

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. Г. Матыс, В. В. Жилинский

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Тексты лекций для студентов специальности
1-48 01 04 «Технология электрохимических производств»**

Минск 2016

УДК 001.891+001.895](075.4)
ББК 73:35.35я73
М33

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры
микро- и наноэлектроники Белорусского государственного
университета информатики и радиоэлектроники *А. Г. Смирнов*;
доктор физико-математических наук, профессор кафедры
«Микро- и нанотехника» Белорусского национального
технического университета *В. В. Хатько*

Матыс, В. Г.

М33 Основы научных исследований и инновационной деятельности : тексты лекций для студентов специальности 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств» / В. Г. Матыс, В. В. Жилинский. – Минск : БГТУ, 2016. – 161 с.

Тексты лекций состоят из семи разделов, которые включают в себя вопросы теории научного познания, информационного поиска, организации теоретических и экспериментальных исследований, статистической обработки данных, элементы теории планирования эксперимента, основы инновационной деятельности. Для закрепления теоретического материала в издании приводятся примеры решения задач статистической обработки и планирования эксперимента.

УДК 001.891+001.895](075.4)
ББК 73:35.35я73

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2016
© Матыс В. Г., Жилинский В. В., 2016



ВВЕДЕНИЕ

Эффективное функционирование современного электрохимического производства невозможно без его систематического технического перевооружения. Последнее в свою очередь базируется на достижениях науки и техники.

При этом элементы научного исследования все в большей мере входят в инженерную деятельность, так как разработка новых технологических процессов, расчет и проектирование оборудования для их реализации и, наконец, внедрение достижений науки в производство требуют постоянного поиска новых идей, проведения исследований работы аппаратов и технологических линий, выбора оптимальных параметров и режимов проведения процессов. Поэтому инженеру-технологу в области электрохимических производств необходимо владеть методикой научного поиска, уметь ставить задачи исследования, знать методы и средства измерения параметров электрохимических систем, обладать навыками проведения эксперимента, обработки, анализа и обобщения результатов исследования, владеть теорией принятия инженерных решений.

Не меньшее значение в современном мире играет инновационная деятельность как в области научных исследований, так и в технологическом производстве. Для успешного функционирования электрохимического производства необходим постоянный поиск, внедрение и адекватная оценка потенциала новых технологий, материалов, новых форм управления производством. Поэтому будущие инженеры-технологи должны обладать новаторскими навыками.

Для усвоения вопросов практической организации научного поиска, анализа и обобщения результатов научного исследования, формирования у выпускника новаторских навыков необходимы познания и информация из различных дисциплин: «Философия» (методология научного познания); «Высшая математика» (теория вероятностей, математическая статистика и численные методы); «Экономическая теория» (основы инновационной деятельности). Учебные пособия по

данным дисциплинам, как правило, довольно объемные, поскольку рассчитаны на последовательное полноценное изучение материала, и студенту будет затруднительно их все использовать.

Данное издание содержит в себе наиболее важные и необходимые темы и вопросы из указанных выше дисциплин, поэтому его использование будет весьма удобным для студента. Кроме того, в текстах лекций приводятся примеры решения задач статистической обработки и планирования эксперимента из области электрохимических производств.

В издании раскрыты характерные черты инновационной деятельности, выделены основные функции, задачи, современные методы и формы управления инновациями.

Представленный в текстах лекций системный подход к управлению инновациями, который заключается в сочетании организационного, экономического, финансового, нормативно-правового регулирования процессов инновационного развития на различных уровнях, позволит студентам приобрести знания в реализации инновационных проектов, распределении ресурсов между фундаментальными, прикладными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками.



1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ И ТВОРЧЕСТВА

План лекции

- 1.1. Понятие о науке. Закономерности и тенденции развития науки.
- 1.2. Элементы теории и структура научного познания.
- 1.3. Научно-техническое творчество.
- 1.4. Классификация научных исследований.
- 1.5. Выбор направления исследований: актуальность, новизна и значимость исследований.
- 1.6. Основные направления фундаментальных и прикладных исследований в области электрохимии.
- 1.7. Научные учреждения. Государственное управление научной деятельностью.

1.1. Понятие о науке. Закономерности и тенденции развития науки

Понятие науки многозначно. С одной стороны, под *наукой* понимают систему понятий о явлениях и законах действительности окружающего мира. С другой стороны, *наукой* называют сферу исследовательской деятельности, направленной на получение новых знаний о природе, обществе и мышлении. Также иногда под *наукой* понимают: итоговый опыт человечества в концентрированном виде, форму общественного сознания, отображение действительности в общественном сознании и т. д.

Являясь следствием общественного разделения труда, наука возникает вслед за отделением умственного труда от физического и превращением познавательной деятельности в специфический род занятий особой группы людей.

Появление крупного машинного производства создает условия превращения науки в активный фактор самого производства. В условиях

научно-технической революции происходит коренная перестройка науки, уже не просто следующей за развитием техники, а обгоняющей ее, становящейся ведущей силой прогресса материального производства.

Необходимость научного подхода в материальном производстве, в экономике и в политике, в сфере управления и в системе образования заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую отрасль деятельности.

Современное общество во всех его элементах и во всех видах его деятельности пронизано влиянием науки и техники. В наши дни наука становится во все большей мере производительной силой общества.

Проблема *классификации наук* тесно связана с тенденциями развития науки как системы научного знания. Современными *тенденциями развития науки* являются:

- переход от дифференциации наук к их интеграции;
- переход от функциональности к субстратности.

На основе специфических особенностей изучаемых объектов науки классифицируются на естественные, гуманитарные и социальные, технические. *Естественные науки* изучают объекты материального мира. *Гуманитарные и социальные науки* исследуют объекты в сфере духовной и общественной деятельности людей. *Технические науки* изучают методы преобразования природных тел и процессов в технические объекты, сами объекты и способы их функционирования.

К естественным наукам относят: физико-математические, химические, науки о Земле, биологические, медико-биологические, сельскохозяйственные. Гуманитарные и социальные науки включают в себя: исторические науки, теории развития стран и народов, языкознание, искусствоведение, педагогику, социологию, политологию, экономику, право, психологию и т. д.

Для всех истинных наук характерны следующие принципиальные признаки:

- 1) логическая непротиворечивость основных положений, утверждений, законов;
- 2) соответствие положений, выводов и результатов опытным или экспериментальным фактам;
- 3) полная доказательность (логическая или математическая) основных положений, утверждений, теорем, формул и т. д.;
- 4) непротиворечивость другим наукам;
- 5) практическая значимость и полезность результатов;
- 6) воспроизводимость прогнозируемых и предсказываемых эффектов;

7) открытость к дискуссии, возможность пересмотра устоявшихся положений.

Непринципиальный признак: постепенное признание научной концепции научным сообществом и обществом.

Псевдонаука не удовлетворяет этим принципам и может являться опасным «паразитом» для общества, поскольку часто получает значительную финансовую поддержку вследствие популяризации многими средствами массовой информации. Наиболее заметные псевдонауки: астрология, парапсихология, полтергейст, уфология и т. д.

1.2. Элементы теории и структура научного познания

Научное знание – идеальное воспроизведение в языковой форме обобщенных представлений о закономерных связях объективного мира. Научное знание характеризуется возможностью сопоставления с объективной реальностью. Отличительными признаками научного знания являются:

- раскрытие сущности явлений, взаимосвязей между ними и закономерностей их поведения;
- проверка и подтверждение на практике;
- объективность (существуют в виде законов науки, учений независимо от трудов и открытий отдельных ученых).

Рассмотрим некоторые философские категории, относящиеся к процессу познания, в частности научного познания. Вначале дадим определение познания. Как очень широкое понятие оно может иметь несколько определений. Наиболее простым, интуитивно понятным определением может быть следующее: познание – процесс формирования знаний; либо более возвышенно: познание – процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию. Наиболее полным и философски корректным определением является следующее: **познание** – отражение объективной действительности в сознании человека в процессе его общественной, производственной и научной деятельности, т. е. **практики**. Необходимость в новом знании появляется тогда, когда обнаруживается недостаточность существующих знаний о каком-либо объекте или явлении окружающего мира. Познание вырастает из практики, но затем само направляется на решение практических задач.

Подобная взаимосвязь познания и практики хорошо иллюстрируется следующими крылатыми выражениями: от практики к теории и от теории к практике; от действия к мысли и от мысли к действительности. Например, Д. И. Менделеев занялся проблемой классификации химических элементов исходя из учебно-методических целей. Ему было неудобно излагать студентам раздел об элементах, так как сведения были разрозненны и описывали только отдельные группы элементов. Не было выявлено единого признака, связывающего эти сведения. Результатом, как известно, стало открытие периодического закона.

Завершение познания *относительно*. Невозможно иметь или получить абсолютное знание об объективной действительности. Так, в рассмотренном выше примере Д. И. Менделеев сформулировал периодический закон на основе атомных масс элементов. Однако позднее вскрылась более глубокая основа периодического закона, основанная на учении о строении атома. В свою очередь представление о строении атома вызвало к жизни новые проблемы, учения: о химической связи между атомами, о строении элементарных частиц, из которых состоят атомы и т. д. Таким образом, можно говорить, что познание или процесс познания бесконечен. Относительность познания и важность решаемой проблемы можно выразить следующими признаками: если после решения проблемы появилась одна новая проблема – найдено квазирешение; если после решения проблемы никаких новых проблем нет – была квазипроблема; если после решения проблемы появилось много новых проблем – была настоящая проблема. Настоящая проблема в ходе решения размножается в геометрической прогрессии.

Научное знание можно разделить на два вида: относительное и абсолютное. *Относительное знание* отличается некоторой неполнотой совпадения образа с объектом действительности. *Абсолютное знание*, напротив, характеризуется полным совпадением образа с объектом. Абсолютное знание есть полное воспроизведение обобщенных представлений об объекте. Абсолютного знания на практике не существует. Имеющиеся знания об объекте, как правило, становятся недостаточными со временем.

Познание включает в себя два уровня: чувственный и рациональный. *Чувственное познание* обеспечивает непосредственную связь человека с окружающей действительностью, формирует эмпирическое знание. *Рациональное познание* дополняет и опережает чувственное, способствует описанию сущности процессов, вскрывает закономерности развития, формирует теоретическое знание.

Элементами чувственного познания являются: ощущение, восприятие, представление и воображение. **Ощущение** – отражение мозгом человека свойств предмета или явления объективного мира, которые действуют на его органы чувств. **Восприятие** – отражение мозгом человека предметов или явлений в целом, причем таких, которые действуют на органы чувств в данный момент времени. Восприятие – это первичный чувственный образ предмета или явления. **Представление** – вторичный образ предмета или явления, которые в данный момент времени не действуют на органы чувств человека, но обязательно действовали в прошлом. **Воображение** – соединение и преобразование различных представлений в целую картину новых образов.

Формой рационального познания является абстрактное мышление. **Абстрактное мышление** – это опосредованное и обобщенное отражение в мозгу человека существенных свойств, причинных отношений и закономерных связей между объектами и явлениями. Опосредованность означает:

1) через доступные органам чувств свойства, связи, отношения объектов человек познает скрытые свойства, связи, отношения;

2) человек познает не только в результате личного опыта, но и в процессе общения с другими людьми.

Мышление неразрывно связано с языком: в логических рассуждениях человека всегда присутствуют слова, отражающие различные понятия.

Мышление в каком-то приближении можно разделить на три типа: рациональное, или логическое; образное, или геометрическое; ассоциативное, или подсознательное. За первый тип отвечает левое полушарие головного мозга, за второй – правое, за третий – глубинные области мозга. Любой эпизод раздумий связан со всеми тремя типами мышления. Человек может быть склонен к одному преимущественному типу мышления. Соответственно, выделяют три типа людей:

- с рациональным мышлением;
- большим воображением, фантазией, образным мышлением;
- большой интуицией, «внутренним голосом».

Структурными элементами мышления являются: понятие, суждение, умозаключение. **Понятие** – мысль, отражающая существенные признаки предмета или явления. **Суждение** – мысль, в которой посредством связи понятий утверждается или отрицается что-либо. **Умозаключение** – процесс мышления, составляющий последовательность двух или нескольких суждений, в результате которых выводится новое суждение (вывод).

Классификация понятий. По количеству характеризующих предметов выделяют общие, единичные и собирательные понятия. Общие понятия связаны со множеством предметов, а единичные – с одним определенным предметом. Собирательные понятия обозначают целые группы однородных предметов. Наиболее общие понятия называют категориями. Также все понятия можно разделить на конкретные и абстрактные. Конкретные понятия относятся к конкретным предметам, а абстрактные – к отдельно взятым признакам предметов. Понятия классифицируют также на относительные и абсолютные. Относительные понятия всегда мыслятся попарно, абсолютные – не имеют парных отношений. Понятия по признаку отношений между ними подразделяются на тождественные – имеют одинаковое содержание¹, выражаются синонимами; равнозначные – имеют один и тот же объем², но отличаются по содержанию; подчиненные – входят в более общие понятия; соподчиненные – связаны по объему, оба входят в более общее понятие (квадрат и окружность); частично согласные – отдельные части объема понятий совпадают (студент и спортсмен); противоречащие – отрицают положительное понятие (нечеловек); противоположные (белый и черный).

Раскрытие содержания понятия называется его определением. **Определение понятия** должно отвечать двум признакам:

- 1) определение должно указывать на ближайшее родовое (более общее) понятие;
- 2) определение должно указывать на то, чем данное понятие отличается от других. Определение не должно определяться самим собой.

Классификация суждений производится по различным признакам. Исходя из признака качества суждения бывают утвердительные и отрицательные. В зависимости от признака количества выделяют общие, частные и единичные суждения. В соответствии с признаком отношения суждения делятся на категорические, условные и разделительные. По признаку модальности суждения бывают проблематические, аподиктические и ассерторические.

Классификация умозаключений. Умозаключения можно разделить на дедуктивные и индуктивные. Дедуктивные умозаключения выводят частный случай из общего положения. Индуктивные умозаключения устанавливают общие положения на основании частных случаев. Умозаключения делят также на непосредственные и опосредованные.

¹ Содержание понятия – совокупность признаков, объединенных в понятие.

² Объем понятия – круг предметов, на которые распространяется понятие.

средованные. В непосредственных умозаклчениях от одного суждения приходят сразу же к другому. В опосредованных суждениях переход от одного суждения к другому осуществляется через посредство третьего.

В любом научном исследовании можно выделить следующие *общие этапы*:

- возникновение идей;
- формирование понятий, суждений;
- выдвижение гипотез;
- обобщение научных фактов;
- доказательство правильности гипотез и суждений.

Дадим определения понятий, использованных в приведенном перечне этапов. **Научная идея** – интуитивное объяснение явления без промежуточной аргументации, без осознания всей совокупности связей, на основании которых делается вывод. **Гипотеза** – предположение о причине, которая вызывает данное следствие. Если гипотеза согласуется с наблюдаемыми фактами, то ее называют теорией или законом. Для подтверждения правильности гипотезы необходимо убедиться не только в том, что она не противоречит действительности, но и в том, что она является единственно возможной. **Закон** – внутренняя существенная связь явлений, обуславливающая их необходимое закономерное развитие. Закон должен быть логически доказан. Для доказательства наука использует суждения, которые были признаны истинными.

Если в процессе доказательства обосновываются противоречивые суждения, то говорят о возникновении парадокса. **Парадокс** в широком смысле – утверждение, резко расходящееся с общепринятым, установившимся мнением, отрицание того, что представляется «безусловно правильным». Парадокс в узком смысле – два противоположных утверждения, для каждого из которых имеются представляющиеся убедительными аргументы. Наличие парадоксов – свидетельство несостоятельности существующих теорий. Пути устранения парадоксов: устранение ошибок в логике доказательств или же совершенствование исходных суждений.

Логика доказательств подчинена четырем законам формальной логики: закон тождества, закон противоречия, закон исключения третьего, закон достаточного основания. **Закон тождества** – объем и содержание мысли о каком-либо предмете должны быть строго определены и оставаться постоянными в процессе рассуждения о нем. **Закон противоречия** – в процессе рассуждения о каком-либо определенном

предмете нельзя одновременно утверждать и отрицать что-либо в одном и том же отношении, в противном случае оба суждения не могут быть вместе истинными. **Закон исключения третьего** – в процессе рассуждения необходимо доводить дело до определенного утверждения или отрицания, в этом случае истинным оказывается одно из двух отрицающих друг друга суждений. **Закон достаточного основания** – в процессе рассуждения достоверными следует считать лишь те суждения, относительно истинности которых могут быть приведены достаточные основания.

Теория – система обобщенного знания, объяснения тех или иных сторон действительности. Теория является наиболее развитой формой обобщенного научного знания. Структуру теории формируют: принцип, аксиомы, или постулаты, законы, суждения, положения, понятия, категории, факты. **Принцип** – это самое абстрактное определение идеи, начальная форма систематизации знаний. **Аксиома**, или **постулат**, – положение, которое берется в качестве исходного, недоказуемого в данной теории, из которого выводятся другие положения и выводы.

1.3. Научно-техническое творчество

Творчество – это мышление в его высшей форме, выходящее за пределы известного, а также деятельность, порождающая нечто новое. Эта деятельность включает в себя постановку и выбор задачи, поиск условий и способа ее решения и в результате – создание нового. Таковую деятельность в настоящее время называют инновационной. Когда мы говорим о творчестве, то обычно имеем в виду художественную, культурную или литературную деятельность. Однако творчество как деятельность, порождающая нечто новое, может иметь место в любой области человеческой деятельности, в том числе и научной. Научное творчество связано с познанием окружающего мира. **Научно-техническое творчество** имеет прикладные задачи, направлено на удовлетворение практических потребностей человека и представляет собой поиск и решение задач в области техники на основе использования достижений науки.

Если рассматривать историю важных технических изобретений и находок, можно отметить два момента:

1) творческие идеи имели случайный характер (история про И. Ньютона и яблоко);

2) с течением времени период реализации достижений науки в технические находки имеет тенденцию к сокращению. От идеи колеса

до изобретения колеса со ступицей и спицами прошло примерно 2 тыс. лет, от печатных досок до книгопечатания – 600 лет, а от изобретения транзистора (1948 г.) до его реализации (1953 г.) прошло лишь 5 лет.

В современную эпоху для скорейшей реализации достижений науки в технические находки необходимо повысить производительность, эффективность и качество творческой деятельности. Для этого следует сам процесс творчества поставить на научную основу, т. е. разработать теорию и методологию научно-технического творчества.

Творчество относится к конкретным субъектам и связано с особенностями человеческой психики, закономерностями высшей нервной деятельности, умственного труда. Механизм творческого мышления представляет собой *комбинацию логики и интуиции*. Логика выступает на первом этапе творческого поиска: осознание проблемной ситуации, длительное накопление знаний в данной области. Интуиция действует на заключительном этапе, когда поиск решения задачи продолжается в подсознании и не осознается человеком, а результат отражается в сознании внезапно, как озарение.

Для творческой деятельности решающее значение имеют *мотивы*, побуждающие субъекта к данной деятельности. Выделяют следующие виды мотивов: *биологические* (например, принцип экономии сил, т. е. допустим, нужно придумать какое-то устройство, облегчающее физический труд); *социальные* (например, материальное вознаграждение, почет и уважение); *идеальные* (потребности познания в широком смысле слова).

На творческую деятельность отрицательно влияют следующие факторы: отсутствие гибкости мышления, сила привычки, узкопрактический подход, чрезмерная специализация, влияние авторитетов, боязнь критики, страх перед неудачей, чересчур высокая самокритичность, лень и др.

Для творчества наиболее важным видом мышления считается *воображение*, которое является высшей формой чувственного познания. Различают следующие виды воображения: логическое, критическое и творческое. *Логическое воображение* выводит будущее из настоящего путем логических преобразований. *Критическое воображение* ищет, что именно нужно изменить. *Творческое воображение* рождает принципиально новые идеи и представления, не имеющие прообразов в реальном мире. Противоположностью творческому воображению является *психологическая инерция мышления*, т. е. стремление действовать

в соответствии с прошлым опытом и знаниями, с использованием стандартных методов.

Непосредственно в научно-техническом творчестве при разработке технических новшеств используют *системный подход к исследованию технического объекта*. Он включает в себя три момента:

- рассмотрение среды, надсистемы, в которую входит объект, и подсистем на разных иерархических уровнях;
- изучение свойств объекта, которые не являются суммой свойств его элементов;
- рассмотрение комплекса взаимодействий в системе.

Движущей силой создания качественно новых технических систем являются **противоречия** в существующих технических системах. Выделяют следующие виды противоречий в технических системах: *технические* – несовместимость между элементами системы, параметрами и свойствами (например, повышение прочности конструкции вызывает недопустимое увеличение массы); *физические* – наличие у одного и того же элемента системы противоположных физических свойств.

