется в соответствии с общепринятыми стандартами. Отчеты должны включать: титульный лист, список исполнителей с кратким содержанием выполненных ими работ, реферат, оглавление, перечень сокращений, символов и специальных терминов, основную часть, список литературы и приложения. Разделы отчета, отражающие методику, содержание и результаты выполненной работы, должны излагаться подробно и последовательно со всеми промежуточными и окончательными результатами, в том числе и отрицательными.

5.2. Подготовка научных материалов к опубликованию

Публикация научных материалов — одна из форм публичной защиты авторских прав на результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы, выполняемой научным работником, коллективом научного учреждения либо предприятия.

Публикация научных материалов может быть осуществлена либо в открытой печати, либо в закрытой. В открытой печати публикуются работы, не противоречащие определенным требованиям.

Публикация научных материалов может быть осуществлена в виде:

- монографии;
- статьи в периодическом журнале;
- статьи в сборнике трудов ВУЗов, НИИ, международных, отраслевых и других видов конференций;
- тезисов докладов официальных совещаний и конференций;
- статьи в реферативных журналах;
- отчетов по НИР, имеющих госрегистрацию;
- патентов на изобретение и открытие;
- депонированных работ в республиканских научно-технических библиотеках;
- газетных публикаций.

Подготовка научных материалов опубликованию включает в себя следующие этапы:

- изучение требований, предъявляемых издателем, публикующим научные материалы;
- письменное изложение содержания выбранного раздела научной работы;

- проверка содержания статьи на патентную чистоту;
- экспертиза статьи на предмет публикации в открытой печати и отсутствия элементов изобретения, открытия;
- предъявление статьи на внешнюю и внутреннюю рецензию;
- сдача статьи издателю.

Требования к оформлению научных материалов зависят от вида материалов и включает в себя:

- требования к бумаге и её формату;
- размеры полей слева, справа, сверху, снизу;
- нумерацию страниц;
- редактор оформления;
- требования к оформлению таблиц и рисунков;
- шрифт и интервал печати;
- инициалы, фамилию, город, УДК, страну;
- язык изложения;
- требования к аннотации на других языках.

Содержание публикуемого научного материала должно состоять из вводной части, содержания по сути излагаемого научного материала и заключения по излагаемой теме. Если автор использует, либо ссылается на известные научные работы они должны быть отражены в списке литературы.

Автор обязан осуществлять самостоятельную проверку научных материалов на **патентную чистоту** в стадии их подготовки. В проверку на патентную чистоту входит нахождение прототипов и аналогов, определение отличительных признаков.

На каждую публикацию составляется **акт экспертизы** организации, в которой выполнена данная работа, с соответствующим заключением по содержанию и возможности публикации в открытой печати.

На научные материалы, представленные к опубликованию, в отдельных случаях требуются **рецензии**. Рецензия может быть внешняя или внутренняя. Внутренняя рецензия составляется специалистом той организации, в которой выполнялась работа. Внешняя рецензия составляется специалистом сторонней организации.

Следует отметить, что материалы научно-исследовательских работ, которые находятся на стадии разработки, не завершены и не доведены до определённых конкретных выводов либо заключений, не рекомендуются представлять к опубликованию.

Резюме. *Публикация научных материалов — одна из форм публичной защиты авторских прав на результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы, выполненной научным работником, коллективом научного учреждения либо предприятия. Автор (или авторы) обязан осуществлять самостоятельную проверку научных исследований на патентную чистоту в стадии их подготовки к опубликованию.*

Вопросы и задания для самоконтроля

1. *Какие требования предъявляются к отчетам НИР?*
2. *Что должен включать отчет о НИР?*
3. *Что должен включать реферат отчета?*
4. *Как оформляются иллюстративные материалы, таблицы и формулы?*
5. *В каком виде может быть осуществлена публикация научных материалов?*
6. *Какие требования предъявляются к оформлению научных материалов?*

ГЛАВА 6. ВНЕДРЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.1. Внедрение результатов научно-исследовательских работ, критерии их эффективности

Внедрение — это передача в сферу производства или потребления научной продукции, обеспечивающей технико-экономический эффект прямо или косвенно.