Жизнь любой успешной системы, в том числе и технической, можно изобразить логической кривой (рис. 1.1). Медленное развитие системы сменяет бурный рост с последующим замедлением развития, которое вызвано, как правило, появлением качественно новой более совершенной системы.

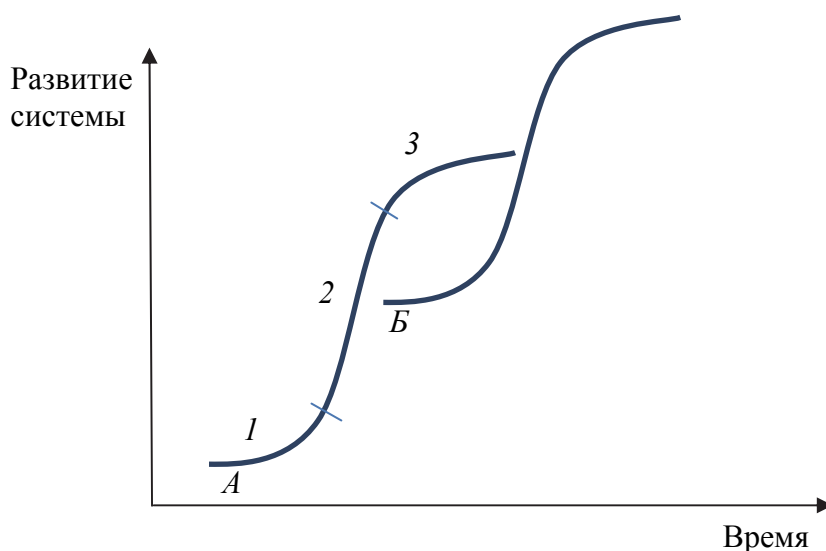


Рис. 1.1. Развитие системы во времени:

- 1 – медленное развитие (опытные установки); 2 – массовое применение (быстрое совершенствование); 3 – спад темпов развития вследствие замены системы *А* на качественно более новую систему *Б*

Широкое распространение в научно-техническом творчестве для создания новых технических объектов имеет *морфологический анализ*. Он состоит из следующих этапов:

- 1) формулировка задачи (составление списка характерных параметров объекта);
- 2) составление списка частичных решений для каждого параметра;
- 3) определение функциональной ценности всех возможных сочетаний частичных решений;
- 4) выбор наиболее приемлемого решения.

Для активизации творческого мышления могут использоваться различные *ассоциативные методы*. Такие методы основаны на том, что источниками генерирования идей являются ассоциации, метафоры и случайно выбранные понятия, признаки которых переносятся на объект. К ассоциативным методам активизации творческого мышления относят: методы каталога; методы фокальных объектов; метод гирлянд случайностей и ассоциаций.

Существуют также *психологические методы* активизации коллективной творческой деятельности, наиболее известным из которых является *мозговая атака (мозговой штурм)*. Суть последнего в том, что процессы выработки идей и их критической оценки разделены во времени и проводятся разными группами людей. Первая группа только выдвигает идеи, а вторая группа (эксперты) выносят суждения о ценности этих идей.

1.4. Классификация научных исследований

Научные исследования можно классифицировать по различным признакам: методам решения поставленных задач, сфере применения результатов исследования, видам исследуемого объекта и др. Один из вариантов классификации [1] приведен на рис. 1.2.

Теоретические исследования основаны на применении математических и логических методов познания объекта. Результатом теоретического исследования является установление новых зависимостей, свойств и закономерностей происходящих явлений. Результаты теоретических исследований должны быть подтверждены практикой.

Теоретико-экспериментальные исследования предусматривают последующую экспериментальную проверку результатов теоретических исследований на натуральных образцах или моделях.

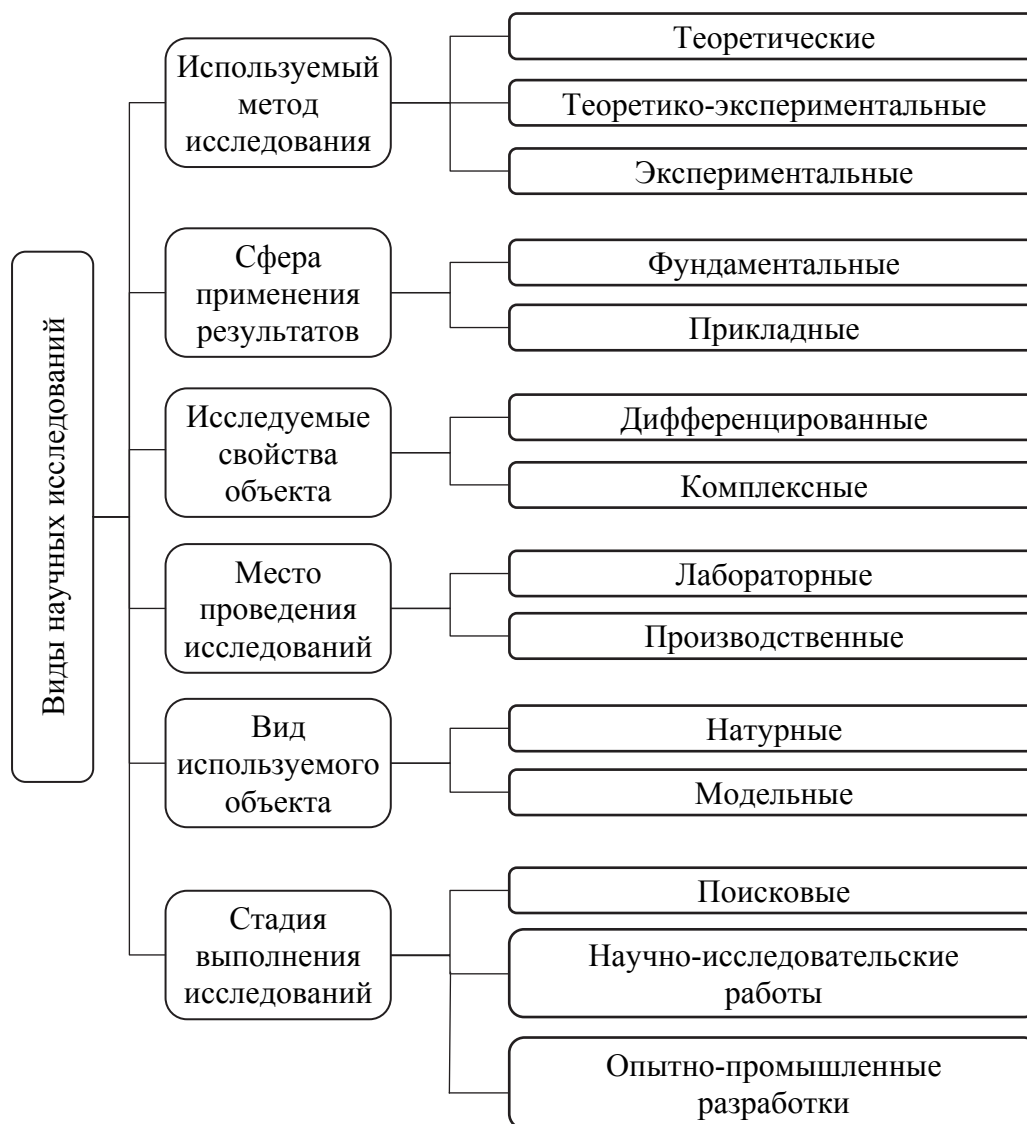


Рис. 1.2. Классификация видов научных исследований по различным признакам

Экспериментальные исследования осуществляются на натуральных образцах или моделях в лабораторных условиях, при которых устанавливаются новые свойства, зависимости и закономерности, а также служат для подтверждения выдвинутых теоретических положений.

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

Прикладные исследования представляют собой поиск и решение практических задач развития отдельных отраслей производства,

создания новых технических устройств и систем, новых технологий и материалов, новых препаратов и т. д. на основе результатов фундаментальных исследований.

Именно прикладные исследования определяют прогресс промышленности, техники и технологии, образования и культуры, повышение военного потенциала страны.

Комплексные исследования представляют собой изучение различных свойств одного объекта. Например, исследование надежности нового автомобиля по критериям безопасности, ремонтпригодности, безотказности и др.

Дифференцированные исследования изучают одно из свойств или группу однородных свойств одного либо нескольких объектов. В рассмотренном выше примере это может быть исследование безопасности одной или нескольких моделей автомобилей.

Исследования, проведенные в лабораторных условиях, называют *лабораторными*, а в производственных условиях – *производственными*.

Натурные исследования проводятся на натурном объекте, который может представлять собой, например, популяцию животных или растений в биологических исследованиях, группу людей в социологических исследованиях, технический объект или систему, функционирующую в производственных условиях в научно-технических исследованиях и т. д.

Модельные исследования проводятся на модельном объекте. В технике многие исследования осуществляются на моделях или образцах, так как это значительно упрощает создание лабораторной базы для проведения исследований, а во многих случаях натурные испытания являются принципиально невозможными.

Поисковое исследование является первой стадией при разработке крупной научно-технической проблемы и производится с целью установления принципиальных основ, путей и методов решения поставленной задачи.

Научно-исследовательские работы являются второй стадией разработки крупной проблемы, целью которых выступает установление необходимых зависимостей, свойств и закономерностей, создающих предпосылки для дальнейших инженерных решений.

Третья стадия – *опытно-промышленная разработка*, главная задача которой состоит в доведении исследования до практической реализации, т. е. апробации в условиях производства, выпуске опытно-промышленной партии продукта и его комплексной аттестации.

1.5. Выбор направления исследований: актуальность, новизна и значимость исследований

Цель научного исследования – всестороннее, достоверное изучение объекта, процесса или явления, их структуры связей и отношений на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также получение и внедрение в практику полезных результатов.

Объектом исследования должна быть некоторая материальная или идеальная система. Тогда *предметом исследования* является структура системы, закономерности взаимодействия элементов внутри системы и вне ее, закономерности развития, различные свойства, качества и т. д.

Научное направление – это наука или комплекс наук, в области которых ведутся исследования. Поэтому направлениями исследования могут быть техническое, биологическое, химическое, физико-химическое и т. д. Структурными единицами научного направления являются: комплексная проблема, проблема, тема научного исследования, научные вопросы. *Комплексная проблема* – совокупность проблем, объединенных единой целью. *Проблема* – совокупность сложных теоретических и практических задач, решения которых назрели в обществе. Проблема отражает противоречие между общественной потребностью в знании и известными путями его получения. Проблемы бывают глобальные, национальные, региональные, отраслевые, межотраслевые и др. Кроме того, проблемы могут быть общими и специфическими. *Тема научного исследования* – определенный круг научных вопросов, охватывающий часть проблемы. Как правило, большей части научных сотрудников приходится заниматься выбором, подготовкой, реализацией именно тем научных исследований. *Научные вопросы* – мелкие научные задачи, относящиеся к конкретной теме.

Выбор направления исследования является ответственной задачей. Приоритетные направления исследований страны или группы стран формируют органы, которые занимаются руководством научными исследованиями на государственном уровне. Направление определяется спецификой научного учреждения и отраслью науки. Конкретизация направления – это результат изучения потребностей производства и общества, а также состояния исследований в данном направлении в данный момент времени. Выбранное направление исследований часто становится стратегией научного работника или коллектива на длительный период (практически на все время существования).

Как правило, задачей выбора проблемы для исследования, темы научного исследования и научных вопросов занимаются рядовые научные работники. Основные этапы выбора проблемы, которую необходимо исследовать:

– на основе анализа противоречий направления исследований формулируется сама проблема, определяются в общих чертах ожидаемые результаты;

– разрабатывается структура проблемы, выделяются отдельные темы и научные вопросы;

– формулируются темы научных исследований и их обоснование.

Обоснование темы должно включать характеристику актуальности, новизны и значимости исследований. Под **актуальностью** понимают важность темы, необходимость скорейшего разрешения научных вопросов темы в настоящее время. Какого-то простого критерия актуальности не существует. Оценка актуальности фундаментальных исследований обычно проводят признанные эксперты в данной области исследований. Для оценки актуальности прикладных исследований можно использовать ожидаемый экономический эффект. Характеристика **новизны** темы означает, что решаемая задача должна быть новой, которую еще не решали и не решают. Однако дублирование иногда необходимо. На практике очень часто одни и те же задачи решаются разными группами исследователей. Это может быть полезно, если к решению задачи подходят с разных сторон, используя различные исходные положения или методы исследования. **Значимость** темы должна характеризовать экономическую эффективность от внедрения ожидаемых результатов. На стадии выбора темы значимость определяется ориентировочно. Часто ее установить трудно. Можно использовать аналогичные завершённые темы исследований.

1.6. Основные направления фундаментальных и прикладных исследований в области электрохимии

Фундаментальные исследования.

1. Свойства конденсированных фаз.

1.1. Растворы электролитов.

1.2. Твердые электролиты.

1.2.1. Оксидные электролиты.

1.2.2. Твердые полимерные электролиты, мембраны.

1.2.3. Другие твердые электролиты.

1.3. Расплавы электролитов.

2. Граница раздела фаз электрохимической системы в равновесных условиях.

2.1. Термодинамика границы раздела.

2.1.1. Электрохимическое равновесие на границе электрод – раствор.

2.1.2. Мембранное равновесие и мембранный потенциал.

2.1.3. Ионоселективные электроды.

2.1.4. Ферментные электроды.

2.2. Двойной электрический слой и адсорбция на границе раздела.

2.2.1. Поверхностное натяжение.

2.2.2. Емкость двойного слоя.

2.2.3. Адсорбция на металлах платиновой группы.

2.2.4. Оптические и рентгеновские методы исследования границ раздела.

2.2.5. Модели строения двойного слоя.

2.2.6. Двойной слой на границах расплав – металл и раствор – полупроводник.

3. Электрохимическая кинетика.

3.1. Методы исследования: полярография, вращающийся дисковый электрод, тонкослойные ячейки, импедансная спектроскопия.

3.2. Исследование стадии разряда-ионизации.

3.2.1. Изучение элементарного акта переноса электрона методами квантовой химии.

3.2.2. Многостадийные процессы.

3.2.3. Кинетика переноса электрона на границе полупроводник – раствор.

3.3. Стадия массопереноса.

3.4. Сложные электрохимические реакции.

Прикладные исследования.

1. Химические источники тока.

1.1. Первичные источники тока.

1.2. Аккумуляторы.

1.3. Топливные элементы.

2. Электросинтез.

2.1. Электролиз воды.

2.2. Получение хлора и щелочи.

2.3. Получение неорганических веществ.

2.4. Получение органических веществ.

3. Гальванотехника.

- 3.1. Цинкование.
- 3.2. Никелирование.
- 3.3. Хромирование.
- 3.4. Другие покрытия.
4. Гидроэлектрометаллургия.
 - 4.1. Рафинирование меди.
 - 4.2. Электроэкстракция цинка.
 - 4.3. Электроэкстракция никеля.
 - 4.4. Получение алюминия.
 - 4.5. Получение других металлов.
5. Электрохимический анализ.
 - 5.1. Электрохимические датчики, сенсоры.
 - 5.2. Определение различных веществ.

1.7. Научные учреждения. Государственное управление научной деятельностью

Государственное управление в сфере научной деятельности осуществляют: Президент, Совет Министров, Государственный комитет по науке и технологиям (ГКНТ), Высшая аттестационная комиссия (ВАК), Национальная академия наук (НАН). При Совете Министров существует Комиссия по вопросам государственной научно-технической политики, которая состоит из представителей органов государственной власти, НАН, научных учреждений и предприятий.

ГКНТ осуществляет регулирование и управление в сфере научной деятельности, охраны прав интеллектуальной собственности. В его подчинении находятся: Национальный центр интеллектуальной собственности, Белорусский инновационный фонд, Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы, Республиканская научно-техническая библиотека, региональные центры научно-технической информации.

ВАК осуществляет государственную политику в области аттестации научных кадров высшей квалификации и подчиняется непосредственно Президенту Республики Беларусь.

НАН Беларуси является высшей государственной научной организацией Республики Беларусь. Она организует и координирует проведение фундаментальных и прикладных исследований. НАН подчиняется Президенту и Совету Министров Республики Беларусь. По состоянию

на 2009 г. в состав НАН входило 90 институтов и других научных учреждений, проектно-конструкторских организаций с общей численностью 16 300 человек, в том числе 6100 научных сотрудников, 510 докторов и 1930 кандидатов наук. Научными учреждениями, входящими в состав НАН, являются научно-исследовательские институты (НИИ), научно-исследовательские центры (НИЦ), научные отделы и лаборатории крупных учреждений, наделенные статусом юридического лица. Научно-методическое руководство исследованиями осуществляется через шесть отделений:

- физики, математики и информатики;
- физико-технических наук;
- химических наук и наук о Земле;
- биологических наук;
- медицинско-биологических наук;
- гуманитарных наук и искусств.

Одной из важнейших функций государственных органов управления в сфере научной деятельности является выбор приоритетных направлений научно-технической деятельности. Такие приоритеты реализуются через различные государственные научные программы, финансирование которых осуществляется из средств республиканского бюджета. К таким программам относятся: государственные народнохозяйственные программы (ГНХП), государственные комплексные целевые научно-технические программы (ГКЦНТП), государственные научно-технические программы (ГНТП), государственные программы фундаментальных исследований (ГПФИ) и др.

Научная организация – юридическое лицо, объем научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ которого составляет не менее 70% общего объема выполненных работ, а учредительными документами предусмотрен ученый (научно-технический) совет как орган управления.

Все научные организации Республики Беларусь делят на три сектора: государственный, предпринимательский и вузовский.

Государственный сектор образуют организации НАН Беларуси и органов управления.

Предпринимательский сектор – организации, связанные с производством, отраслевые НИИ и проектно-конструкторские организации, подчиненные отраслевым министерствам, а также научные отделы крупных промышленных предприятий (например, центральные заводские лаборатории, отделы главного конструктора, технолога и т. д.).

Вузовский сектор – учреждения образования и входящие в их состав НИИ или иные подразделения. Распределение числа организаций по секторам приведено в таблице [2].

**Распределение научных организаций Республики Беларусь
по секторам на 2007 г.**

Сектор	Число организаций	Доля, %
Государственный	131	38,5
Предпринимательский	146	42,9
Вузовский	63	18,6
<i>Итого</i>	340	100,0

Как видно из данной таблицы, наименьшую долю составляет вузовский сектор, а предпринимательский и государственный сектор занимают примерно равные доли.

Можно выделить три основные организационные формы проведения научных исследований в вузах: обязательные научные исследования сотрудников; диссертационные исследования аспирантов и докторантов; исследования на платной основе.

Обязательные научные исследования сотрудников проводятся в соответствии со спецификой подразделения (кафедры). Это работа так называемой «второй половины рабочего дня». Однако в настоящее время основная преподавательская работа («первая половина рабочего дня») занимает примерно 70% времени, а оставшиеся 30% времени приходится на учебно-методическую и научную работу. Поэтому качество таких научных исследований очень низкое.

Диссертационные исследования аспирантов и докторантов имеют под собой значительно больше мотиваций, чем предыдущая форма научных исследований. Так, аспиранты и докторанты получают стипендии, имеют достаточное количество времени для научной работы.

Исследования на платной основе проводятся по договорам подряда, по различным темам, проектам, которые формируются республиканскими ГНТП на конкурсной основе и финансируются из средств республиканского бюджета. Сотрудники вузов участвуют в таких исследованиях либо как совместители, либо в составе временных научных коллективов (ВНК). Совместители сочетают преподавательскую должность и должность научного сотрудника, при этом оплата научного сотрудника составляет не более половины ставки. ВНК – добровольное объединение научных работников и специалистов без образования юридического лица, создаваемое по

договору с научной организацией для более эффективного выполнения исследований и разработок.

Преимущества вузов при проведении научных исследований – наличие ученых разного профиля и возможность привлечения к исследованиям студентов (молодые научные кадры).

Формы участия студентов в научных исследованиях могут быть разными: учебно-исследовательская работа студентов (УИРС), научно-исследовательская работа при курсовом и дипломном проектировании и научно-исследовательская работа студентов (НИРС). УИРС выполняется в отведенное расписанием занятий учебное время по специальному заданию в обязательном порядке каждым студентом под руководством преподавателя – научного руководителя. Основная задача УИРС – обучение навыкам самостоятельной научной работы, знакомство с реальными условиями труда в научной лаборатории. НИРС проводится совместно с преподавателями на платной основе. При этом студентам поручается разработка какого-то научного вопроса темы. НИРС является важной в плане воспитания научных кадров на раннем этапе.



2. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК

План лекции

- 2.1. Первичные и вторичные документы и издания.
- 2.2. Государственная система научно-технической информации.
- 2.3. Организация работы с научной литературой.

2.1. Первичные и вторичные документы и издания

Информация – сведения о чем-либо или сообщение сведений. Для проведения научных исследований необходимо иметь свежую информацию о текущих научных исследованиях и разработках. В настоящее время системы сбора, обработки и передачи информации достигли небывалого уровня. Дадим определения важнейших понятий, используемых в данной теме.

Информационная система – система обеспечения информацией о достижениях науки и техники. Компонентами информационной системы являются: научно-техническая информация об оригинальных идеях, научных результатах и т. д.

Информационный продукт – совокупность унифицированных сведений и услуг, представленных в стандартизированном виде.

Информационный ресурс (база данных) – большой информационный массив данных, хранящийся в машинном (электронном) виде и имеющий возможность их переработки в информационные продукты.

Информационные сети – совокупность средств связи, обеспечивающих доступ пользователей информации к информационным ресурсам.

Структурная единица информационного ресурса – научный документ.

Научный документ – материальный объект, содержащий научно-техническую информацию и предназначенный для ее хранения и использования.

Документы по способу представления информации делят на текстовые, графические, аудиовизуальные, машиночитаемые, электронные.

В зависимости от характера информации различают первичные и вторичные документы.

Первичные документы содержат непосредственные результаты научных исследований и разработок, новые научные сведения или новое осмысление известных идей и фактов.

Вторичные документы содержат результаты аналитико-синтетической и логической переработки одного или нескольких первичных документов либо сведения о них.

К первичным документам относят:

1) *книги* – неперIODические текстовые издания объемом свыше 48 с.;

2) *брошюры* – неперIODические текстовые издания объемом 4–48 с.;

3) *монографии* – охватывают всестороннее исследование одной проблемы или темы и принадлежат одному или нескольким авторам;

4) *сборники научных трудов* – содержат ряд произведений одного или нескольких авторов;

5) *учебные издания* – неперIODические издания, содержащие систематизированные сведения научного или прикладного характера, изложенные в форме, удобной для преподавания и изучения;

б) *периодические издания* (наиболее оперативный вид научно-технической информации) делятся:

– на *журналы* – выходят через определенные промежутки времени, постоянным для каждого года числом номеров;

– *продолжающиеся издания* – выходят через неопределенные промежутки времени (сборники научных трудов институтов, вузов и т. д.).

Существуют также специальные виды технических изданий (*нормативно-технические документы*), которые регламентируют научно-технический уровень и качество выпускаемой продукции. К нормативно-техническим документам относят: стандарты, инструкции, типовые положения, методические указания и т. д. Наиболее важными из таких документов являются стандарты.

Стандарт – нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентным органом. В настоящее время различают следующие виды стандартов:

1) *международный стандарт* – утверждается международной организацией по стандартизации (ISO);

2) *межгосударственный (региональный) стандарт* – утверждается межгосударственной (региональной) организацией по стандартизации (например, в СНГ – ГОСТ);

3) *государственный стандарт* Республики Беларусь – утверждается Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь (СТБ);

4) *стандарт организации (предприятия)* – утверждается юридическим лицом (СТП БГТУ).

Особое значение для научно-технической и исследовательской деятельности имеет патентная документация.

Патентная документация – совокупность документов, содержащих сведения об открытиях, изобретениях и других видах промышленной собственности, а также сведения об охране авторских прав.

Существуют также первичные непубликуемые научные документы: научно-технические отчеты, диссертации, депонированные рукописи, научные переводы, конструкторская документация и др.

Вторичные документы подразделяют на справочные, обзорные, реферативные и библиографические.

Справочные документы содержат справочную информацию. К ним относят справочники и словари.

Обзорные документы содержат концентрированную информацию, полученную в результате отбора, систематизации и логического обобщения сведений из большого количества первичных документов по определенной теме за определенный период времени. Различают обзоры аналитические (содержат оценку и анализ информации) и реферативные (носят описательный характер).

Реферативные документы содержат сокращенное изложение первичного документа с основными сведениями и выводами (например, реферативные журналы).

Библиографические документы содержат библиографические описания документов. К ним относят систематические, предметные, алфавитные библиографические указатели.

Для упорядочения документов как в библиотеках, так и в различных информационных ресурсах используют различные классификации документов. Наибольшее распространение получила ***универсальная десятичная классификация*** (УДК), которая является собственностью Международной федерации по документации, отвечающей за дальнейшую разработку таблиц УДК, их состояние и издание. УДК является международной универсальной системой, позволяющей детально представить содержание документальных фондов и обеспечить

оперативный поиск информации, обладает возможностью дальнейшего развития и совершенствования.

УДК состоит из основной и вспомогательных таблиц. Основная таблица содержит понятия и соответствующие им индексы, с помощью которых систематизируют человеческие знания. Первый ряд делений имеет следующие классы: 0 – Общий отдел. Наука. Организация. Умственная деятельность. Знаки и символы. Документы и публикации; 1 – Философия; 2 – Религия; 3 – Экономика. Труд. Право; 4 – свободен с 1961 г.; 5 – Математика. Естественные науки; 6 – Прикладные науки. Медицина. Техника; 7 – Искусство. Прикладное искусство. Фотография. Музыка; 8 – Языкознание. Филология. Художественная литература. Литературоведение; 9 – Краеведение. География. Биография. История.

Каждый из классов основной таблицы разделен на десять разделов, которые в свою очередь подразделяются на десять более мелких подразделов и т. д. Внутри каждого раздела применяется иерархическое построение от общего к частному с использованием того же десятичного кода. Например, 5 – Математика. Естественные науки; 53 – Физика; 536 – Термодинамика и т. д. Наряду с основной таблицей в УДК имеются вспомогательные таблицы определителей, которые отражают общие, повторяющиеся для многих предметов признаки.

2.2. Государственная система научно-технической информации

Число научных журналов и научных статей удваивается каждые 5–10 лет. Поэтому в последние годы большой объем информации представляется в электронном виде. Хранение и представление информации в электронном виде – приоритетное направление информатизации общества, развития системы научно-технической информации. К организациям, которые образуют систему научно-технической информации в Республике Беларусь, относятся: Национальный центр информационных ресурсов и технологий, Объединенный институт проблем информатики, Институт прикладных программных систем и др.

Источниками научно-технической информации в Республике Беларусь являются: Национальная библиотека Беларуси (НББ), Республиканская научно-техническая библиотека (РНТБ), Центральная научная библиотека (ЦНБ) имени Якуба Коласа НАН Беларуси, специализированные и областные библиотеки, библиотеки вузов и

предприятий. Информационные ресурсы основных библиотек Беларуси (табл. 2.1) достаточно велики и в настоящее время имеют доступ к базам данных ведущих мировых научных издательств, таких как ScienceDirect, Springer, Blackwell Publ. и др.

Таблица 2.1

Информационные ресурсы библиотек Беларуси

Библиотека, web-адрес	Фонд, млн экз.	Ресурсы
НББ, www.nlb.by	8,3	Базы данных Springer, Blackwell Publ.
РНТБ, www.rlst.org.by	31,6	Патентная информация, база данных Blackwell Publ.
ЦНБ, www.bas-net.by	2,4	Базы данных ScienceDirect, Scopus, Web of Science, ProQuest Digital Dissertations и др.

Новизна и ценность печатной научно-технической информации зависит от вида издания и отрасли науки. Более оперативна, но и быстрее «стареет» научная информация из отчетов по научным исследованиям и из научных статей. Менее актуальна, однако и медленнее «стареет» информация, полученная из учебников, научных монографий и патентов. Примерные сроки «старения» научно-технической информации различных видов научных документов отражает диаграмма (рис. 2.1).

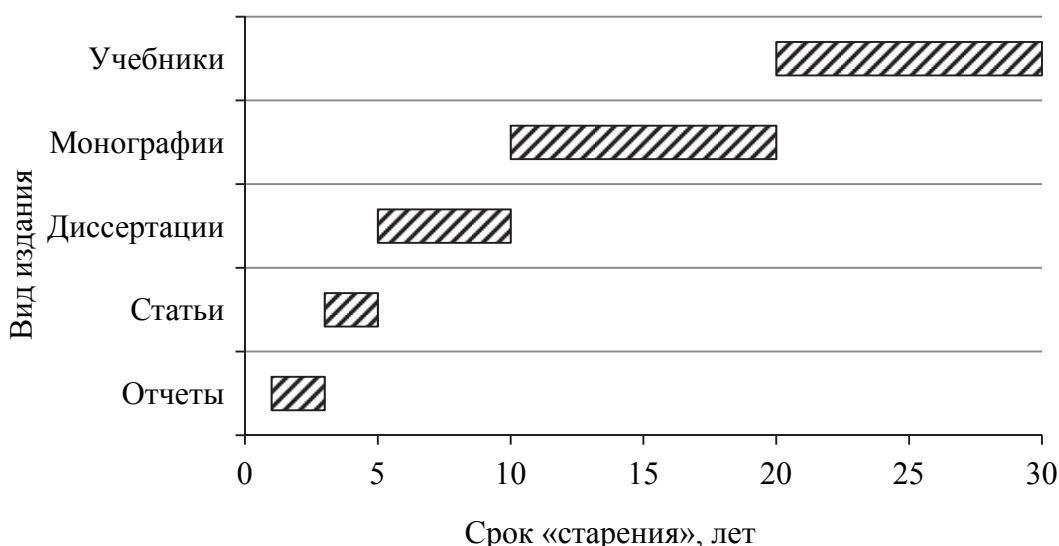


Рис. 2.1. Сроки «старения» научно-технической информации

Для создания новых образцов продукции и новых технологий наиболее информативна патентная документация. Источником патентной информации каждой страны являются патентные фонды. К электронным версиям этих фондов в настоящее время имеется доступ через Интернет. Однако электронные версии различных патентных фондов обладают разными возможностями поиска и предоставления патентной информации. Наиболее «продвинутые» патентные базы данных (например, патентная база данных США) предоставляют как любые варианты поиска информации, так и полные тексты патентов. Другие базы данных предоставляют ограниченные варианты поиска и часто только краткий реферат патента. Краткая характеристика ряда патентных баз данных представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Краткая характеристика некоторых электронных версий патентных фондов

Страна, web-адрес	Характеристика
Республика Беларусь, belgospatent.org.by	Перечни патентов по классам, рефераты
Российская Федерация, fips.ru	МПК, рефераты (бесплатно), описания (за плату)
США, uspto.gov	МПК, патенты США (бесплатно)
ФРГ, dpma.de	МПК, патенты ФРГ (DE), США (US), международные (WO) и европейские (EP) – на немецком и английском языках и (или) на языке страны патентообладателя

Патентная информация имеет юридическую и научно-техническую основу. Результаты умственного труда, которые применяются в промышленности, называют промышленной собственностью – открытия, изобретения, полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки, фирменные наименования. Патентное описание изобретения содержит техническую информацию о сущности изобретения и элементы, определяющие необходимый объем правовой защиты. Основное средство поиска патентной информации – классификация изобретений. В разных странах используются свои национальные классификации изобретений. С 1954 г. создана международная патентная классификация.

Следует отметить, что наибольший объем патентного фонда у США. Патенты США являются наиболее престижными во всем мире.

Кратко рассмотрим структуру *международной патентной классификации* (МПК). МПК содержит восемь разделов, обозначенных латинскими буквами:

A – удовлетворение жизненных потребностей человека;

B – различные технологические процессы;

C – химия и металлургия;

D – текстиль и бумага;

E – строительство;

F – прикладная механика, освещение и отопление;

G – техническая физика;

H – электричество.

Каждый раздел может содержать до 99 классов, которые разделяются на подклассы, обозначаемые прописными согласными буквами латинского алфавита. Подклассы делятся на группы, обозначаемые нечетными числами. Группы делятся на подгруппы, обозначаемые четными числами. Номер подгруппы ставится после косой черты. Степень подчиненности подгруппы в группе определяется сдвигом текста вправо и точками, которые стоят перед текстом подгруппы и указывают на то, что подгруппа является подчиненной ближайшей подгруппе с меньшим на одну числом точек. Иерархические отношения между подгруппами определяются всегда только числом точек, стоящих перед текстом названия подгруппы. Стоящие перед текстом точки как бы заменяют собой текст иерархически более старших подгрупп.

Рассмотрим пример иерархического классифицирования с использованием подгруппы с шестью точками – *B 64 C 25/30*:

Раздел	<i>B</i>	Различные технологические процессы.
Класс	<i>B 64</i>	Воздухоплавание, авиация, космонавтика.
Подкласс	<i>B 64 C</i>	Летательные аппараты тяжелее воздуха.
Основная группа	<i>B 64 C</i>	25/00 Посадочные устройства летательных аппаратов;
Подгруппа с одной точкой		25/02. шасси;
Подгруппа с двумя точками		25/08.. подвижно закрепляемые, например сбрасываемые;
Подгруппа с тремя точками		25/10... убирающиеся, складывающиеся и т. п.;
Подгруппа с четырьмя точками		25/18.... приводы;
Подгруппа с пятью точками		25/26..... контрольные или блокирующие устройства;
Подгруппа с шестью точками		25/30..... аварийно включаемые.

Таким образом, подгруппа В 64 С 25/30 охватывает «Аварийно включаемые контрольные или блокирующие устройства приводов убирающихся или складывающихся подвижно закрепленных шасси, используемых в посадочных устройствах летательных аппаратов тяжелее воздуха».

МПК по мере развития техники и технологии обновляется путем введения новых классов. Обновленную редакцию обозначают, например МПК⁸ (8-я редакция). С 2008 г. в обозначении класса указывают год обновления редакции, например МПК (2006) В 29 С 70/02.

2.3. Организация работы с научной литературой

Процесс ознакомления с литературными источниками по интересующей тематике рекомендуется проводить в следующем порядке:

- ознакомление со справочной литературой (универсальные и специальные справочники, энциклопедии, словари);
- просмотр библиографических указателей библиотек;
- работа с библиотечными каталогами библиотеки и составление собственной библиографии по интересующей проблеме.

Справочная литература помогает ознакомиться со специальными терминами, их значением, особенностями значения. Так, например, термин «электролит» в общей химии означает вещество, раствор или расплав которого проводит электрический ток, а в электрохимии под этим термином обычно понимают водный раствор, используемый в электрохимических устройствах.

Библиотечный каталог – набор карточек, содержащих сведения о книгах, журналах, статьях и т. д. Каталоги бывают разных видов: алфавитный, систематический и алфавитно-предметный.

В *алфавитном каталоге* карточки располагаются в алфавитном порядке фамилий авторов или заглавий произведений, если автор не указан. В *систематическом каталоге* карточки сортируются по отраслям знаний с использованием библиотечной классификации, чаще всего УДК. В *алфавитно-предметном каталоге* карточки располагаются в алфавитном порядке наименований отраслей знаний, отдельных вопросов и тем, по которым в систематическом каталоге собрана литература.

При составлении собственной библиографии по проблеме необходимо проводить систематизацию источников. Для этого создается

собственная картотека (можно в электронном виде). Лучше всего организовать три раздела «Прочитать», «Выписки» и «Прочитано». В карточке следует отражать библиографическую информацию о документе. Для книги такая информация включает в себя: авторы, заглавие, вид издания, место издания, издательство, год издания, число страниц и другие характеристики в зависимости от вида издания. Для журнальной статьи необходимо записывать авторов, заглавие статьи, название журнала, год издания, том, номер выпуска и страницы. Карточки из раздела «Выписки», кроме библиографических сведений, должны включать информацию о содержании литературного источника: либо реферат, либо какой-то шифр, указывающий на выбранное место в какой-то классификации собственной библиографии.

При работе с литературными источниками необходимо уметь правильно читать, понимать и запоминать прочитанное. Выделяют четыре основных способа обработки информации при чтении:

1) *побуквенное* чтение;

2) *послоговое* чтение;

3) чтение *по словам* (просматривается первый слог первого слова и первые буквы второго слова, остальная же часть словосочетания угадывается);

4) чтение *по понятиям* (из текста выбираются только отдельные ключевые слова, а затем синтезируется мысль, содержащаяся в одном или нескольких предложениях).

Первые два вида чтения, очевидно, присутствуют у детей или людей, которые учатся читать. Последний вид чтения характерен для людей, хорошо знакомых с тематикой читаемого материала и с хорошей памятью.

Для быстрого понимания сложного текста необходимо владеть мысленным приемом восприятия не отдельных слов, а предложений и даже целых абзацев. При этом используется **антиципация** – смысловая догадка: по нескольким буквам угадывается слово, по нескольким словам – предложение, по нескольким предложениям – смысл абзаца. Для обучения этому приему можно использовать так называемый **дифференциальный алгоритм** (рис. 2.2). Обработка каждого абзаца начинается с выявления ключевых слов, несущих основную смысловую нагрузку. Затем строятся смысловые ряды, т. е. на основе ключевых слов формируются лаконичные выражения, и происходит как бы «сжатие» текста. После этого в обрабатываемом абзаце выявляется только истинное значение его содержания.

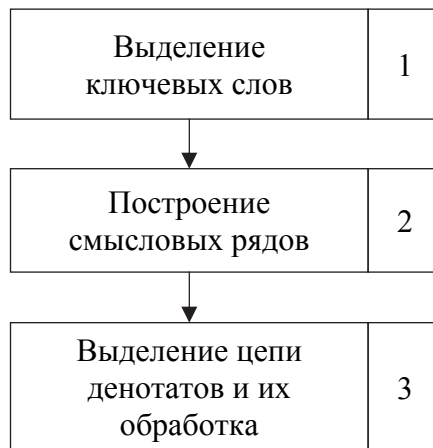


Рис. 2.2. Дифференциальный алгоритм обучения мысленным приемам быстрого понимания сложного текста

Чтобы быстро понимать читаемый текст, необходимо также как-ким-то образом активизировать процессы мышления при чтении. Для этого можно использовать так называемый ***интегральный алгоритм*** (рис. 2.3).

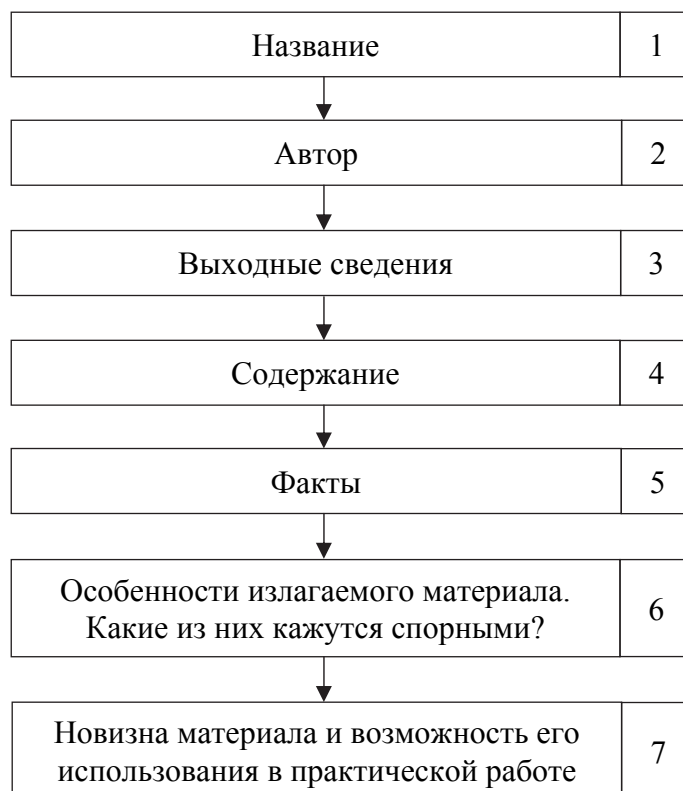


Рис. 2.3. Интегральный алгоритм активизации процессов мышления при чтении

Слово «интегральный» означает, что действие алгоритма распространяется на весь текст в целом. Современная структурная лингвистика утверждает, что научно-технические тексты обладают чрезмерной избыточностью – до 75%. Интегральный алгоритм так же, как и дифференциальный, помогает найти и сосредоточить внимание на содержательных элементах текста и сократить время обработки неинформативных элементов текста.

Для освоения методики *быстрого чтения* следует научиться приемам чтения, при которых восприятие текста происходит крупными блоками, а не словами и строчками текста.

Этому способствует такая техника чтения, при которой глаза читающего двигаются с небольшой скоростью вертикально сверху вниз по воображаемой линии, проведенной по центру страницы без движения по строчке слева направо и обратно (рис. 2.4, *а*). При быстром чтении движение глаз более экономичное, поскольку глаза проходят всю страницу текста по кратчайшему пути: прямой вертикальной линии (рис. 2.4, *б*).