Научная продукция передаётся заказчикам или потребителям в форме отчётов, инструкций, методик, временных указаний, технических условий, технического проекта и т. д. Во многих отраслях экономики она используется при создании новой или совершенствовании существующей продукции, обеспечивая её конкурентоспособность. В этом случае процесс внедрения осуществляется в два этапа: первый этап — опытно-производственное внедрение, а второй — серийное.

На первом этапе изготовленные *опытные образцы* конструкций, машин, материалов и т. д. тщательно изучают в производственных условиях при различных запланированных воздействиях, а также при действии случайных природных факторов. Особое внимание уделяют эксплуатационным показателям и затратам, надёжности и долговечности, технологичности изготовления и эксплуатации, себестоимости, экологическим и антропотехническим показателям и т. д.

По результатам опытно-производственных испытаний оформляется пояснительная записка с различными актами, в которых даётся оценка конструктивным, технологическим, эксплуатационным, экономическим, экологическим, эргономическим, санитарно-гигиеническим, противопожарным и другим особенностям опытных образцов. Акты подписываются представителями заказчика и научно-исследовательской организации, выполнившей НИР.

Первый этап внедрения требует больших финансовых затрат вследствие большой трудоёмкости изготовления опытных образцов и продолжительных испытаний, часто требующими доделок и переделок.

После опытно-производственных испытаний образцы новой продукции на **втором этапе** внедряются в серийное производство. Здесь объёмы внедрения определяет заказчик исходя из потребностей рынка покупателя.

Чтобы ускорить внедрение научной продукции научно-исследовательские организации объединяют с проектными. В этом случае всем комплексом работ руководит один центр. В результате сокращаются сроки внедрения, повышается качество и конкурентоспособность продукции. В развитых странах данная проблема решается при помощи **технопарков**. *Технопарк* – это организация (юридическое лицо), имеющая тесную связь с одним или более НИИ, занимающаяся развитием научной и информационной среды, создающая базу производственного освоения научной продукции для её ускоренного продвижения на рынок новых технологий. На начало 90-х годов в мире было создано около 340 технопарков.

Наука является одним из видов общественного производства.

Эффективность научных исследований может быть различной [32]:

— *экономическая эффективность* (рост национального дохода, повышение производительности труда и качества продукции, снижение затрат на научные исследования);

— *социально-экономическая эффективность* (ликвидация тяжелых условий труда, очистка окружающей среды, улучшение санитарно-гигиенических условий и т. д.);

— *укрепление обороноспособности страны;*

— *престиж отечественной науки.*

Для оценки эффективности научных исследований применяются различные **критерии**, характеризующие степень их результативности.

Фундаментальные теоретические исследования трудно оценить *количественными показателями* эффективности. Они, как правило, начинают давать эффект через значительный период времени после начала разработок. Кроме того, их результаты обычно применяются в различных отраслях экономики. Поэтому нелегко определить ожидаемую эффективность. Для таких исследований обычно устанавливают *качественные критерии*: новизна явлений; приоритет отечественной науки; широкое международное признание работ; вклад в обороноспособность страны; монографии и цитируемость их учеными различных стран и др.

Прикладные научные исследования и опытно-конструкторские разработки оцениваются различными *количественными критериями* [32], из которых основным является **экономическая эффективность**. Она зависит от многих факторов: затрат на внедрение, объёма и сроков внедрения и т. д.

Наряду с научными исследованиями оценивается эффективность работы научного сотрудника, группы (или организации).

Эффективность работы научного сотрудника оценивается новизной разработок, числом публикаций, цитируемостью работ и др. **Критерий новизны** — это количество авторских свидетельств и патентов, **критерий цитируемости** — число ссылок на публикации научного сотрудника. Что касается экономической оценки, то она применяется редко.

Эффективность работы научно-исследовательской группы (или организации) оценивается следующими критериями: производительностью труда, количеством внедренных тем, экономической эффективностью от внедрения научной продукции, количеством полученных авторских свидетельств и патентов, количеством проданных лицензий и др.

6.2. Расчет экономической эффективности научных исследований

Эффективность научных исследований — основа стратегии и тактики проведения научного творчества и создания научно-технической продукции (НТП), направленной на благо развития человеческого общества.

Расчет экономической эффективности научных исследований осуществляется в соответствии с этапами их выполнения. В этой связи различают **предварительную, ожидаемую и фактическую экономическую эффективность**.

Предварительная экономическая эффективность определяется при обосновании темы научного исследования и её включении в план работ. В данном случае расчеты ведутся по ориентировочным, укрупненным показателям с учетом прогнозируемого объема внедрения.

Ожидаемая экономическая эффективность рассчитывается в процессе выполнения научных исследований. Её прогнозируют к определенному году внедрения научной продукции в производство. Ожидаемая экономия является более точным критерием, чем предварительная экономия.

Фактическую экономическую эффективность определяют после внедрения научной продукции в производство. Расчет ведется по фактическим затратам на научные исследования и внедрение. При этом фактическая экономия чаще всего несколько ниже ожидаемой. Она является наиболее достоверным критерием экономической эффективности.

Ожидаемую или фактическую экономическую эффективность определяют по следующей формуле

$$\Theta = Z_{ПР2} - Z_{ПР1}, \quad (6.01)$$

где $Z_{ПР1}$ и $Z_{ПР2}$ — **приведенные затраты** соответственно старого (базовый вариант) и нового варианта (на основе результатов научных исследований) единицы продукции.

Приведенные затраты рассчитываются по формуле

$$Z_{ПР} = C + E_H K. \quad (6.02)$$

Здесь C — себестоимость единицы продукции, сум; K — капитальные вложения на создание НТП, сум; E_H — нормативный коэффициент экономической эффективности ($E_H = 0,15$).

Методика расчета экономической эффективности научных исследований приводится в работе [32].

Резюме. *Внедрение законченных научных исследований в производство является завершающим этапом НИР. Для ускорения процесса внедрения научно-исследовательские организации объединяются с проектными, образуя технопарки, технополисы. Основным критерием оценки внедрения результатов научных исследований является фактическая экономическая эффективность.*

Вопросы и задания для самоконтроля

1. *Что понимается под внедрением научной продукции?*
2. *Какие этапы внедрения Вы знаете?*
3. *Что такое технопарки и технополисы, для чего они создаются?*
4. *Какими критериями оцениваются фундаментальные теоретические и научные прикладные исследования, ОКР?*
5. *Какие виды экономической эффективности научных исследований Вы знаете?*
6. *Как определяется ожидаемая и фактическая экономическая эффективность научных исследований?*

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ НАУКИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

Абстракция — 1) *мысленное отвлечение* от ряда свойств предметов и отношений между ними; 2) отвлеченное понятие, образуемое в результате *отвлечения* в процессе познания от несущественных сторон рассматриваемого явления с целью выделения свойств, раскрывающих его сущность.

Агностицизм — философское учение, отрицающее познаваемость объективного мира и объективное значение истины, ограничивающее роль науки познанием лишь явлений, считая невозможным познание сущности предметов и закономерностей развития природных и социальных процессов.

Адекватный — равный, тождественный, вполне соответствующий.

Академизм — чисто теоретическая направленность в научной и учебной деятельности.

Аксиома — 1) отправное, исходное положение какой-либо теории, лежащее в основе доказательств других положений этой теории, в пределах которой оно (исходное положение) принимается без доказательства; 2) бесспорная истина, не требующая доказательств.

Актуальный — важный, существенный для настоящего времени.

Алгоритм — 1) система операций, применяемых по строго определенным правилам, которая после последовательного их выполнения приводит к решению поставленной задачи; 2) предписание, определяющее содержание и последовательность операций, переводящих исходные данные в искомый результат.

Альтернатива — необходимость выбора между взаимоисключающими возможностями.

Анализ — 1) метод научного исследования, состоящий в мысленном или фактическом разложении целого на составные части; 2) разбор, рассмотрение чего-либо.

Аналог — нечто, представляющее соответствие другому предмету, явлению или понятию.

Аналогичный — сходный, соответственный.

Априори — независимо от опыта, до опыта.

Апробация — одобрение, утверждение, основанное на проверке, испытании.

Аргумент — 1) логический довод, служащий основанием доказательства; 2) независимая переменная величина, от изменения которой зависит изменение другой величины, называемой функцией.

Артефакт — 1) искусственный материальный комплекс (например техническое средство) вместе с признаками его действия; 2) биологические образования или процессы, возникающие иногда при исследовании биологического объекта вследствие воздействия на него самих условий исследования.

Бакалавр — первая ученая степень высшего образования.

Библиография — 1) отрасль научной и практической деятельности, задачей которой является учёт печатной и рукописной продукции и информация о ней; 2) полный или выборочный список литературы по теме.