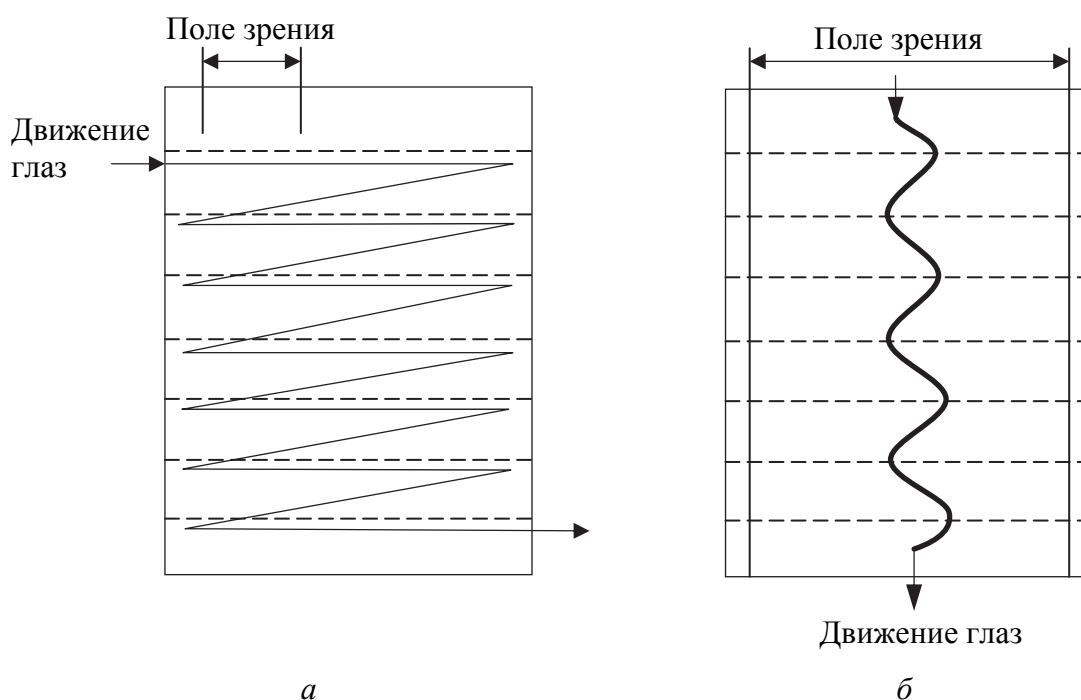


Рис. 2.4. Схемы, иллюстрирующие технику чтения:
а – медленную; *б* – быструю

Чтобы овладеть техникой быстрого чтения, необходимо иметь широкое поле зрения на всю ширину страницы (рис. 2.4, *б*). Для развития периферического зрения используют таблицы Шульте:

6	1	18	22	14
12	10	15	3	25
2	20	5	23	13
16	21	8	11	7
9	4	17	19	24

При работе с *таблицами Шульте* ставится задача: концентрируя взгляд в центре таблицы, видеть всю ее целиком и назвать все цифры по порядку (от 1 до 25) за время не более 25 с. Такая тренировка помогает мозгу так изменить программу восприятия текста, чтобы в единицу времени воспринималось наибольшее количество смысловой информации.

Чтение информационного материала должно сопровождаться запоминанием. *Запоминание* – это процесс памяти, в результате которого происходит закрепление нового путем связывания с уже приобретенным ранее. Запоминание является избирательным. Различают два вида запоминания: произвольное (ненамеренное) и произвольное (заучивание). Для последнего важную роль играют мотивы и *рациональные приемы* запоминания:

- понимание прочитанного (вызывает интерес, эмоциональный подъем);
- концентрация внимания (способствует улучшению наблюдательности и памяти);
- осознание цели запоминания (без этого коэффициент полезного действия запоминания мал);
- систематизация запоминаемого материала (составление плана заучиваемого материала, разбиение его на части, выделение в них опорных пунктов, по которым восстанавливается все содержание части);
- использование разных видов памяти (зрительная, слуховая, обоняние, осязание и т. д.);
- использование приемов «мнемотехники» (создание искусственно придуманных связей, например, «каждый охотник желает знать, где сидит фазан»);
- повторение запоминаемого материала.

При проработке нового материала полезно составлять конспект. **Конспект** – это сжатое изложение самого существенного в данном материале. Он должен быть кратким и точным в выражении мыслей автора своими словами. Слова автора в конспекте оформляются как цитаты. Максимально точно необходимо записывать: формулы, определения, схемы, цитаты, статистическую информацию, а также все новое и неизвестное.

Важно также уметь составлять реферат какого-то материала, а также обзор научных документов по некоторой теме.

Реферат – это краткое изложение первичного документа с основными фактическими сведениями и выводами. Реферат (научной статьи, научного отчета, курсовой или дипломной работы) должен содержать тему, предмет (объект) исследования, цель, методы работы, полученные результаты, выводы, область применения результатов.

Научный обзор – это текст, содержащий синтезированную информацию сводного характера по некоторой тематике, извлеченную из ряда специально отобранных для этой цели первичных документов. Требования к видам, структуре и оформлению обзоров определяет ГОСТ 7.23–80. Обзор должен содержать следующие обязательные элементы: реферат, вводную часть, аналитическую часть, выводы. Не обязательные элементы – рекомендации и приложения.

Вводная часть содержит обоснование выбора темы обзора с указанием актуальности, значимости, временного интервала анализируемых первичных документов, их вида.

Аналитическая часть обзора должна содержать анализ и его результаты, обобщение и оценку систематизированных сведений о рассматриваемых вопросах, использованных методах исследования, оценку научно-технического уровня исследований и др.

Обзоры «стареют» значительно медленнее, чем первичные научные документы. Как правило, обзорные статьи в научных журналах появляются после 30–40 статей по некоторому вопросу.



3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

План лекции

- 3.1. Цели и методы теоретического исследования.
- 3.2. Математические методы в исследованиях. Модели.
- 3.3. Типы, задачи и классификация экспериментов.
- 3.4. Методологические основы эксперимента.
- 3.5. Метрологическое обеспечение эксперимента.
- 3.6. Общая характеристика измерений и средств измерений.
- 3.7. Организация рабочего места и погрешности результатов эксперимента.

3.1. Цели и методы теоретического исследования

Цель теоретических исследований – выделение в процессе синтеза знаний существенных связей между исследуемым объектом и окружающей средой, объяснение и обобщение результатов эмпирического исследования, выявление общих закономерностей и их формализация.

Задачами теоретического исследования являются:

- 1) обобщение результатов исследования, нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных;
- 2) расширение результатов исследования на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований;
- 3) изучение объекта, не доступного для непосредственного исследования;
- 4) повышение надежности экспериментального исследования объекта (обоснование параметров и условий наблюдения, точности измерений).

Теоретические исследования включают: анализ физической сущности процессов, явлений; формулирование гипотезы исследования;

построение (разработка) физической модели; проведение математического исследования; анализ теоретических решений; формулирование выводов.

Если не удастся выполнить математическое исследование, то формулируется рабочая гипотеза в словесной форме с привлечением графиков, таблиц и т. д.

В технических науках необходимо стремиться к применению математической формализации выдвинутых гипотез и выводов.

Процесс проведения теоретических исследований состоит обычно из нескольких стадий.

Оперативная стадия включает проверку возможности устранения технического противоречия, оценку возможных изменений в среде, окружающей объект, анализ возможности переноса решения задачи из других отраслей знания или использования «прообразов» природы.

Вторая стадия исследования является синтетической, в процессе которой определяется влияние изменения одной части объекта на построение других его частей, указываются необходимые изменения других объектов, работающих совместно с данным, оценивается возможность применения найденной технической идеи при решении других задач.

Выполнение названных предварительных стадий дает возможность приступить к **стадии постановки задачи**, в процессе которой определяется конечная цель решения задачи, выбирается наиболее эффективный путь ее решения и определяются требуемые количественные показатели.

Постановка задачи является наиболее трудной частью ее решения. Преобразование в начале расплывчатой формулировки задачи в четкую, определенную часто облегчает решение задачи.

Аналитическая стадия включает определение идеального конечного результата, выявляет помехи, мешающие получению идеального результата, и их причины, определяет условия, обеспечивающие получение идеального результата с целью найти, при каких условиях исчезнет «помеха».

Теоретическое исследование завершается формированием теории, не обязательно связанной с построением ее математического аппарата. Теория проходит в своем развитии различные стадии: от качественного объяснения и количественного измерения процессов до их формализации и в зависимости от стадии может быть представлена как в виде качественных правил, так и в виде математических уравнений (соотношений).

3.2. Математические методы в исследованиях. Модели

Решение практических задач математическими методами последовательно осуществляется путем математической формулировки задачи (разработки математической модели), выбора метода проведения исследования полученной математической модели, анализа полученных результатов.

Математическая формулировка задачи обычно представляется в виде чисел, геометрических образов, функций, систем уравнений и т. д.

Математическая модель – система математических соотношений: формул, функций, уравнений, систем уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса.

На этапе выбора типа математической модели при помощи анализа данных поискового эксперимента устанавливаются: линейность или нелинейность, динамичность или статичность, стационарность или нестационарность, а также степень детерминированности исследуемого объекта или процесса.

Установление общих характеристик объекта позволяет выбрать математический аппарат, на базе которого строится математическая модель.

Для описания сложных объектов с большим количеством параметров возможно разбиение объекта на элементы (подсистемы), установление иерархии элементов и описание связей между ними на различных уровнях иерархии.

Особое место на этапе выбора вида математической модели занимает описание преобразования входных сигналов в выходные характеристики объекта.

Если на предыдущем этапе было установлено, что объект является статическим, то построение функциональной модели осуществляется при помощи алгебраических уравнений. При этом кроме простейших алгебраических зависимостей используются регрессионные модели и системы алгебраических уравнений.

Если заранее известен характер изменения исследуемого показателя, то число возможных структур алгебраических моделей резко сокращается и предпочтение отдается той структуре, которая выражает наиболее общую закономерность или общеизвестный закон.

Если характер изменения исследуемого показателя заранее неизвестен, то ставится поисковый эксперимент. Предпочтение отдается той математической формуле, которая дает наилучшее совпадение с данными поискового эксперимента.

Процесс выбора математической модели объекта заканчивается ее предварительным контролем. При этом осуществляются следующие виды контроля: размерностей, порядков, характера зависимостей, экстремальных ситуаций, граничных условий, математической замкнутости, физического смысла, устойчивости модели.

Контроль размерностей сводится к проверке выполнения правила, согласно которому приравниваться и складываться могут только величины одинаковой размерности.

Контроль порядков направлен на упрощение модели. При этом определяются порядки складываемых величин и явно малозначительные слагаемые отбрасываются.

Контроль характера зависимостей состоит в проверке направления и скорости изменения одних величин при изменении других. Направления и скорость, вытекающие из математической модели, должны соответствовать физическому смыслу задачи.

Контроль экстремальных ситуаций сводится к проверке наглядного смысла решения при приближении параметров модели к нулю или бесконечности.

Контроль граничных условий состоит в том, что проверяется соответствие математической модели граничным условиям, вытекающим из смысла задачи. При этом проверяется, действительно ли граничные условия поставлены и учтены при построении искомой функции и что эта функция на самом деле удовлетворяет таким условиям.

Контроль математической замкнутости сводится к проверке того, что математическая модель дает однозначное решение.

Контроль физического смысла направлен на проверку физического содержания промежуточных соотношений, используемых при построении математической модели.

Контроль устойчивости модели состоит в проверке того, что варьирование исходных данных в рамках имеющихся данных о реальном объекте не приведет к существенному изменению решения.

3.3. Типы, задачи и классификация экспериментов

Эксперимент является важнейшей частью научного исследования. Слово «эксперимент» происходит от латинского *experimentum* – проба, опыт. Синонимами этого слова являются наблюдение, опыт. Можно дать разные определения для понятия «эксперимент», поскольку

в различных отраслях науки существуют свои особенности проведения эксперимента. Наиболее полное определение: *эксперимент* – это научная постановка опытов и наблюдение явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий. Можно также дать более простые определения эксперимента:

– действие, направленное на создание условий осуществления того или иного явления;

– воспроизведение объекта познания;

– организация особых условий существования объекта познания;

– проверка предсказания теории и т. д.

Последние определения характеризуют также цели эксперимента. Кроме того, *целями эксперимента* могут быть: выявление свойств объекта исследования; проверка справедливости гипотез; широкое и глубокое изучение темы исследования и др.

Эксперименты классифицируют по разным признакам (таблица).

Классификация экспериментов по разным признакам

Признак	Вид эксперимента
Отрасль науки	Химический. Физический. Биологический и др.
Способ формирования условий	Естественный. Искусственный
Цель исследования	Преобразующий. Констатирующий. Контролирующий. Поисковый. Решающий
Организация проведения	Лабораторный. Натурный. Полевой. Производственный
Структура изучаемых объектов	Простой. Сложный
Характер внешних воздействий на объект	Вещественный. Энергетический. Информационный
Характер взаимодействия средства исследования с объектом	Обычный. Модельный
Тип используемых моделей	Материальный. Мысленный

Признак	Вид эксперимента
Контролируемые величины	Пассивный. Активный
Число варьируемых параметров	Однофакторный. Многофакторный
Характер изучаемых объектов	Технологический. Социометрический и др.

Естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования. Чаще всего этот вид эксперимента используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках. *Искусственный эксперимент* предполагает проведение опытов в искусственно формируемых условиях. Такие эксперименты широко применяются в естественных и технических науках.

Преобразующий эксперимент включает активное изменение структуры и функций объекта исследования в соответствии с выдвинутой гипотезой, формирование новых связей и отношений между компонентами объекта или между исследуемым объектом и другими объектами. *Констатирующий эксперимент* используется для проверки определенных предположений. *Контролирующий эксперимент* сводится к контролю за результатами внешних воздействий на объект исследования с учетом его состояния, характера воздействия и ожидаемого эффекта. *Поисковый эксперимент* проводится, если отсутствуют достаточные предварительные данные для выбора важнейших факторов, влияющих на изучаемое явление. *Решающий эксперимент* ставится для проверки справедливости основных положений двух или более фундаментальных теорий, описывающих изучаемое явление или объект.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, установок, стендов, оборудования и др. *Натурный эксперимент* ставится в естественных условиях и на реальных объектах.

В зависимости от места проведения натурный эксперимент может быть полевым, производственным и т. п.

Простой эксперимент используется для изучения объектов, имеющих разветвленную структуру, с небольшим числом взаимодействующих элементов. *Сложный эксперимент* изучает явления или

объекты с разветвленной структурой и большим числом взаимосвязанных элементов.

Информационный эксперимент применяется для изучения воздействия определенной информации на объект исследования. Этот вид эксперимента часто встречается в биологии, психологии, социологии и т. п. *Вещественный эксперимент* предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования. *Энергетический эксперимент* используется для изучения воздействия различных видов энергии (электромагнитной, механической, тепловой и др.) на объект исследования.

Обычный (или классический) *эксперимент* включает в себя экспериментатора, объект или предмет исследования и средства исследования. Экспериментатор взаимодействует с объектом через средства исследования. *Модельный эксперимент* в отличие от обычного имеет дело с моделью объекта, при этом часто и средства исследования являются некоторыми моделями.

Мысленный эксперимент основан на мысленных моделях используемых объектов или явлений, тогда как в *материальном эксперименте* применяются материальные модели объектов. Мысленный эксперимент имеет более широкую сферу использования, чем материальный, так как его можно применить тогда, когда проведение реальных опытов невозможно, а также он используется при подготовке и планировании материальных экспериментов. Мысленный эксперимент является одной из форм умственной деятельности и неотъемлемой частью любой творческой деятельности. Например, закон инерции не мог быть выведен непосредственно из эксперимента, а только благодаря мышлению, т. е. мысленным экспериментом.

Пассивный эксперимент предусматривает измерение только выбранных параметров в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование. В *активном эксперименте* на объект исследования воздействуют с помощью какого-то фактора (искусственно изменяют состояние объекта) и регистрируют изменение некоторых параметров объекта.

Однофакторный эксперимент при изучении влияния ряда факторов на объект исследования предполагает поочередное варьирование интересующих факторов при поддержании на определенном уровне других факторов. *Многофакторный эксперимент* предусматривает в этом случае варьирование сразу всех факторов по определенному плану, и влияние каждого фактора определяется по результатам всей серии опытов.

3.4. Методологические основы эксперимента

Методика эксперимента – совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования. При разработке методик эксперимента необходимо учитывать:

- 1) наличие исходных данных для исследований;
- 2) создание условий эксперимента;
- 3) определение пределов измерений;
- 4) систематическое наблюдение за изучаемым явлением;
- 5) систематическая регистрация измерений;
- 6) создание повторяющихся условий эксперимента;
- 7) переход от эмпирического изучения к логическим обобщениям;
- 8) опыт других исследователей.

План эксперимента включает в себя: формулировку цели и задач эксперимента; выбор варьируемых факторов; обоснование объема эксперимента, числа опытов; порядок проведения опытов; выбор и обоснование средств измерений; выбор и обоснование способов обработки и анализа результатов.

Число задач эксперимента не должно быть большим. Обычно перед экспериментом ставится 3–4 задачи, но не больше 8–10 задач.

В технических науках чаще всего используется активный эксперимент, когда исследуется влияние ряда факторов на некоторый важный параметр объекта исследования. При выборе *варьируемых факторов* важно знать основные и второстепенные факторы. Если такой информации нет, необходимо ставить предварительные опыты или поисковый эксперимент. После выбора основных варьируемых факторов следует определить *число опытов и порядок их проведения*. Это зависит от числа варьируемых параметров. Если таких параметров мало (1–3), то обычно ставят однофакторный эксперимент, в противном случае – многофакторный. Кроме того, при выборе *числа опытов* необходимо учитывать минимальное количество повторных измерений, которое обеспечивает устойчивое среднее значение измеряемой величины с заданной точностью.

При выборе *средств и методов измерений* лучше использовать серийно выпускаемые приборы. Необходимо обращать пристальное внимание на точность измерений и погрешности приборов.

Обработка результатов эксперимента должна включать в себя систематизацию результатов, сведение их в удобные для восприятия

графики, таблицы, диаграммы и т. д. Также полезно предусмотреть математическую обработку данных: установление и аппроксимацию эмпирических зависимостей на основе различных математических моделей; статистическую обработку данных (отсеивание грубых ошибок, определение доверительных интервалов и т. д.). Результаты эксперимента должны отвечать трем статистическим требованиям:

- эффективность оценок, т. е. минимальность дисперсий;
- состоятельность оценок, т. е. при увеличении числа повторных измерений дисперсии должны уменьшаться;
- несмещенность оценок, т. е. отсутствие систематических ошибок.

3.5. Метрологическое обеспечение эксперимента

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Основоположником метрологии как науки был Д. И. Менделеев, который в 1893 г. создал Главную палату мер и весов.

Предметом метрологии является: общая теория измерений; единицы физических величин и их системы; методы и средства измерений; методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение эксперимента регулируется следующими стандартами:

- 1) ГОСТ 16263–70. Метрология. Термины и определения;
- 2) ГОСТ 8.009–84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений;
- 3) ГОСТ 1.25–76. ГСС. Метрологическое обеспечение. Основные положения;
- 4) ГОСТ 8.002–86. ГСИ. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения.

Важнейшее значение в метрологии занимают **эталоны** – средства измерений, обеспечивающие хранение и воспроизведение единицы физической величины с наивысшей достижимой точностью с целью передачи ее размера нижестоящим средствам измерения. Эталоны выполняются по особой спецификации. Эталоны обычно передают размер физической величины образцовым средствам измерения – **мерам**. Меры служат для проверки по ним технических (рабочих) средств измерения, используемых непосредственно в исследованиях.

Механизм передачи размера единицы физической величины от эталона к рабочим средствам измерения представлен на схеме (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Схема механизма передачи размера физической величины от эталона рабочим средствам измерения

Передачу размеров единиц физических величин от эталонов образцовым мерам и от мер рабочим средствам измерения обеспечивают государственные и ведомственные метрологические органы. Метрологическая служба связана со всей системой стандартизации в стране, которую возглавляет Государственный комитет по стандартизации. Структура метрологической службы представлена на рис. 3.2.