Биосфера — область распространения жизни на земле, состав, структура и энергетика которой определяются главным образом прошлой или современной деятельностью живых организмов.

Верификация — проверка истинности теоретических положений, установление достоверности опытным путём.

Гипотеза — научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления и требующее проверки на опыте и теоретического обоснования для того, чтобы стать достоверной научной теорией.

Гносеология — теория познания, раздел философии, изучающий источники, формы и методы научного познания, условия его истинности, способности человека познавать действительность.

Дедукция — логическое умозаключение от общих суждений к частным или другим общим выводам.

Диссертация — научная работа, исследование, представляемое на соискание ученой степени и публично защищаемое соискателем.

Идея — 1) мысль, общее понятие о предмете или явлении; продукт человеческого мышления, отражающего материальный мир; 2) определяющее понятие, лежащее в основе теоретической системы, логического построения; 3) мысль, замысел.

Иерархия — расположение частей или элементов целого в порядке от высшего к низшему.

Имитация — подражание кому- чему-либо, воспроизведение.

Индукция — логическое умозаключение от частных, единичных случаев к общему выводу, от отдельных фактов к обобщениям.

Информация — 1) сообщение о чем-либо; 2) сведения, являющиеся объектом хранения, переработки и передачи.

Категория — 1) общее понятие, отражающее наиболее существенные свойства и отношения предметов, явлений объективного мира (материя, время, пространство, причинность, движение, качество, количество и т.д.); 2) разряд, группа предметов, явлений, лиц, объединенных общностью каких-либо признаков.

Кибернетика — наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе.

Кинематика — раздел механики, рассматривающий движение тел только с геометрической стороны, без учёта их массы и физических причин (сил), вызывающих это движение.

Класс — совокупность, разряд, группа предметов или явлений, обладающих общими признаками.

Классификатор — системный перечень каких-либо объектов, позволяющий находить каждому из них своё место и определенное обозначение.

Классифицирование — распределение тех или иных объектов по классам в зависимости от их общих признаков, фиксирующее закономерные связи между классами объектов в единой системе данной отрасли знаний.

Ключевое слово — слово или словосочетание, наиболее полно и специфично характеризующее содержание научного документа или его части.

Комплекс — совокупность, сочетание предметов, действий, явлений или свойств, составляющих одно целое.

Конструкция — 1) строение, устройство, взаимное расположение частей какого-либо предмета, машины, прибора, сооружения и т. п., определяющееся его назначением; 2) сооружение или его часть, характеризующиеся каким-либо признаком.

Концепция — система взглядов, то или иное понимание явлений, процессов.

Конъюнктура — 1) совокупность условий в их взаимосвязи, сложившаяся обстановка, положение вещей в какой-либо области; 2) совокупность признаков, характеризующих текущее состояние экономики в определённый период.

Критерий — признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо; мерило.

Магистр — вторая академическая степень высшего образования, присуждаемая лицам, окончившим университет или приравненное к нему высшее учебное заведение и имеющим степень бакалавра.

Магистрант — лицо, выдержавшее экзамен на степень магистра, но не защитившее ещё диссертации.

Машина — механизм или сочетание механизмов, осуществляющие определенные целесообразные движения для преобразования энергии, изменения формы, свойств, состояния или положения предмета труда, сбора, передачи, хранения, обработки и использования информации.

Метод — 1) способ познания, исследования явлений природы и общественной жизни; 2) прием, способ или образ действия.

Методика — совокупность методов, приемов целесообразного проведения какой-либо работы.

Методология — 1) учение о научном методе познания; 2) совокупность методов, применяемых в какой-либо науке.

Механика — наука, изучающая перемещения в пространстве и равновесие материальных тел под действием сил.

Модель — 1) образец какого-либо изделия для серийного производства; 2) воспроизведение предмета в уменьшенном виде; 3) схема, изображение или описание какого-либо явления или процесса в природе и обществе.

Моделирование — исследование объектов познания на их моделях; построение моделей реально существующих предметов и явлений.

Наблюдение — метод познания, при котором объект изучают без вмешательства в него.

Наука — сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности.

Нормализация — 1) установление нормы, образца; 2) приведение к норме, к нормальному состоянию.

Обзор — научный документ, содержащий систематизированные научные данные по какой-либо теме, полученные в итоге анализа первоисточников.