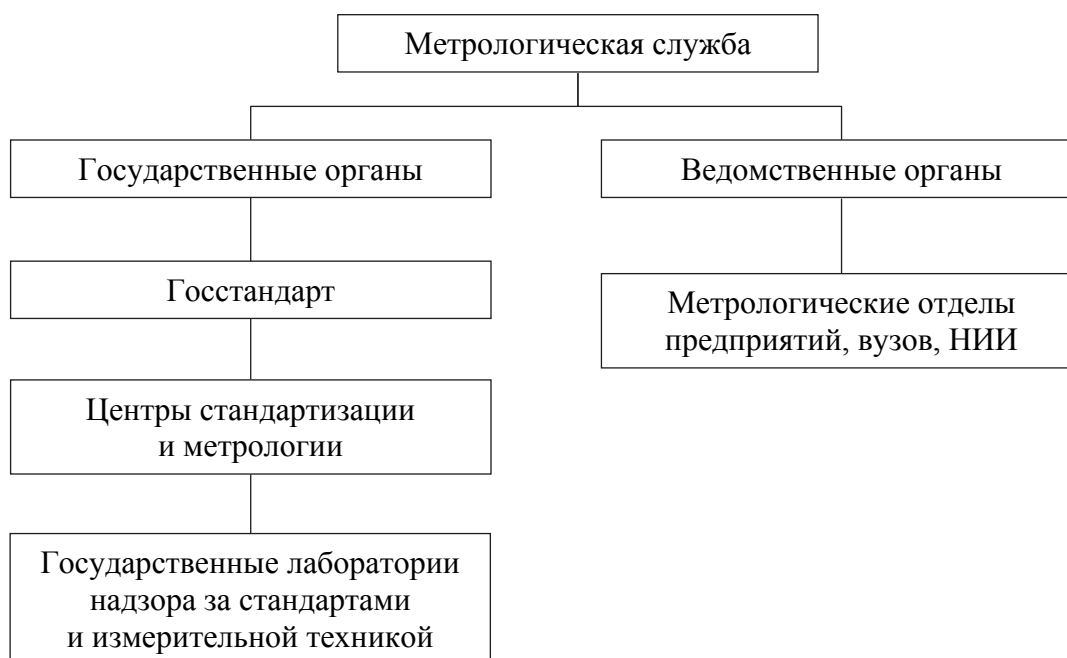


Рис. 3.2. Структура метрологической службы

Государственные службы осуществляют государственный контроль и проводят *государственную поверку* средств измерения примерно раз в 1–2 года. Ведомственные службы осуществляют повседневную систематическую работу на данном предприятии по обеспечению общегосударственного единства. Их функциями является: надзор за состоянием всех средств измерений и поверки, правильным применением измерительных и испытательных устройств; разработка методов поверки средств измерений; метрологический контроль по испытанию готовой продукции и др.

3.6. Общая характеристика измерений и средств измерений

Измерение – нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Методы измерения можно разделить на прямые и косвенные. *Прямые измерения* – это измерения, при которых значение величины устанавливают непосредственно из опыта. *Косвенные измерения* – это измерения, при которых значение величины определяют функционально от других величин, определенных прямыми измерениями.

Методы измерения бывают абсолютные и относительные. *Абсолютные измерения* – это прямые измерения в единицах физической величины. *Относительные измерения* – это отношение измеряемой величины к одноименной величине, играющей роль единицы.

Методы измерения подразделяются также на методы непосредственной оценки и методы сравнения с мерой. *Метод непосредственной оценки* позволяет определять значение величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. В *методе сравнения с мерой* измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Методы сравнения с мерой делят на метод противопоставления, дифференциальный метод, нулевой метод, метод замещения и метод совпадений. В *методе противопоставления* измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Например, измерение массы на равноплечных весах, где в качестве мер используются гири. В *дифференциальном методе* на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой. Например, измерения для проверки мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе. В *нулевом методе* результирующий эффект воздействия величины на прибор доводят до нуля. Например, измерение электрического сопротивления мостовым методом. В *методе замещения* измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гири на одну и ту же чашку весов. В *методе совпадений* разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряется с использованием совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Средства измерений – это совокупность технических средств, имеющих нормированные погрешности. Простейшим средством

измерения являются меры, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера. Например, гиря является мерой массы.

Измерительный прибор – средство измерения, предназначенное для получения определенной информации об изучаемой величине в удобной для экспериментатора форме. Любой прибор состоит из двух основных узлов: воспринимающего сигнал и преобразующего сигнал в показание.

По способу отсчета значения измеряемой величины приборы классифицируются на показывающие и регистрирующие. *Показывающие приборы* бывают аналоговые, отсчетные устройства которых состоят из шкалы и указателя, и цифровые, в которых значение измеряемой величины показывается в виде цифр на цифровом табло. *Регистрирующие приборы* бывают самопишущие и печатные. Самопишущие приборы выдают график изменения значений измеряемой величины, печатные приборы – значения в виде цифр на бумаге.

Приборы также классифицируют по точности измерений, стабильности, чувствительности, пределам измерений и т. д.

Измерительная установка (стенд) – это система, состоящая из основных и вспомогательных средств измерения, предназначенных для измерения одной или нескольких величин. Установки включают в себя различные средства измерений и преобразователи сигналов.

Отсчетные устройства измерительных приборов бывают шкальными, цифровыми и регистрирующими. Разность между значениями измеряемой величины, соответствующими началу и концу шкалы, называют **диапазоном показаний** прибора.

Погрешности приборов бывают абсолютными и относительными. **Абсолютная погрешность** прибора – разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины, полученным, например, с помощью более точного прибора:

$$\Delta x = \pm(x_{\text{и}} - x_{\text{д}}), \quad (3.1)$$

где $x_{\text{и}}$ – показания прибора; $x_{\text{д}}$ – действительное значение измеренной величины.

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выраженное в процентах:

$$\delta = \pm \frac{(x_{\text{и}} - x_{\text{д}})}{x_{\text{д}}}. \quad (3.2)$$

Погрешности делят также на систематические и случайные. **Систематические погрешности** приборов появляются вследствие недоброкачественных материалов, комплектующих, плохого качества изготовления прибора, неправильной эксплуатации, а также после длительной эксплуатации из-за «старения» материалов и комплектующих.

Случайные ошибки вызываются случайными факторами: ошибками отсчета, параллаксом, вибрацией и др.

Основными погрешностями прибора называют суммарные погрешности, установленные при следующих условиях: температура 20°C; влажность воздуха 80%; давление 101 325 Па.

Диапазон измерений – это та часть диапазона показаний прибора, для которой установлены погрешности прибора. Разность между минимальным и максимальным показаниями прибора называют **размахом**. В зависимости от порядка измерений размах может варьироваться. Такую разницу в размахах называют **вариацией показаний** прибора. Вариация показаний является простейшей характеристикой погрешности прибора.

Чувствительность прибора – способность отсчитывающего устройства реагировать на изменения измеряемой величины. **Порог чувствительности** прибора – наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее изменение показаний прибора, которое можно зафиксировать. **Стабильность** (воспроизводимость) прибора – это свойство отсчетного устройства обеспечивать постоянство показаний одного и того же значения измеряемой величины. Со временем стабильность нарушается вследствие «старения» материалов. Поэтому все средства измерений проходят **периодическую поверку** с целью определения погрешностей прибора. В периоды между **государственными поверками** (1–2 года) осуществляется **ведомственная поверка**. Кроме того, непосредственно перед началом исследований каждым экспериментатором проводится **рабочая поверка** приборов, которая может включать в себя: определение диапазона, вариации измерений, регулировку и градуировку.

Регулировка прибора – это операции, направленные на снижение систематических ошибок до величины, меньшей допустимой погрешности. Обычно в приборах допускается регулировка нуля и чувствительности. **Регулировка нуля** – устранение систематических погрешностей на нижнем пределе измерений. **Регулировка чувствительности** позволяет уменьшить систематические погрешности, которые линейно изменяются с изменением измеряемой величины.

3.7. Организация рабочего места и погрешности результатов эксперимента

Рабочее место – часть рабочего пространства, на которое распространяется непосредственное воздействие экспериментатора в процессе исследования. **Рабочее пространство** – часть лабораторного или производственного помещения, оснащенная необходимыми экспериментальными средствами. **Лаборатория** – специально оборудованное помещение, в котором производятся экспериментальные исследования. Лаборатории бывают стационарные, передвижные и ходовые. Рабочее место стационарной лаборатории обычно представляет собой рабочий стол, который в зависимости от назначения лаборатории должен обеспечиваться водой, электричеством, газом, подводом пара, сжатого воздуха, общего вакуума и др. Рабочее место должно быть хорошо освещено.

Перед проведением эксперимента следует обдумать и уяснить четко методику, подготовить лабораторные тетради, журналы для регистрации результатов опытов (не записывать результаты на листках). В процессе проведения эксперимента в лабораторном журнале необходимо максимально фиксировать все факты. Желательно записывать все впечатления об объекте исследования, результатах измерений, если они не отражены непосредственно в измеряемых величинах. В процессе эксперимента необходимо следить за работающими приборами и установками, а также соблюдать требования техники безопасности и санитарии. Следует помнить, что проведение научного эксперимента является довольно дорогостоящим и трудоемким мероприятием. Поэтому нужно подходить к его проведению ответственно и стараться предусмотрительно избегать ошибок и просчетов в организации эксперимента.

Значительное внимание необходимо уделить анализу результатов эксперимента и, в частности, анализу погрешностей. **Источниками погрешностей** при проведении эксперимента являются: несовершенство средств и методов измерений, недостаточно тщательная подготовка опытов, влияние неучтенных факторов, субъективные особенности экспериментатора.

Систематические погрешности при повторных измерениях остаются постоянными или же изменяются по некоторому закону. **Случайные погрешности** возникают случайно и при повторных измерениях сильно меняются. Случайные погрешности можно оценить и минимизировать проведением повторных измерений и статистической

обработкой результатов. Выделяют также *грубые ошибки* или промахи, которые относятся к случайным и вызваны обычно ошибками экспериментатора. Промахи могут быть довольно легко обнаружены и исключены из результатов с помощью статистических методов, если планом эксперимента предусмотрены повторные измерения для статистической обработки результатов.

Источниками систематических ошибок являются: износ и «старение» средств измерений; неправильная установка и настройка средств измерений; воздействие внешней среды; погрешности метода измерения; субъективные особенности экспериментатора. Систематические погрешности обязательно необходимо выявлять и исключать (например, строго следовать методике измерений, инструкции по эксплуатации прибора и др.).

Еще одним важным источником субъективных ошибок при анализе результатов эксперимента могут быть психологические факторы, в частности инерционность мышления. Так, новые неожиданные результаты могут отбрасываться как грубые промахи, бессознательная подгонка результатов под какую-то гипотезу или закон.



4. АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

План лекции

- 4.1. Основные понятия математической статистики.
- 4.2. Первичная обработка выборки.
- 4.3. Доверительные интервалы для параметров нормального распределения.
- 4.4. Определение минимального числа повторных опытов для достижения требуемой точности измерения величины.
- 4.5. Исключение грубых ошибок.
- 4.6. Оценка случайных ошибок косвенных измерений.
- 4.7. Оценка однородности дисперсий.
- 4.8. Проверка нормальности распределения.
- 4.9. Пример статистической обработки экспериментальных результатов.

Статистическая обработка результатов основана на выявлении и оценке случайных ошибок. Методы обработки базируются на теории вероятностей и математической статистике.

4.1. Основные понятия математической статистики

Математическая статистика – раздел математики, близкий к теории вероятностей, но это отдельная наука. Она решает задачи, обратные к задачам теории вероятностей. Различие между ними можно пояснить двумя примерами типичных задач этих разделов математики. Типичная задача теории вероятностей: известна вероятность выловить окуня; какова вероятность, что среди 200 выловленных рыб окажется три окуня? Типичная задача математической статистики:

выловили 200 рыб, среди них оказалось три окуня; какова вероятность выловить окуня?

Рассмотрим основные понятия математической статистики. **Генеральная совокупность** – гипотетическая (бесконечная) совокупность всех возможных значений случайной величины. **Выборка** – конечная совокупность значений случайной величины. Число значений случайной величины в выборке называется **объемом выборки**.

Допустим, имеется выборка значений случайной величины (например, измеренные значения физической величины в повторных опытах):

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \quad (4.1)$$

где n – объем выборки.

Вероятность того, что данная случайная величина примет одно из значений выборки, будет равна p . **Выборочный закон распределения** такой случайной величины будет иметь вид

$$\begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{pmatrix}. \quad (4.2)$$

Выборочное математическое ожидание представляет собой среднее арифметическое выборки:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \approx M\xi, \quad (4.3)$$

Выборочная дисперсия определяется следующим выражением:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \approx D\xi. \quad (4.4)$$

Однако эта оценка является смещенной. Чаще используют несмещенную оценку дисперсии:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \approx D\xi. \quad (4.5)$$

Выборочной несмещенной оценкой среднеквадратичного отклонения будет:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \approx \sigma. \quad (4.6)$$

4.2. Первичная обработка выборки

Первичная обработка выборки включает в себя три операции: упорядочение, частотный анализ и группировку.

Упорядочение выборки. Статистические характеристики выборки не зависят от порядка самих значений. Упорядочение выборки проводится по возрастанию значений выборки:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n. \quad (4.7)$$

Упорядоченная выборка называется *вариационным рядом*, а разность между максимальным и минимальным значениями выборки – *размахом выборки*:

$$w = x_n - x_1. \quad (4.8)$$

Частотный анализ. Если выборку представить в виде таблицы, содержащей только различные значения и соответствующие им числа, показывающие, сколько раз данное встречается в выборке, то получим таблицу, называемую *статистическим рядом*:

$$\begin{pmatrix} z_1 & z_2 & \dots & z_k \\ n_1 & n_2 & \dots & n_k \end{pmatrix}, \quad (4.9)$$

где k – число различных значений в выборке; n_i – частота элемента выборки z_i . Очевидно, что сумма частот всех элементов выборки равна объему выборки:

$$\sum_{i=1}^k n_i = n. \quad (4.10)$$

Величина

$$v_i = \frac{n_i}{n} \quad (4.11)$$

называется *относительной частотой* элемента выборки z_i , которую можно приравнять вероятности обнаружения данного элемента в выборке. С помощью относительных частот можно построить выборочный закон распределения. Если значения выборки z_1, z_2, \dots, z_k упорядочены, тогда каждому элементу выборки можно приписать *накопленную частоту*:

$$n'_i = \sum_{j=1}^i n_j \quad (4.12)$$

и относительную накопленную частоту:

$$v'_i = \frac{n'_i}{n} = \sum_{j=1}^i v_j. \quad (4.13)$$

Последняя величина представляет собой вероятность обнаружения в выборке элементов, меньших или равных данному элементу z_i . Относительные накопленные частоты можно использовать для построения выборочной функции распределения в табличном виде.

Группировка. При большом объеме выборки ее элементы объединяют в группы, представляя результаты опытов в виде группированного статистического ряда. Для этого диапазон значений выборки разбивают на k непересекающихся интервалов. Чаще всего используют равные интервалы. Число интервалов можно определить по формуле

$$k = 1 + 1,39 \ln n. \quad (4.14)$$

Если элемент выборки попадает ровно на границу интервала, его относят к интервалу с большими значениями. Последний интервал включает и правую границу. Затем подсчитывают частоты – число элементов выборки в данном интервале, находят середины интервалов, а также накопленные частоты. Результаты группировки оформляют в виде таблицы частот группированной выборки. Процесс построения такой таблицы называют *частотной табуляцией*.

4.3. Доверительные интервалы для параметров нормального распределения

Поскольку при малых объемах выборки выборочные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения могут значительно отличаться от соответствующих параметров генеральной совокупности, то более информативным будет определение некоторого интервала для оцениваемого параметра, который называют доверительным интервалом. Однако статистические методы позволяют установить границы этого интервала не точно, а с некоторой вероятностью, которую называют *доверительной вероятностью* (надежностью). Доверительную вероятность будем обозначать $1 - \alpha$. При этом величину α называют *уровнем значимости* данной интервальной оценки. Обычно на практике задаются уровнями значимости 0,01; 0,05 или 0,001.

Доверительный интервал – интервал $(x_1; x_2)$, который с доверительной вероятностью $1 - \alpha$ покрывает истинное значение оцениваемого параметра x .

При известных функции или плотности распределения, а также заданном определенном значении вероятности, можно легко найти интервал значений случайной величины, вероятность попадания в который равна заданной. Однако такой интервал можно выбрать многими способами. Например, если задана доверительная вероятность $1 - \alpha$ и известна функция распределения случайной величины $F(x)$, то искомые интервалы могут быть найдены исходя из следующих равенств:

$$F(x) = 1 - \alpha,$$

или

$$F(x_2) - F(x_1) = 1 - \alpha. \quad (4.15)$$

В первом случае интервал будет равен $(-\infty; x)$, во втором случае – $[x_1; x_2)$. Причем значения x_1 и x_2 можно выбрать произвольно. Важно только, чтобы разность значений функции нормального распределения при x_2 и x_1 равнялась доверительной вероятности. Так, на рис. 4.1 приведено два примера выбора интервалов для данной функции распределения и доверительной вероятности, равной 0,9 (уровень значимости 0,1).

Один интервал $(-\infty; 1,28)$ выбран из условия

$$F(x) = 0,9 \Rightarrow x \approx 1,28.$$

Второй интервал $(-1,48; 1,88)$ выбран из следующих условий:

$$F(x_2) - F(x_1) = 0,9;$$

$$F(x_2) = 0,97 \Rightarrow x_2 = 1,88;$$

$$F(x_1) = 0,07 \Rightarrow x_1 = -1,48.$$

Аналогично, зная плотность распределения, можно установить интервал значений случайной величины с данной доверительной вероятностью. Однако при использовании плотности распределения вероятность определяется по площади под участком кривой. Так, на рис. 4.2 приведено два примера выбора интервалов для данной плотности распределения и доверительной вероятности, равной 0,95.

Первый интервал $(-\infty; 1,64)$ на рис. 4.2, а выбран из условия

$$\int_{-\infty}^x p(z) dz = 0,95 \Rightarrow x \approx 1,64. \quad (4.16)$$

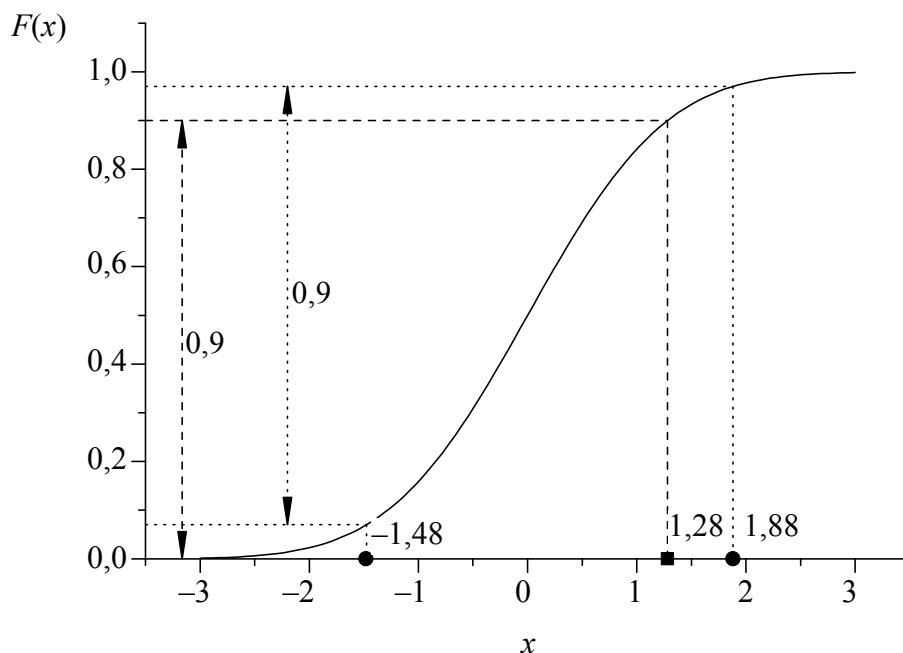


Рис. 4.1. Примеры вариантов выбора доверительных интервалов по функции нормального распределения при доверительной вероятности 0,9

Второй интервал $(-2,05; 1,88)$ на рис. 4.2, б выбран из условий

$$\int_{x_1}^{x_2} p(x)dx = \int_{-\infty}^{x_2} p(x)dx - \int_{-\infty}^{x_1} p(x)dx = 0,95;$$

$$\int_{-\infty}^{x_2} p(x)dx = 0,97 \Rightarrow x_2 = 1,88; \quad (4.17)$$

$$\int_{-\infty}^{x_1} p(x)dx = 0,02 \Rightarrow x_1 = -2,05.$$

Использование плотности распределения (рис. 4.2) для выбора доверительного интервала предпочтительнее, чем использование функции распределения (рис. 4.1). Плотность распределения позволяет более наглядно представить характер распределения значений случайной величины, чем функция распределения. Так, из рис. 4.2 хорошо видно, что случайная величина распределена симметрично относительно некоторого значения, соответствующего максимуму плотности распределения. Также из двух представленных на рис. 4.2 вариантов доверительных интервалов более «правильным», «достоверным» будет вариант, приведенный на рис. 4.2, б, который является более узким, а также включает в себя больше значений вблизи максимума, т. е. вблизи наиболее вероятного значения случайной величины. В общем случае

наиболее оптимальным доверительным интервалом следует считать наиболее узкий интервал при данной доверительной вероятности. В частности, если представленная на рис. 4.2 плотность распределения является идеально симметричной (как нормальное распределение), то наиболее оптимальным доверительным интервалом будет симметричный относительно максимума распределения интервал. Так, при доверительной вероятности 0,95 оптимальным доверительным интервалом будет такой, при котором площади «хвостов» под кривой плотности распределения (рис. 4.2, б) будут равны по 0,05.