Объект — 1) существующий вне нас и независимо от нашего сознания внепный мир, являющийся предметом познания, практического воздействия субъекта; 2) предмет, явление, на который направлена какая-либо деятельность.

Объективный — существующий вне и независимо от сознания.

Оптимальный — наиболее благоприятный, наилучший.

Оптимизация — нахождение наибольшего или наименьшего значения какой-либо функции или выбор наилучшего варианта из множества возможных.

Парадокс — 1) мнение, суждение, резко расходящееся с общепринятым, противоречащее здравому смыслу; 2) неожиданное явление, не соответствующее обычным представлениям.

Принцип — 1) основное, исходное положение какой-либо теории, учения и т.д.; руководящая идея, основное правило деятельности; 2) основа устройства, действия какого-либо механизма, прибора, установки.

Продукт — вещественный или нематериальный результат человеческого труда.

Проект — 1) технические документы-чертежи, расчеты, макеты вновь создаваемых зданий, сооружений, машин, приборов и т.п.; 2) план, замысел.

Процесс — 1) ход какого-либо явления, последовательная смена состояний, стадий развития и т.д.; 2) совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата.

Публикация — 1) доведение до всеобщего сведения посредством печати, радиовещания или телевидения; 2) печатание в различных изданиях какой-либо работы, работ; 3) текст, опубликованный в каком-либо издании.

Публичный — открытый, гласный.

Рациональный — разумно обоснованный, целесообразный.

Синтез — метод научного исследования какого-либо предмета, явления, состоящий в познании его как единого целого, в единстве и взаимной связи его частей; соединение, обобщение.

Система — 1) множество закономерно связанных друг с другом элементов (предметов, явлений, взглядов, знаний и т.д.); 2) порядок, обусловленный планомерным, правильным

расположением частей в определенной связи, строгой последовательностью действий.

Систематический — 1) построенный по определенному плану, образующий какую-либо систему; 2) строго последовательный, стройный; 3) постоянно повторяющийся.

Системотехника — научно-техническая дисциплина, изучающая проблемы анализа и синтеза сложных систем.

Совокупность — множество элементов, сгруппированных с учетом поставленной цели.

Структура — взаиморасположение и связь составных частей чего-либо, строение.

Субстанция — первооснова, сущность всех вещей и явлений.

Субъект — 1) человек, познающий внешний мир (объект) и воздействующий на него в своей практической деятельности; 2) носитель прав и обязанностей (физическое или юридическое лицо).

Субъективный — 1) свойственный только данному лицу, субъекту, личный; 2) односторонний, лишенный объективности; пристрастный, предвзятый.

Схема — 1) чертеж, изображающий систему, устройство или взаиморасположение, связь частей чего-либо; 2) изображение или описание в общих, основных чертах; предварительный набросок, наметка, план; 3) абстрактное, упрощенное изображение чего-либо, общая готовая формула.

Тавтология — повторение того же самого другими словами.

Таксономия — теория классификации и систематизации сложноорганизованных областей действительности, имеющих обычно иерархическое строение.

Тезис — кратко сформулированные основные положения доклада, лекции, сообщения и т.п.

Тема — предмет изложения, изображения, исследования, обсуждения.

Тематика — совокупность, круг тем.

Тенденция — 1) направленность во взглядах или действиях; 2) направление, в котором совершается развитие какого-либо явления.

Теория — 1) обобщение опыта, общественной практики, отражающее объективные закономерности развития природы и общества; 2) совокупность обобщенных положений, образующих какую-либо науку или раздел её.

Термин — слово или сочетание слов, точно обозначающее определенное понятие, применяемое в науке, технике, искусстве.

Терминология — совокупность терминов, употребляемых в какой-либо области науки, техники, искусства и т.д..

Тест — 1) задания стандартной формы, по которым проводятся испытания для определения умственного развития, способностей, волевых качеств и других психофизиологических характеристик человека; вопросник, используемый для конкретных социологических исследований.

Технология — 1) совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката в процессе производства; 2) наука о способах воздействия на сырьё, материалы или полуфабрикаты соответствующими орудиями производства.

Тип — образец, модель для группы предметов, форма чего-либо.

Типизация — отбор или разработка типовых конструкций или производственных процессов на основе общих для ряда изделий или процессов технических характеристик.