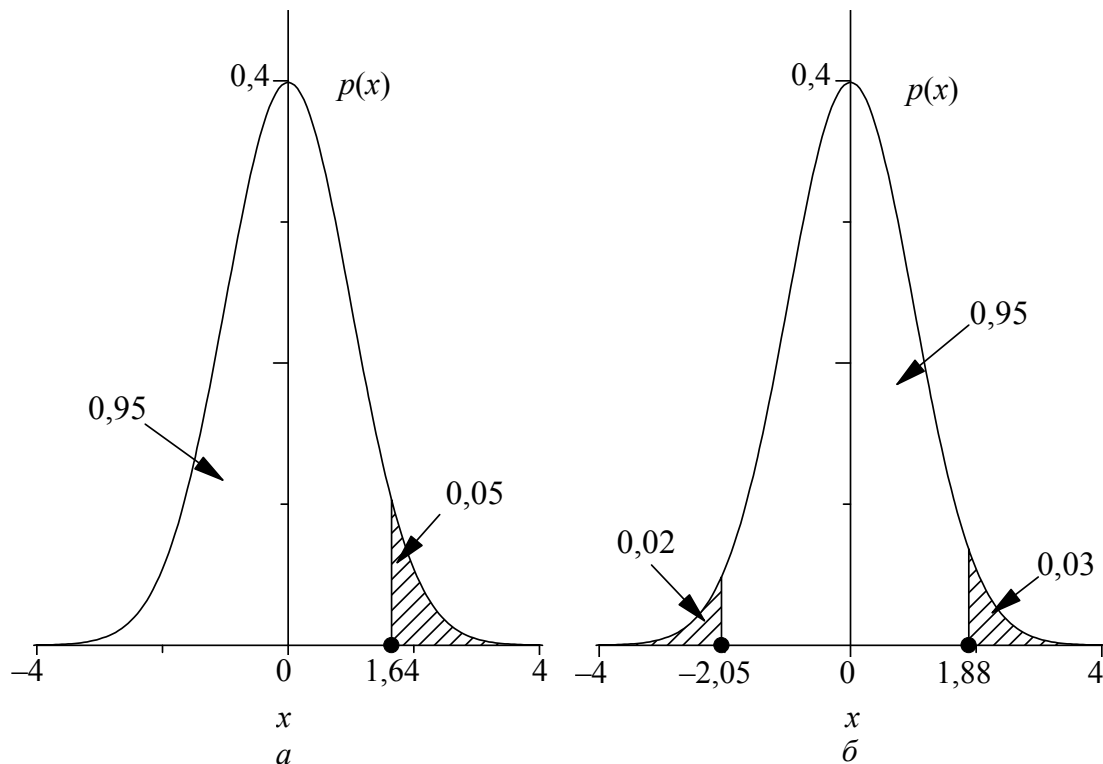


Рис. 4.2. Примеры вариантов выбора доверительных интервалов по плотности нормального распределения при доверительной вероятности 0,95:
 а – первый доверительный интервал $(-\infty; 1,64)$;
 б – второй доверительный интервал $(-2,05; 1,88)$

Далее будут рассмотрены расчеты доверительных интервалов для математического ожидания и дисперсии случайной величины, распределенной по нормальному закону. Задача ставится так: дана выборка x_1, x_2, \dots, x_n из нормально распределенной генеральной совокупности; необходимо найти доверительные интервалы для параметров a и σ^2 (формула (4.5)).

Доверительный интервал для математического ожидания. Поскольку нормальное распределение симметрично, то доверительный интервал будет симметричен относительно наиболее вероятного значения, в качестве которого берется среднее арифметическое выборки. Доверительный интервал будет иметь следующий вид:

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

или

$$a = \bar{x} \pm \Delta, \quad (4.18)$$

где Δ – радиус интервала.

При расчете возможно два случая в зависимости от того, известна или нет дисперсия нормального распределения.

1. Дисперсия σ^2 известна. Выборочные значения рассматриваются как случайные величины, подчиняющиеся нормальному закону распределения. Тогда математические ожидания их одинаковы и равны параметру a (формула (4.3)):

$$Mx_1 = Mx_2 = \dots = Mx_n = a.$$

Аналогично дисперсии этих величин одинаковы и равны σ^2 :

$$Dx_1 = Dx_2 = \dots = Dx_n = \sigma^2.$$

Теперь определим математическое ожидание для выборочного среднего, используя свойства математического ожидания (формула (4.3)):

$$M\bar{x} = M\left(\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}\right) = \frac{Mx_1 + Mx_2 + \dots + Mx_n}{n} = \frac{an}{n} = a.$$

Математическое ожидание выборочного среднего равно математическому ожиданию выборочных значений. Теперь вычислим дисперсию выборочного среднего, используя свойства дисперсии (формулы (4.4) и (4.5)):

$$D\bar{x} = D\left(\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}\right) = \frac{Dx_1 + Dx_2 + \dots + Dx_n}{n^2} = \frac{n\sigma^2}{n^2} = \frac{\sigma^2}{n}.$$

Дисперсия выборочного среднего в n раз меньше дисперсии выборочных значений. Таким образом, выборочное среднее представляет собой случайную величину, которая подчиняется нормальному распределению с математическим ожиданием, равным a , и дисперсией,

равной σ^2 / n . Проведем стандартизацию выборочного среднего посредством замены его в соответствии с формулой (4.6):

$$U = \frac{\bar{x} - a}{\sigma / \sqrt{n}}. \quad (4.19)$$

Случайная величина U имеет стандартное нормальное распределение, функция и плотность которого известна. Поскольку плотность стандартного нормального распределения симметрична относительно нуля, то оптимальный доверительный интервал $(u_{\alpha/2}; u_{1-\alpha/2})$ также будет симметричен относительно нуля и будет зависеть только от уровня значимости α (рис. 4.3). Причем

$$u_{\alpha/2} = -u_{1-\alpha/2}.$$

Величины $u_{\alpha/2}$ и $u_{1-\alpha/2}$ называются квантилями стандартного нормального распределения уровней $\alpha / 2$ и $1 - \alpha / 2$ соответственно. Их значения представляют собой значения аргумента функции распределения стандартной нормальной случайной величины при вероятностях, равных уровням квантилей:

$$F(u_{\alpha/2}) = \alpha / 2 \text{ и } F(u_{1-\alpha/2}) = 1 - \alpha / 2.$$

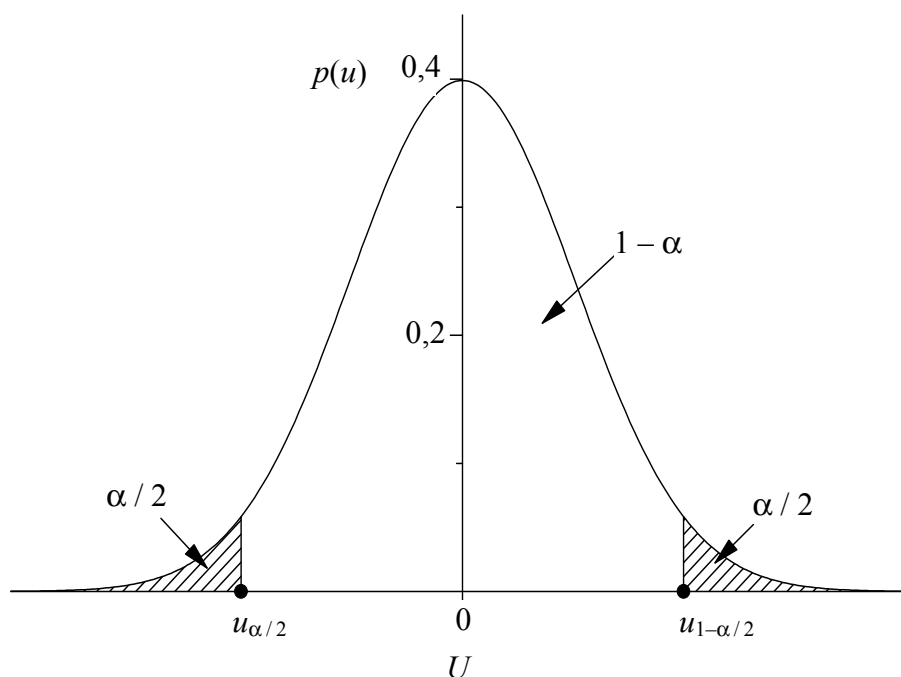


Рис. 4.3. Доверительный интервал для стандартной нормальной случайной величины U при уровне значимости α

Значения функции распределения стандартной нормальной случайной величины табулируются, такие таблицы могут использоваться для нахождения квантилей по заданному уровню значимости α . Также значения функции распределения стандартной нормальной величины можно определить, используя различные компьютерные программы. Например, в программе Microsoft Excel функция «НОРМ.СТ.ОБР» позволяет найти аргумент функции нормального распределения по заданному значению вероятности. Значения квантилей стандартного нормального распределения для некоторых уровней приведены в приложении (табл. П1).

Проведем теперь обратную замену переменных для границ интервала случайной величины U на границы интервала математического ожидания выборочных значений:

$$\begin{aligned}
 u_{\alpha/2} &\leq \frac{\bar{x} - a}{\sigma / \sqrt{n}} \leq u_{1-\alpha/2}; \\
 -u_{1-\alpha/2} &\leq \frac{\bar{x} - a}{\sigma / \sqrt{n}} \leq u_{1-\alpha/2}; \\
 \frac{-u_{1-\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}} &\leq \bar{x} - a \leq \frac{u_{1-\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}}; \\
 \frac{-\bar{x} - u_{1-\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}} &\leq -a \leq \frac{-\bar{x} + u_{1-\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}}; \\
 \frac{\bar{x} + u_{1-\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}} &\leq a \leq \frac{\bar{x} - u_{1-\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}}.
 \end{aligned}$$

Последний результат означает, что доверительный интервал для математического ожидания нормального распределения a при известной дисперсии будет следующим:

$$\left(\bar{x} - u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

и радиус интервала:

$$\Delta = u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \tag{4.20}$$

При увеличении объема выборки n точность интервальной оценки растет пропорционально корню квадратному из n .

2. Дисперсия σ^2 неизвестна. В этом случае построение доверительного интервала основано на следующей важной теореме: *если*

выборка распределена по нормальному закону и s^2 – выборочная дисперсия, то случайная величина ns^2 / σ^2 распределена по закону χ^2 с $n - 1$ степенью свободы:

$$n \frac{s^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1).$$

Если теперь стандартную нормальную случайную величину разделить на корень квадратный из случайной величины, распределенной по закону χ^2 с $n - 1$ степенью свободы, деленной на $n - 1$, то получим новую случайную величину, имеющую распределение Стьюдента с $n - 1$ степенью свободы:

$$U / \sqrt{\frac{n}{n-1} \frac{s^2}{\sigma^2}} = U / \left(\frac{s}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{n-1}} \right) = U / \left(\frac{S}{\sigma} \frac{\xi}{\sqrt{\chi^2(n-1)/(n-1)}} \right) = t(n-1),$$

где S – несмещенная оценка среднеквадратичного отклонения (формула (4.6)).

Стандартную нормальную случайную величину мы уже получили из выборочного среднего (формула (4.19)). Если подставить ее в последнее выражение, получим случайную величину с распределением Стьюдента с $n - 1$ степенью свободы:

$$t = \frac{\bar{x} - a}{\sigma / \sqrt{n}} / \frac{S}{\sigma} = \frac{\bar{x} - a}{S / \sqrt{n}}.$$

Распределение Стьюдента, как и стандартное нормальное распределение, является симметричным с математическим ожиданием, равным нулю, поэтому построение доверительного интервала далее проводится аналогично. Интервал выбирается таким образом, чтобы площадь обоих «хвостов» под графиком плотности распределения Стьюдента равнялась по $\alpha / 2$ (рис. 4.4). Получаемый таким образом доверительный интервал ($t_{\alpha/2, n-1}$; $t_{1-\alpha/2, n-1}$) ограничивается квантилями распределения Стьюдента уровней $\alpha / 2$ и $1 - \alpha / 2$. Причем

$$t_{\alpha/2, n-1} = t_{1-\alpha/2, n-1}.$$

Величина интервала зависит от принятого уровня значимости и числа степеней свободы. Квантиль распределения Стьюдента уровня q представляет собой значение аргумента функции распределения Стьюдента при вероятности, равной q . Эти значения приводят во многих таблицах для разных уровней и числа степеней свободы. Также

эти значения можно найти в компьютерных программах. Например, в Microsoft Excel можно использовать функцию «СТЮДЕНТ.ОБР», задавая в качестве параметров значения уровня квантили и число степеней свободы $n - 1$. Значения квантилей распределения Стьюдента для некоторых уровней и числа степеней свободы приведены в табл. П2.

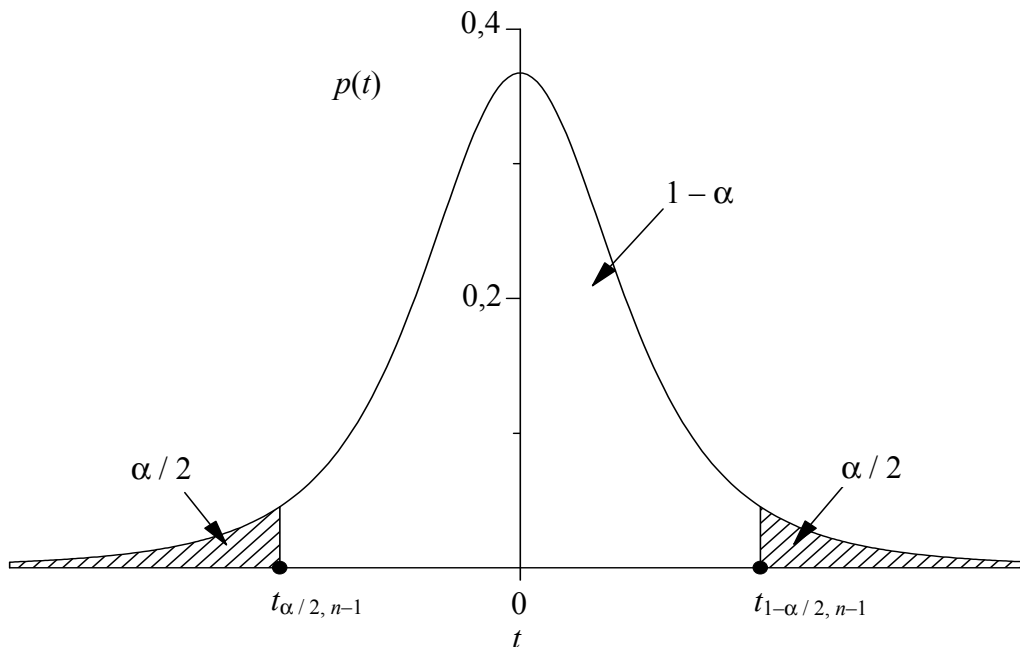


Рис. 4.4. Доверительный интервал для математического ожидания случайной величины t , имеющей распределение Стьюдента при уровне значимости α и числе степеней свободы $n - 1$

Отметим, что при стремлении числа степеней свободы к бесконечности распределение Стьюдента совпадает со стандартным нормальным распределением, а квантиль распределения Стьюдента $t_{q, n-1}$ совпадает с квантилью стандартного нормального распределения u_q . На практике при $n > 30$ для определения доверительного интервала можно использовать значения u_q .

Проведем теперь обратную замену переменных для границ интервала случайной величины t на границы интервала математического ожидания выборочных значений:

$$\begin{aligned}
 t_{\alpha/2, n-1} &\leq t \leq t_{1-\alpha/2, n-1}; \\
 -t_{1-\alpha/2, n-1} &\leq t \leq t_{1-\alpha/2, n-1}; \\
 -t_{1-\alpha/2, n-1} &\leq \frac{\bar{x} - a}{S / \sqrt{n}} \leq t_{1-\alpha/2, n-1};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{-t_{1-\alpha/2, n-1} S}{\sqrt{n}} &\leq \bar{x} - a \leq \frac{t_{1-\alpha/2, n-1} S}{\sqrt{n}}; \\ \frac{-\bar{x} - t_{1-\alpha/2, n-1} S}{\sqrt{n}} &\leq -a \leq \frac{-\bar{x} + t_{1-\alpha/2, n-1} S}{\sqrt{n}}; \\ \frac{\bar{x} + t_{1-\alpha/2, n-1} S}{\sqrt{n}} &\leq a \leq \frac{\bar{x} - t_{1-\alpha/2, n-1} S}{\sqrt{n}}. \end{aligned}$$

Последний результат означает, что доверительный интервал для математического ожидания нормального распределения a при неизвестной дисперсии следующий:

$$\left(\bar{x} - t_{1-\alpha/2, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{x} + t_{1-\alpha/2, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \right),$$

а радиус интервала:

$$\Delta = t_{1-\alpha/2, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (4.21)$$

Из табл. П1 и П2 видно, что чем меньше уровень значимости или больше доверительная вероятность, тем шире доверительный интервал. При неизвестной дисперсии и небольших объемах выборки с увеличением n точность интервальных оценок растет значительно быстрее, чем при известной дисперсии. Однако доверительный интервал при неизвестной дисперсии несколько шире, чем при известной дисперсии. Это и понятно, поскольку в первом случае, кроме предположения о математическом ожидании случайной величины, мы должны делать предположение о ее дисперсии, что вносит дополнительную неопределенность в получаемый результат.

Доверительный интервал для дисперсии. Для построения доверительного интервала для дисперсии используют ранее упоминавшуюся теорему, которая утверждает, что какова бы ни была истинная дисперсия σ^2 , величина ns^2 / σ^2 подчиняется распределению χ^2 с $n - 1$ степенью свободы.

Задавшись определенным уровнем значимости α , выберем доверительный интервал для случайной величины ns^2 / σ^2 таким образом, чтобы площади под кривой плотности распределения этой величины левее левой границы и правее правой границы интервала были по $\alpha / 2$ (рис. 4.5). Тогда площадь под кривой плотности распределения внутри такого интервала будет равна доверительной вероятности $1 - \alpha$.

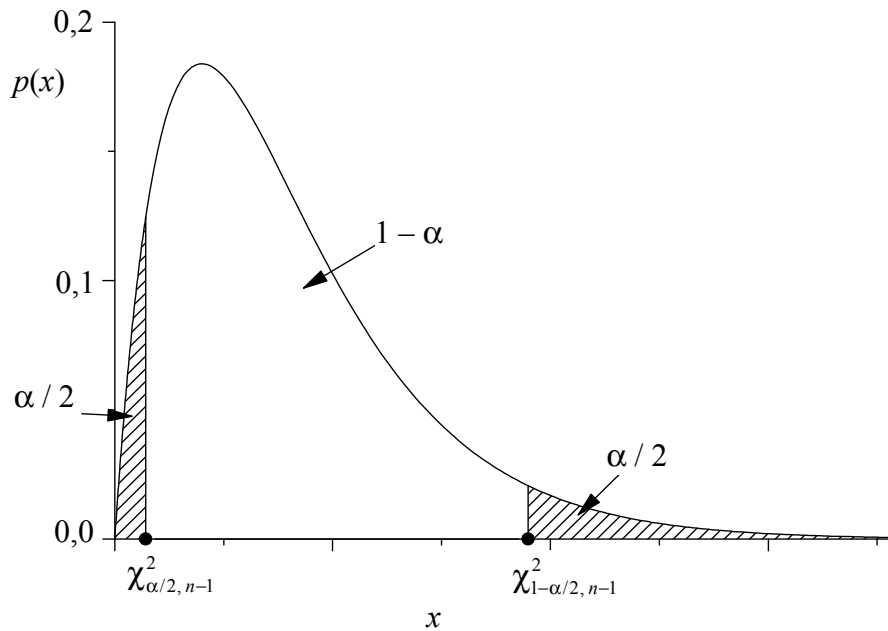


Рис. 4.5. Доверительный интервал для случайной величины, имеющей распределение χ^2 с числом степеней свободы $n - 1$ при уровне значимости α

Величины $\chi^2_{\alpha/2, n-1}$ и $\chi^2_{1-\alpha/2, n-1}$ представляют собой квантили распределения χ^2 с $n - 1$ степенью свободы уровней $\alpha / 2$ и $1 - \alpha / 2$ соответственно. Их значения равны значениям аргумента функции распределения χ^2 с $n - 1$ степенью свободы при вероятностях $\alpha / 2$ и $1 - \alpha / 2$, т. е. являются решениями следующих уравнений:

$$F_{\chi^2(n-1)}(x) = \alpha / 2 \Rightarrow x = \chi^2_{\alpha/2, n-1};$$

$$F_{\chi^2(n-1)}(x) = 1 - \alpha / 2 \Rightarrow x = \chi^2_{1-\alpha/2, n-1},$$

где $F_{\chi^2(n-1)}(x)$ – функция распределения χ^2 с $n - 1$ степенью свободы, которая имеет сложный вид³. В аналитическом виде решение вышеприведенных уравнений невозможно.

Значения $\chi^2_{q, n-1}$ приводятся в специальных таблицах или же могут быть получены с помощью различных компьютерных программ для математической (статистической) обработки данных. Например, в программе Microsoft Excel можно использовать функцию «ХИ2.ОБР», задавая в качестве параметров значения вероятности q и число степе-

³

$$F_{\chi^2(n-1)}(x) = \frac{1}{2^{\frac{n-1}{2}} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \int_0^x z^{\frac{n-1}{2}-1} e^{-\frac{z}{2}} dz.$$

ней свободы $n - 1$. Значения $\chi_{q, n-1}^2$ для некоторых вероятностей и числа степеней свободы $n - 1$ приведены в табл. ПЗ.

Выразим доверительный интервал для дисперсии σ^2 из следующих неравенств:

$$\begin{aligned} \chi_{\alpha/2, n-1}^2 < n \frac{s^2}{\sigma^2} < \chi_{1-\alpha/2, n-1}^2; \\ \frac{1}{\chi_{\alpha/2, n-1}^2} > \frac{\sigma^2}{ns^2} > \frac{1}{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}; \\ \frac{ns^2}{\chi_{\alpha/2, n-1}^2} > \sigma^2 > \frac{ns^2}{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}. \end{aligned}$$

Таким образом, доверительный интервал для дисперсии имеет вид

$$\left(\frac{ns^2}{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}, \frac{ns^2}{\chi_{\alpha/2, n-1}^2} \right), \quad (4.22)$$

где s^2 – выборочная оценка дисперсии, определяемая формулой (4.4).

4.4. Определение минимального числа повторных опытов для достижения требуемой точности измерения величины

Определение минимального числа повторных опытов для достижения требуемой точности измерения некоторой величины проводится с использованием соотношения (4.20). Согласно этому выражению, при увеличении числа повторных опытов случайная ошибка уменьшается. Помимо случайной ошибки измерений (Δ), существуют также систематические (приборные) ошибки (θ), которые нельзя снизить проведением повторных опытов. Поэтому минимальное число повторных опытов определяется из условия $\Delta \approx \theta$, откуда

$$n_{\min} = \frac{u_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}{\theta^2}. \quad (4.23)$$

При этом необходимо знать дисперсию измерений σ^2 и принять уровень значимости α . В качестве дисперсии измерений можно выбрать ее выборочную оценку (формула (4.6)) при достаточно большом объеме выборки (20–50 повторных опытов). Уровень значимости обычно принимают равным 0,05 или 0,1.

4.5. Исключение грубых ошибок

Исключение грубых ошибок (промахов) из выборки позволит значительно снизить случайную ошибку. Если в выборке имеется подозрительное значение (x^*), сильно выпадающее из ряда, то используя специальный статистический критерий грубых ошибок, можно проверить, является ли это значение грубой ошибкой при выбранном уровне значимости. Критерий грубых ошибок вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{|x^* - \bar{x}|}{S}, \quad (4.24)$$

где \bar{x} – среднее арифметическое выборки; S – выборочная оценка среднеквадратичного отклонения (формула (4.6)).

Максимально допустимое значение этого критерия (β_{\max}), при котором еще можно считать подозрительное значение x^* следствием случайного статистического разброса, а не грубой ошибкой, приводится в таблицах для разных уровней значимости (табл. П4).

4.6. Оценка случайных ошибок косвенных измерений

Пусть некоторая величина U является функцией непосредственно измеряемых величин x , y и z :

$$U = f(x, y, z).$$

Среднее значение величины U можно определить приближенно:

$$\bar{U} \approx f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}). \quad (4.25)$$

Случайную ошибку для величины U можно приближенно выразить через дифференциал функции f :

$$\Delta U = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})\right)^2 \Delta y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})\right)^2 \Delta z^2}, \quad (4.26)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$, $\frac{\partial f}{\partial z}$ – частные производные функции f по переменным x , y , z соответственно; Δx , Δy , Δz – случайные ошибки (радиусы доверительных

интервалов при одном и том же уровне значимости) для непосредственно измеряемых величин x, y, z .

Такой метод расчета ошибок косвенных измерений является приближенным.

4.7. Оценка однородности дисперсий

Проверка однородности двух дисперсий может использоваться для оценки воспроизводимости измерений либо для сравнения точности измерений какой-то величины разными методами или приборами. Пусть имеются выборки результатов измерения некоторой величины разными методами, приборами либо в различные периоды времени.

Для проверки однородности дисперсий используют **критерий Фишера**, который представляет собой отношение большей выборочной дисперсии к меньшей:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (4.27)$$

где S_1^2, S_2^2 – выборочные несмещенные оценки дисперсии, рассчитываемые по формуле (4.6), для первой и второй выборок, причем $S_1^2 > S_2^2$.

Дисперсии считаются однородными, если

$$F < F_{\text{кр}}(\alpha, f_1, f_2), \quad (4.28)$$

где $F_{\text{кр}}(\alpha, f_1, f_2)$ – критическое значение критерия Фишера, выбираемое из соответствующих таблиц при заданном уровне значимости α и числах степеней свободы f_1 для первой выборки и f_2 для второй выборки.

Число степеней свободы находится по формуле

$$f = n - 1, \quad (4.29)$$

где n – объем выборки.

Критическое значение критерия Фишера представляет собой квантиль уровня $1 - \alpha$ распределения Фишера со степенями свободы f_1 и f_2 .

Для уровня значимости 0,05 критические значения критерия Фишера представлены в табл. П5.

Если число параллельных серий опытов больше двух и в каждой серии одинаковое число опытов, то для проверки однородности дисперсий всех параллельных опытов используют **критерий Кохрена**:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (4.30)$$

где S_{\max}^2 – наибольшая дисперсия в параллельных сериях опытов; N – число параллельных серий опытов; S_i^2 – дисперсия в i -й серии опытов.

Дисперсии однородны, если

$$G < G_{\text{кр}}(\alpha, f_1, f_2), \quad (4.31)$$

где $f_1 = n - 1$ (n – число опытов в каждой серии); $f_2 = N$.

Критические значения критерия Кохрена приводятся в таблицах. Для уровня значимости 0,05 и некоторых f_1 и f_2 критические значения критерия Кохрена представлены в табл. Пб.

Наиболее универсальным для проверки однородности дисперсий является **критерий Бартлетта**. Он применим при любом числе параллельных серий опытов и любом числе опытов в каждой серии. Обозначим число параллельных серий опытов N , а число опытов в i -й серии – n_i . Критерий Бартлетта может быть рассчитан по следующей формуле:

$$B = \frac{V}{c}, \quad (4.32)$$

где

$$V = f \ln \left(\frac{1}{f} \sum_{i=1}^N f_i S_i^2 \right) - \sum_{i=1}^N f_i \ln S_i^2; \quad (4.33)$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(N-1)} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} - \frac{1}{f} \right); \quad (4.34)$$

$$f_i = n_i - 1; \quad f = \sum_{i=1}^N f_i. \quad (4.35)$$

Величина B распределена по закону χ^2 с $N - 1$ степенью свободы. Поэтому для проверки однородности дисперсий по критерию Бартлетта его необходимо сравнить с квантилью уровня $1 - \alpha$ χ^2 распределения с $N - 1$ степенью свободы $\chi_{1-\alpha, N-1}^2$ (табл. Пз). Дисперсии будут однородны, если

$$B < \chi_{1-\alpha, N-1}^2. \quad (4.36)$$

4.8. Проверка нормальности распределения

При рассмотрении всех предыдущих статистических операций предполагалось, что результаты измерения подчиняются нормальному закону распределения. Это предположение может не выполняться. В математической статистике существуют способы проверки этого предположения. Для этого используют различные статистические критерии. Наиболее строгим из них является *критерий Пирсона*. Для его расчета необходимо иметь выборку большого объема ($n = 50-150$).

Расчет критерия Пирсона производят следующим образом. Вначале размах выборки разбивается на l интервалов так, чтобы эти интервалы покрывали всю ось действительных чисел от $-\infty$ до $+\infty$. В каждый интервал должно попадать не менее пяти элементов выборки. Число интервалов можно оценить по формуле (4.13). Для каждого интервала подсчитывают частоты n_i . Затем определяют теоретические вероятности попадания случайной величины в каждый интервал, используя функцию нормального распределения с параметрами, равными выборочным оценкам математического ожидания и дисперсии. Теоретические вероятности находят по формуле

$$p_i = F(z_2) - F(z_1),$$

где $F(z)$ – функция стандартного нормального распределения; z_1, z_2 – соответственно нижняя и верхняя границы i -го интервала в стандартизованном виде:

$$z_1 = \frac{x_i^H - \bar{x}}{S}, \quad z_2 = \frac{x_i^B - \bar{x}}{S},$$

здесь x_i^H, x_i^B – соответственно нижняя и верхняя границы i -го интервала выборки; \bar{x} – среднее арифметическое выборки; S – выборочная оценка среднеквадратичного отклонения (формула (4.6)).

Критерий Пирсона вычисляют по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(n_i - p_i n)^2}{p_i n}. \quad (4.37)$$

Для проверки нормальности распределения рассчитанный критерий Пирсона сравнивают с квантилью уровня $1 - \alpha$ распределения χ^2 с числом степеней свободы $l - 3$, обозначаемой $\chi_{1-\alpha, l-3}^2$. Распределение элементов выборки можно принять нормальным, если

$$\chi^2 < \chi_{1-\alpha, l-3}^2. \quad (4.38)$$

Процесс расчета критерия Пирсона можно оформить в виде таблицы, используемой для первичной обработки выборки.

Пример таблицы для расчета критерия Пирсона

№ п/п	x_i^H	x_i^B	n_i	z_1	z_2	$F(z_1)$	$F(z_2)$	p_i	$\frac{(n_i - p_i n)^2}{p_i n}$
1	$-\infty$	—	—	$-\infty$	—	0	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
l	—	$+\infty$	—	—	$+\infty$	—	1	—	—

4.9. Пример статистической обработки экспериментальных результатов

Полученные в ходе опытов экспериментальные данные подвергаются статистической обработке, при этом определяют погрешности измерений и доверительные интервалы, устанавливают функциональные зависимости результатов, для которых величина достоверности аппроксимации $R^2 \geq 0,95$. При невыполнении этого условия для всех предлагаемых зависимостей экспериментальную кривую разбивают на несколько участков, которые подвергают отдельному регрессионному анализу. Другим критерием соответствия адекватности регрессионной модели является то, что ее отклонение от экспериментальной кривой не должно превышать доверительный интервал измерений. Последний оценивают из статистической обработки выборки независимых измерений исследуемой величины.

Среднее значение величины в выборке (3–5 измерений) данных определяют по следующей формуле:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (4.39)$$

где n – число измерений; i – порядковый номер измерения; X_i – измеряемая величина.

Среднеквадратическое отклонение вычисляют из формулы

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (4.40)$$

При отсутствии грубых ошибок в выборке должно выполняться неравенство:

$$|X_i - \bar{X}| < t_p S_x, \quad (4.41)$$

где t_p – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 (для трех измерений $t_p = 4,3$). Если неравенство (4.41) соблюдается, то измеренное значение не является грубой ошибкой.

Для проверки соответствия набора данных нормальному закону распределения рассчитывают среднее абсолютное отклонение (САО):

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|. \quad (4.42)$$

Набор данных соответствует нормальному закону распределения, если выполняется следующее неравенство:

$$\left| \frac{\bar{M}}{S_x} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{n}}. \quad (4.43)$$

Для определения доверительного интервала используют формулу

$$\delta = t_p \frac{S_x}{\sqrt{n}}. \quad (4.44)$$

Погрешность измерений рассчитывают по следующей формуле:

$$\Delta = \frac{\delta}{\bar{X}} \cdot 100\%. \quad (4.45)$$

Неисключенную систематическую погрешность (погрешность средств измерения) находят по следующей формуле:

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (4.46)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (1,1 при доверительной вероятности 0,95); j – порядковый номер средства измерения; m – число средств измерений; θ_j – j -я неисключенная систематическая погрешность средства измерения.

Если границы результата неисключенной систематической погрешности и случайная погрешность связаны соотношением

$$\Theta < 0,8\Delta, \quad (4.47)$$

то систематической составляющей погрешности пренебрегают и учитывают только случайную погрешность результата.



5. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

План лекции

- 5.1. Основные понятия теории планирования эксперимента.
- 5.2. Требования к объекту исследования.
- 5.3. Параметры оптимизации.
- 5.4. Требования к параметру оптимизации.
- 5.5. Обобщенный параметр оптимизации.
- 5.6. Факторы.
- 5.7. Выбор функции отклика.
- 5.8. Принятие решений перед планированием эксперимента.
- 5.9. Выбор интервалов варьирования факторов.
- 5.10. Полный факторный эксперимент 2^k .
- 5.11. Дробный факторный эксперимент.

5.1. Основные понятия теории планирования эксперимента

Впервые идею использования статистических методов для планирования экспериментов предложил в конце 20-х гг. прошлого века английский статистик и биолог Рональд Фишер. Он показал целесообразность одновременного варьирования в эксперименте всеми факторами в противовес распространенному однофакторному эксперименту.

В начале 50-х гг. XX в. появилось новое направление в планировании эксперимента – планирование экстремального эксперимента. Экстремальный эксперимент связан с оптимизацией процессов, в том числе и химико-технологических. Идею оптимизации предложили в 1951 г. английские статистики Г. Бокс и К. Уилсон (метод Бокса – Уилсона). Суть метода заключается в следующем. Экспериментатор ставит последовательные небольшие серии опытов, в каждой из которых одновременно варьируются по определенным правилам все факторы; после математической обработки каждой серии планируется

следующая серия опытов и так последовательно достигается область оптимума. В настоящее время планирование эксперимента является строгой математической теорией.

Планирование эксперимента – процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

К основным задачам планирования эксперимента относятся:

- минимизация общего числа опытов;
- одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс, по специальным правилам – алгоритмам;
- использование математического аппарата, формализующего многие действия экспериментатора;
- выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

Поиск оптимальных условий проведения процесса – одна из наиболее распространенных задач в химической технологии. Однако необходимо четко формулировать цель оптимизации. Например, целью может быть получение максимального выхода продукта, а может быть – минимизация материальных и энергетических затрат на получение продукта. Условия, оптимальные для одной цели, как правило, не являются оптимальными для другой цели. Поэтому выбор и формулировка цели оптимизации считаются первоочередной задачей любого исследования по оптимизации процессов.

Задача оптимизации – задача поиска оптимальных условий для четко сформулированной цели оптимизации.

Оптимизация – процесс решения задачи оптимизации.

Экстремальный эксперимент – эксперимент, который ставится для решения задачи оптимизации.

Планирование экстремального эксперимента – метод выбора количества и условий опытов, минимально необходимых для отыскания оптимальных условий.

Объект исследования в теории планирования эксперимента представляет собой кибернетическую систему «черный ящик» (рис. 5.1). В данном определении объекта исследования мы отказываемся от рассмотрения процессов, протекающих внутри объекта исследования. «Черный ящик» имеет только входы x_1, x_2, \dots, x_k и выходы y_1, y_2, \dots, y_m . Таким образом, достигается универсальность теории планирования эксперимента и ее применимость к любым объектам: химическим, техническим, биологическим и т. д. К тому же, если рассматривать реальные химико-технологические процессы, то физико-химические

явления в них бывают настолько сложны и многообразны, что их учет и математическое описание затруднительно реализовать даже с использованием современной компьютерной техники.

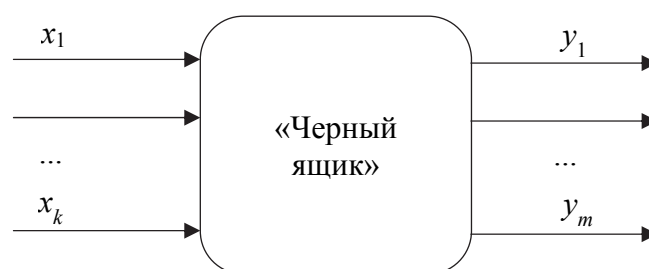


Рис. 5.1. Объект исследования в планировании эксперимента

Входы x_i «черного ящика» называются **факторами** – способами воздействия на объект исследования. Выходы y_i «черного ящика» – результаты воздействия на объект исследования носят название **параметров оптимизации** (критерии оптимизации, целевые функции и др.).

Функция отклика – математическая модель объекта исследования или уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k). \quad (5.1)$$

Каждый фактор может принимать в опыте одно из нескольких значений – уровней. **Уровень фактора** – возможное значение фактора. Фактор может принимать непрерывный ряд значений. Но на практике значение фактора задается с некоторой точностью, определяемой используемым оборудованием. Поэтому каждый фактор имеет определенное число дискретных уровней. Например, программатор может задавать потенциал с точностью до 1 мВ, а диапазон задаваемых значений составляет ± 10 В или 20 000 мВ. Тогда число уровней потенциала, задаваемого программатором, будет равно 20 000.

Фиксированный набор уровней определяет одно из возможных состояний «черного ящика», т. е. условия проведения конкретного опыта. Все возможные состояния «черного ящика» характеризуются сочетанием уровней всех факторов. Число таких сочетаний можно найти по формуле p^k , где p – число уровней факторов, а k – число факторов. Так, для пяти факторов на пяти уровнях число возможных сочетаний будет равно $5^5 = 3125$. Провести эксперимент с таким числом опытов в области химической технологии практически невозможно. Поэтому задача минимизации числа опытов в экстремальных экспериментах является весьма актуальной.

5.2. Требования к объекту исследования

Объект исследования должен соответствовать следующим требованиям.

1. *Воспроизводимость.* Для одного и того же набора факторов проводятся повторные опыты. Если разброс получаемых значений параметра оптимизации не превышает некоторой величины, определяемой требованиями к точности эксперимента, то объект исследования удовлетворяет требованиям воспроизводимости.

2. *Управляемость.* Факторы, воздействующие на объект исследования, можно разделить на управляемые и неуправляемые в зависимости от вида и организации эксперимента. Соответственно, выделяют и виды экспериментов по управляемости: активный эксперимент – все факторы управляемы; пассивный эксперимент – все факторы неуправляемы; активно-пассивный эксперимент – на объект действуют как управляемые, так и неуправляемые факторы, в результате чего нарушается воспроизводимость объекта исследования. Таким образом, требование управляемости объекта исследования связано с требованием воспроизводимости, которое в свою очередь определяется требованиями к точности эксперимента.

Методы планирования экстремального эксперимента применимы для управляемых и воспроизводимых объектов исследования.

5.3. Параметры оптимизации

Параметры оптимизации могут быть самыми различными. Один из способов классификации представлен на схеме (рис. 5.2).

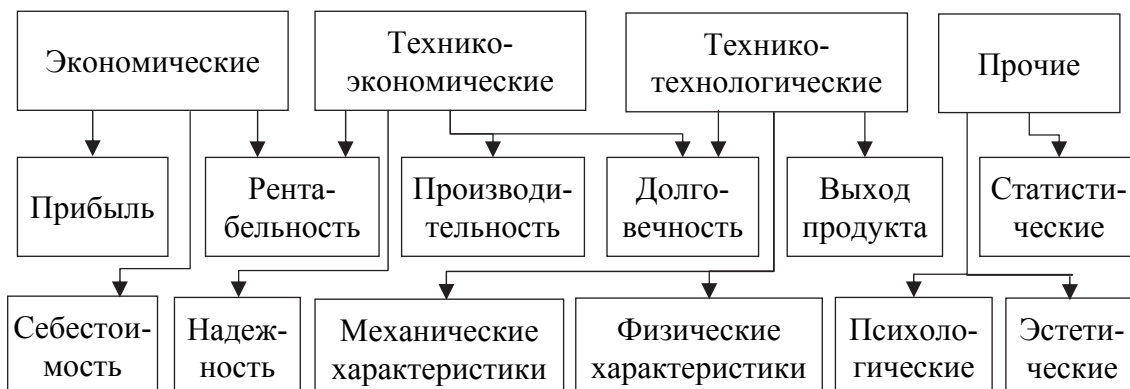


Рис. 5.2. Виды параметров оптимизации

5.4. Требования к параметру оптимизации

Параметр оптимизации должен отвечать нижеприведенным требованиям.

1. Должен быть *количественным*, т. е. должен выражаться числом. Необходимо иметь возможность измерения этого параметра. Для качественных параметров оптимизации используют ранговый подход: параметру оптимизации присваивают оценки – ранги по заранее выбранной шкале (двухбалльной, пятибалльной и др.). Например, блеск покрытия определяют рангом по трех- или пятибалльной шкале.

2. *Однозначность* – одному набору уровней факторов должно соответствовать одно значение параметра оптимизации с точностью, требуемой условиями эксперимента.