Трактат — научное сочинение в форме рассуждения, ставящего своей целью определить подход к предмету.

Унификация — приведение чего-либо к единой системе, форме, к единообразию.

Факт — 1) действительное, невымышленное происшествие, событие, явление; твердо установленное знание, данное в опыте, служащее для какого-либо заключения, вывода, являющееся проверкой какого-либо предположения; 2) действительность, реальность, то, что существует объективно.

Фактор — движущая сила, причина какого-либо процесса, явления; существенное обстоятельство в каком-либо процессе, явлении.

Формула — точное общее определение какого-либо правила, отношения, закона и т.п., приложимое в определенных условиях ко всем частным случаям.

Формулировать — кратко и точно выражать какую-либо мысль, решение.

Фундаментальный — основательный, глубокий.

Характеристика — описание, определение отличительных свойств, качеств, черт кого-либо, чего-либо.

Эвристика — 1) система обучения путем наводящих вопросов; 2) совокупность логических приемов и методических правил теоретического исследования и отыскания истины.

Экзамен — проверка знаний, умения, силы и т.д..

Эксперимент — научно поставленный опыт, наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и многократно воспроизводить его при повторении этих условий.

Экспертиза — исследование какого-либо вопроса, требующего специальных знаний с представлением мотивированного заключения.

Экстраполяция — метод научного исследования, заключающийся в распространении выводов, полученных из наблюдения над одной частью явления, на другую часть его.

Элемент — составная часть чего-либо.

Эмпирический — основанный на опыте.

Энциклопедия — научное справочное издание, содержащее свод знаний по всем или отдельным отраслям знаний.

Эрудиция — глубокие познания в какой-либо области знания или во многих областях; начитанность.

Эффект — действие, результат чего-либо.

Эффективный — дающий определенный эффект

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Box G.E.P, Wilson K.B. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. — J. Roy. Statist. Soc., Ser. B, 1951, 13, №1,1.
2. Fisher R.A. The Design of Experiments. London, Oliver and Boyd, 1960, (1ed. — 1935).
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1970.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. — М.: Знание, 1976.
5. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования. — М.: Высшая школа, 1984.
6. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. — М.: Наука, 1970.
7. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход. — М.: Мир, 1981.
8. Добров Г.М., Коренной А.А. Наука: информация и управление. — М., "Сов. радио", 1977.
9. Закин Я.Х., Рашидов Н.Р. Основы научного исследования. — Ташкент, "Укитувчи", 1981.
10. Ивченко Г.И., Каптанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. — М.: Высшая школа, 1982.
11. Кирилов В.В., Моисеев В.С. Аналоговое моделирование динамических систем. — Л.: Машиностроение, 1977.
12. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Под ред. А.А. Самарского. — М.: Наука, 1988.
13. Корн Г.К., Корн Т.К. Справочник по математике. — М.: Наука, 1977.
14. Кулаковский А.И. и др. Основы моделирования на аналоговых вычислительных машинах. — М.: Машиностроение, 1971.

15. Маркин Н.С. Основы теории обработки результатов эксперимента. — М.: Изд. стандартов, 1991.
16. Математическая теория планирования эксперимента. Под ред. С.М. Ермакова. — М.: Наука, 1983.
17. Математические методы планирования эксперимента. Под ред. В.В. Пененко. — Новосибирск: Наука, 1981.
18. Методические указания по написанию, оформлению и подготовке к защите магистерской диссертации. — Ташкент: "Молия", 1999.
19. Налимов В.В. Теория эксперимента. — М.: Наука, 1971.
20. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. — М.: Наука, 1980.
21. Перегудов Л.В. Основы теории синтеза структуры компоновок агрегатных станков. Дисс. На соиск. Ученной степени докт. техн. наук. — Ташкент, 1989.
22. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — М.: Высшая школа, 1989.
23. Петров А.В. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах. — М.: Высшая школа, 1975.
24. Попов В.С. Электрические измерения. — М.: Энергия, 1974.
25. Прагер И.Л. Электронные аналоговые вычислительные машины. — М.: Машиностроение, 1971.
26. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Наука, 1979.
27. Рачков П.А. Науковедение. — М.: Изд МГУ, 1974.
28. Рузавин Г.И. Методология научного творчества. — М.: ЮНИТИ, 1999.
29. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. — М.: Наука, 1971.
30. Самарский А.А. Что такое вычислительный эксперимент? Что такое прикладная математика? — М.: Знание, 1980.
31. Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики. — М.: Наука, 1982.
32. Сиденко В.М., Грушко И.М. Основы научных исследований. — Харьков, "Вища школа", 1977.
33. Словарь иностранных слов. — М.: "Русский язык", 1988.

34. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. — М.: Наука, 1969.

35. Тюрин Н.И. Введение в метрологию. — М.: Изд. стандартов, 1973.

36. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. — М.: Наука, 1990.

37. Швырев В.С. Научное познание как деятельность. — М.: 1984.

38. Электрические измерения неэлектрических величин. Под ред. П.В. Новицкого. — Л.: Энергия, 1975.

39. Яблонский А.А., Норейко С.С. Курс теории колебаний. — М.: Высшая школа, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	3
ГЛАВА 1. НАУКА И ТВОРЧЕСТВО	
1.1. Основные определения и понятия. Методы научных исследований.	5
1.2. Классификация и основные этапы научных исследований. .	10
1.3. Выбор и оценка тем научных исследований.	14
1.4. Анализ научно-технической информации, формулирование цели и задач научных исследований.	16
1.4.1. Научно-техническая информация и ее поиск.	16
1.4.2. Изучение и анализ научно-технической информации, формулирование цели и задач научных исследований.	20
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
2.1. Математическое моделирование в научном исследовании. ..	24
2.1.1. Основы и задачи математического моделирования.	24
2.1.2. Классификация математических моделей.	29
2.1.3. Методика получения математических моделей.	32
2.2. Модели объектов исследований.	33
2.2.1. Топологические математические модели.	33
2.2.2. Топологические модели в виде матриц.	37
2.2.3. Имитационные математические модели динамических систем.	42
2.2.4. Имитационные математические модели массового обслуживания.	47
2.2.5. Модели систем.	56
2.3. Методология исследования систем.	60
2.3.1. Анализ и синтез в системных исследованиях.	60
2.3.2. Модели систем как основа декомпозиции. Алгоритм декомпозиции.	62
2.3.3. Агрегатирование и эмерджентность системы.	67

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Кибернетическая модель технического объекта	72
3.2. Основные понятия и модели при планировании эксперимента.	74
3.3. Выбор уровней факторов при планировании эксперимента. .	77
3.4. Полный факторный эксперимент. Получение математической модели.	78
3.5. Обработка результатов эксперимента.	82
3.6. Дробный факторный эксперимент. Крутое восхождение по поверхности отклика.	84

ГЛАВА 4. МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Основы экспериментальных исследований.	88
4.1.1. Виды экспериментальных исследований.	88
4.1.2. Разработка плана-программы эксперимента.	89
4.1.3. Проведение эксперимента.	91
4.2. Методы обработки и анализ результатов эксперимента.	92
4.2.1. Методы графического изображения результатов измерений.	92
4.2.2. Методика подбора эмпирических формул.	94
4.2.3. Анализ результатов теоретико-экспериментальных исследований, формирование выводов и предложений.	95
4.3. Вычислительный эксперимент.	96

ГЛАВА 5. ОФОРМЛЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Оформление отчетов о научно-исследовательских работах.	100
5.2. Подготовка научных материалов к опубликованию.	104

ГЛАВА 6. ВНЕДРЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.1. Внедрение результатов научно-исследовательских работ, критерии их эффективности.	107
6.2. Расчет экономической эффективности научных исследований.	109
Краткий словарь терминов науки и технического творчества.	111
Список литературы.	119

Л. В. ПЕРЕГУДОВ, М. Х. САИДОВ, Д. Е. АЛИКУЛОВ

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА

Ташкент – Издательство «Молия» – 2002

Редактор	<i>Т. Л. Чернышева</i>
Технический редактор	<i>А. Мойдинов</i>
Компьютерная верстка	<i>Ф. Ф. Караханова</i>

Разрешено в печать 10.01.2002 г. Формат 60x84¹/₁₆. Гарнитура «Times UZ».
Печатный лист 8,0. Издательский лист 7,6. Тираж 1000.
Заказ № 10. Цена договорная.

Издательство «Молия», 700000. Ташкент, ул. Я. Колоса, 16.
Договор №04-02.

Отпечатано в типографии ГКНТ, ГФНТ. г. Ташкент, ул. Алмазар 171.