3. *Эффективность* – необходимо, чтобы параметр оптимизации характеризовал эффективность функционирования системы в целом. Это требование связано с выбором четкой цели оптимизации. Часто в процессе научного исследования цели оптимизации могут корректироваться. Например, на начальном этапе поиска оптимальных условий процесса гальванического осаждения какого-то покрытия параметром оптимизации может быть выход по току либо показатели декоративных или защитных свойств покрытия. На последующих этапах исследования важными могут стать стабильность работы электролита или требования по безопасности работы с данным электролитом. Соответственно, изменятся и цель оптимизации, и параметры оптимизации.

4. *Универсальность* – способность параметра оптимизации все-сторонне и как можно более полно характеризовать объект исследования.

5. *Простой физический смысл и легкость вычисления*. Это требование обусловлено последующей интерпретацией результатов эксперимента и построением моделей. Так, физико-химические параметры часто связаны с факторами сложными зависимостями, а экономические параметры – простыми линейными зависимостями.

5.5. Обобщенный параметр оптимизации

Часто возникает задача, когда необходимо множество параметров оптимизации обобщить в единый количественный признак. Поскольку каждый параметр имеет свой физический смысл и свою размерность, то для каждого параметра вводят безразмерную шкалу, а затем пара-

метры комбинируют в обобщенный по некоторому правилу. В качестве правила комбинирования безразмерных значений параметров в обобщенный часто используют среднее геометрическое.

Простейший способ построения обобщенного отклика. Выбирается безразмерная шкала, состоящая из двух значений: 0 – брак (неудовлетворительное качество) и 1 – годный продукт (удовлетворительное качество). Пусть объект исследования характеризуется n параметрами оптимизации y_1, y_2, \dots, y_n . Преобразованные в безразмерную шкалу параметры обозначим $\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_n$. Для построения обобщенного отклика Y используют формулу для среднего геометрического:

$$Y = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \tilde{y}_i}. \quad (5.2)$$

Это очень грубый и жесткий способ построения обобщенного параметра. В частности, значение обобщенного параметра будет равно 1 только в том случае, если значения всех частных параметров будут равны 1, т. е. будут соответствовать годному продукту или удовлетворительному качеству. Если хотя бы один из частных параметров будет равен 0, т. е. будет соответствовать браку или неудовлетворительному качеству, то и значение обобщенного параметра будет равно 0.

Другой простейший способ построения обобщенного параметра оптимизации – «*близость к идеалу*». Если для каждого частного параметра оптимизации существует некоторое наилучшее значение y_{i0} («идеал»), то обобщенный отклик можно вычислить по формуле

$$Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - y_{i0}}{y_{i0}} \right)^2. \quad (5.3)$$

В данном случае обобщенный параметр будет равен 0, если значения всех частных параметров совпадут с «идеалом». Чем ближе значение Y к 0, тем лучше. В представленной выше формуле все частные параметры входят на равных правах. Если требуется подчеркнуть различную важность частных параметров, то в формулу вводят их веса a_i . Тогда формула для обобщенного параметра примет соответствующий вид:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i \left(\frac{y_i - y_{i0}}{y_{i0}} \right)^2. \quad (5.4)$$

Причем значения весов должны быть больше 0, а их сумма равна 1.

Наиболее удобным способом построения обобщенного отклика является *обобщенная функция желательности*. Натуральные значения параметров оптимизации преобразуются в безразмерную шкалу желательности. Шкала желательности – психофизическая шкала. Она устанавливает соответствие между физическими параметрами, характеризующими объект исследования, и психологическими предпочтениями, желательностью экспериментатора в отношении значений этих параметров. Шкала желательности имеет интервал от 0 до 1. Желательность для какого-то i -го параметра обозначим d_i . Значение $d_i = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного параметра. Напротив, значение $d_i = 1$ отвечает наилучшему уровню данного параметра. Для установления более точного соответствия между значениями желательности d_i и субъективными предпочтениями экспериментатора используют табл. 5.1.

Таблица 5.1

Стандартные отметки на шкале желательности

Субъективные предпочтения	d	y'
Очень хорошо	1,00–0,80	(3–6)–1,50
Хорошо	0,80–0,63	1,50–0,78
Удовлетворительно	0,63–0,37	0,78–0
Плохо	0,37–0,20	0–(–0,48)
Очень плохо	0,20–0	(–0,48)–((–3)–(–6))

Преобразование натуральных значений параметров y_i в значения желательности d_i проводят в два этапа. На первом этапе натуральные значения параметров преобразуют в условную кодированную шкалу y' , интервал которой выбирается в диапазоне от ± 3 до ± 6 . Выбор этого интервала задает чувствительность значений желательности к изменению значений натуральных параметров. На втором этапе значения параметров в кодированной шкале y' преобразуются в значения желательности d с использованием следующей функции:

$$d = e^{-e^{-y'}}. \quad (5.5)$$

Такую функцию преобразования выбрали в результате наблюдений за реальными решениями экспериментаторов. Она обладает свойствами монотонности, непрерывности, гладкости и значительно большей чувствительностью к изменению значений y' в средней области желательности ($0,2 < d < 0,8$), чем в областях желательности, близких к 0 или 1. График этой функции представлен на рис. 5.3.

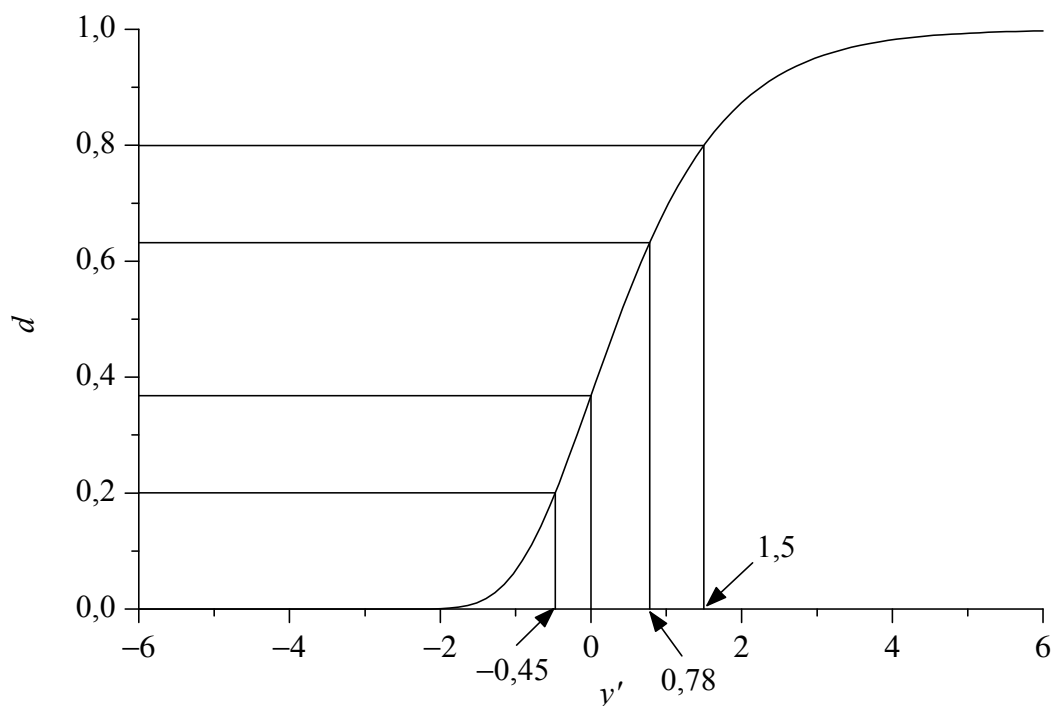


Рис. 5.3. График функции желательности

Чтобы пользоваться такой схемой преобразования натуральных значений параметров в значения желательности, необходимо задать некоторые стандартные значения параметров, соответствующих субъективным предпочтениям «очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо», и соотнести их со стандартными отметками в шкале желательности d и в условной кодированной шкале y' . Выбор в качестве стандартных значений в шкале желательности $0,37 \approx e^{-1}$ и $0,63 \approx 1 - e^{-1}$ обусловлен тем, что они определяют точки перегиба кривой (рис. 5.3).

Выбор стандартных значений натуральных параметров, соответствующих стандартным отметкам в табл. 5.1, делается исходя из опыта и интуиции экспериментатора. Часто такой выбор осуществляется на основании согласованного мнения нескольких специалистов. При решении задач оптимизации желательности 0,37 (граница между «удовлетворительно» и «плохо») ставят в соответствие некоторое стандартное, существующее на данный момент, легко достижимое значение натурального параметра. Например, выход по току процесса хромирования в 16–17% является стандартным, «нормальным» значением, и при оптимизации процесса хромирования это значение выхода по току можно ставить в соответствие желательности 0,37 и значению $y' = 0$.

Шкала желательности есть попытка формализации представлений экспериментатора о важности тех или других значений частных откликов. Важность частного отклика можно повысить, уменьшая для этого отклика стандартные значения для желательностей 0,63 и 0,80 либо увеличивая стандартные значения других частных откликов для тех же желательностей. Выбор стандартных значений частных откликов является наиболее ответственной операцией при построении обобщенной функции желательности.

После того как натуральные параметры оптимизации y_i преобразованы в соответствующие желательности d_i , можно построить обобщенную функцию желательности по формуле среднего геометрического:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}. \quad (5.6)$$

Обобщенная функция желательности очень чувствительна к малым значениям d_i .

5.6. Факторы

Фактор – измеряемая переменная величина, принимающая некоторые значения. Фактор имеет область определения. Фактор считается заданным, если вместе с его названием указана область его определения, т. е. задано множество уровней фактора.

Факторы делятся на количественные и качественные. Количественные факторы – это, например, сила тока, концентрации реагирующих веществ, температура, время и т. д. Качественные факторы – различные реагенты, добавки в электролиты гальванического осаждения покрытий, вид анодов или катодов и т. д. Качественным факторам ставится в соответствие условная порядковая шкала, которая ставит в соответствие уровням факторов натуральные числа.

К факторам предъявляются следующие требования:

– *управляемость*. Возможность выбора нужного уровня фактора и поддержания его постоянным в течение опыта. Например, температура может быть управляемым и неуправляемым фактором в зависимости от условий проведения процесса;

– *операциональность*. Нужно указать последовательность операций, с помощью которых устанавливаются конкретные уровни фактора;

– *достаточная точность* задания фактора. Определяется диапазоном возможных значений фактора. Если время процесса составляет десятки часов, нет необходимости учитывать доли минуты, а в быстрых процессах нужно учитывать доли секунды;

– *однозначность*. Факторы должны быть непосредственными воздействиями на объект исследования и не являться функцией других факторов. Например, скорость диффузии не может служить фактором;

– *совместимость*. Все возможные комбинации уровней факторов должны быть осуществимы. Например, при некоторых комбинациях концентраций и температуры может происходить взрыв реакционной системы. Необходимо задавать такие области определения факторов, которые обеспечивают их совместимость;

– *независимость*. Возможность установления уровня вне зависимости от уровней других факторов. Например, для газов факторы давления газа P , температуры T и объема газа V не являются независимыми. Задавая любые два фактора, мы однозначно определяем и третий, поскольку все три фактора связаны между собой уравнением состояния идеального газа $PV = nRT$.

5.7. Выбор функции отклика

Рассмотрим геометрические аналоги функции отклика. В случае одного фактора это будет некоторая кривая на плоскости в координатах $y - x$ (рис. 5.4, *a*), в случае двух факторов – поверхность отклика в трехмерном пространстве (рис. 5.4, *б*). При большем числе факторов геометрическая наглядность функции отклика теряется.

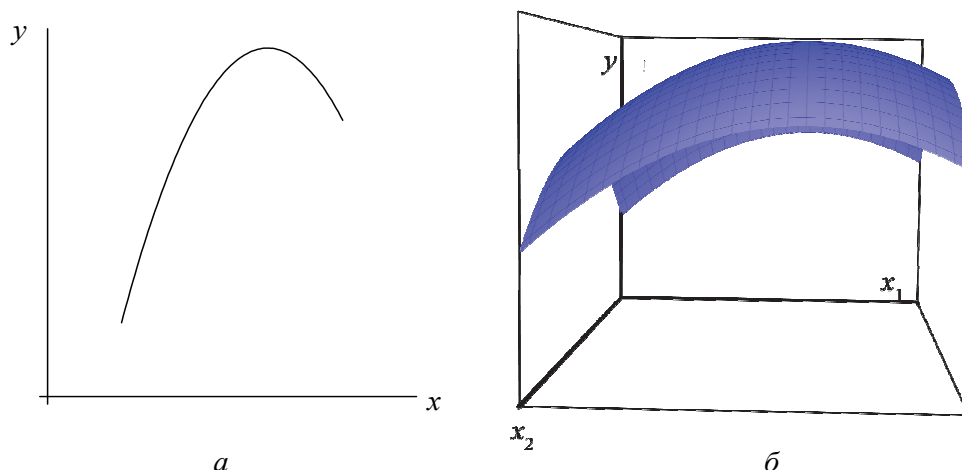


Рис. 5.4. Графические аналоги функции отклика для одного (*a*) и для двух факторов (*б*)

Трехмерные графики поверхности не очень удобны для восприятия. Рассмотрим другие графические аналоги функции отклика для двух факторов. Границы области определения факторов можно представить в виде прямоугольной области на плоскости (рис. 5.5).

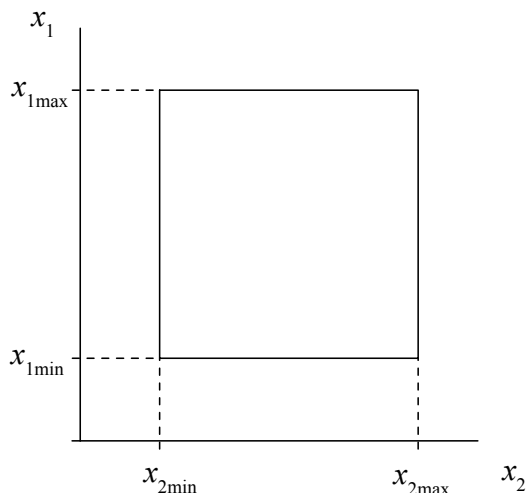


Рис. 5.5. Область определения для двух факторов

Пространство, в котором строится поверхность отклика, называется факторным. Оно задается координатными осями факторов и параметра оптимизации.

Для двух факторов при построении геометрически наглядных графиков можно не переходить к трехмерному пространству, а ограничиться плоскостью. Для этого проводятся сечения поверхности отклика плоскостями, параллельными плоскости x_1Ox_2 , и полученные в сечениях линии проектируются на эту плоскость. Получается что-то похожее на изображенное на рис. 5.6. Это контурный график поверхности. Каждая линия графика соответствует постоянному значению параметра оптимизации. Подобные графики используются для изображения географических карт, карт распределения электронной плотности и т. д.

Для поиска оптимума (минимума или максимума) функции отклика по результатам опытов строят математическую модель объекта исследования, чтобы с ее помощью предсказывать значения отклика в тех состояниях, которые не исследовались в эксперименте. При этом предполагается, что функция отклика является непрерывной и имеет единственный оптимум в области определения факторов. Также важно, чтобы функция отклика изменялась плавно в области определения факторов, т. е. чтобы была гладкой. Так,

функция отклика, изображенная на рис. 5.7, *а*, является непрерывной, гладкой, обладает единственным максимумом и является «хорошей» функцией отклика. А функция отклика, приведенная на рис. 5.7, *б*, – «плохая», поскольку не удовлетворяет требованиям гладкости и единственности оптимума.

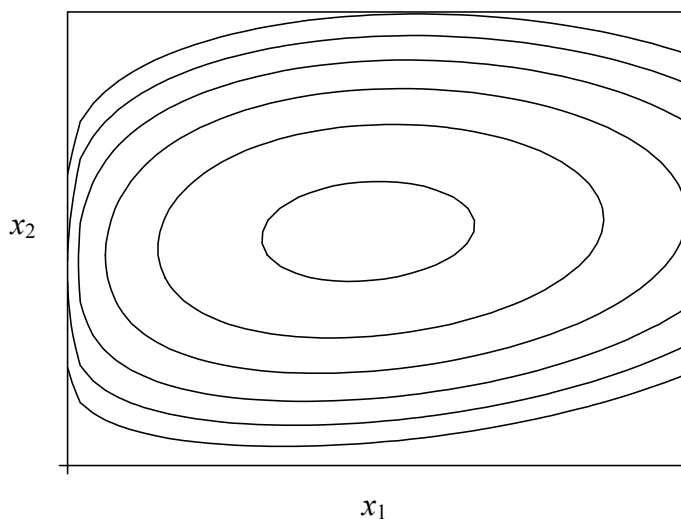


Рис. 5.6. Контурный график поверхности отклика

Таким образом, функция отклика должна удовлетворять следующим свойствам:

- 1) непрерывность;
- 2) гладкость;
- 3) наличие единственного оптимума.

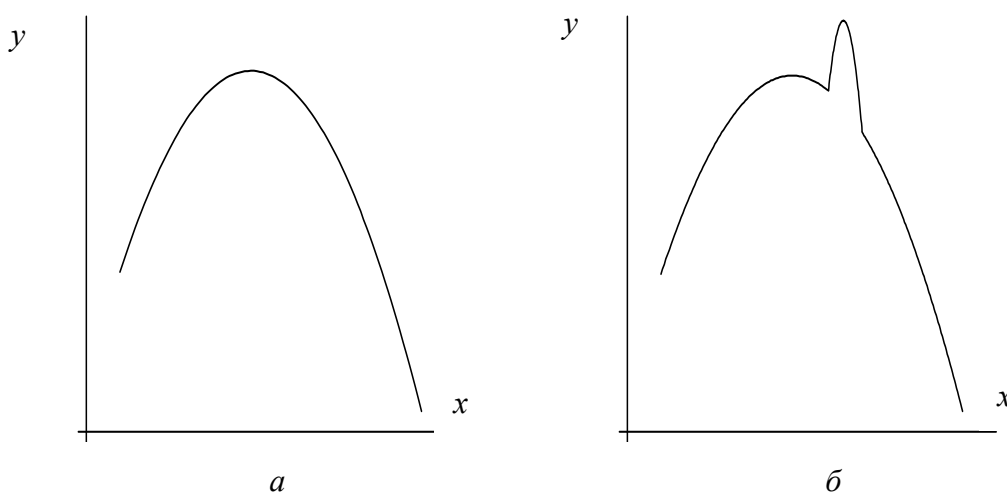


Рис. 5.7. «Хорошая» (*а*) и «плохая» (*б*) функции отклика

Если функция отклика удовлетворяет указанным выше свойствам, то всегда можно найти оптимум, используя *шаговый принцип*: поиск оптимума состоит из последовательных шагов, каждый из которых представляет собой серию опытов в нескольких соседних точках факторного пространства, на основании которых определяется множество точек факторного пространства для проведения следующей серии опытов. На каждом шаге мы все ближе подходим к области оптимума. Суть шагового принципа, или шаговой процедуры, можно также представить следующими этапами:

– устанавливаются значения параметра оптимизации в нескольких соседних точках факторного пространства;

– определяется направление, в котором ожидается оптимум, и эксперимент переносится в направлении оптимума.

Этапы повторяются до тех пор, пока не будет достигнута область оптимума. Для двух факторов графически суть шаговой процедуры показана на рис. 5.8.

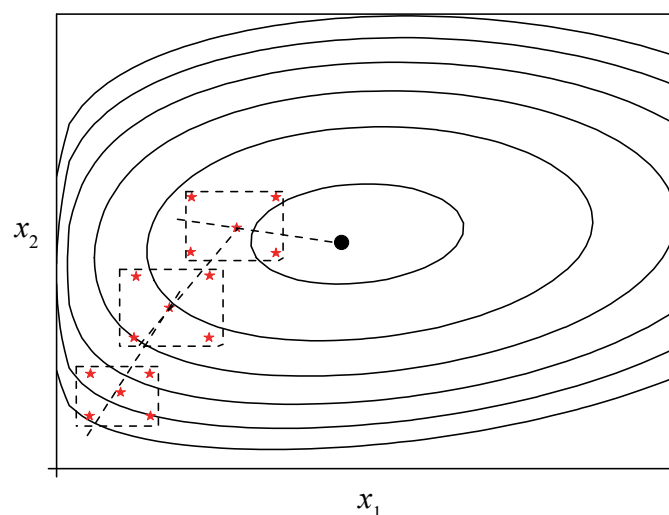


Рис. 5.8. Шаговая процедура поиска оптимума

В целом шаговая процедура поиска оптимума оказывается эффективнее классического однофакторного эксперимента, в котором каждый из факторов варьируется отдельно при постоянных уровнях остальных факторов. Наибольшая эффективность шаговой процедуры (наименьшее число опытов) будет проявляться в тех случаях, когда поверхность отклика несимметрична (например, имеет вид «оврага»).

Чтобы определить направление оптимума после получения значений параметра оптимизации в соседних точках факторного пространства, необходимо построить модель объекта исследования (функции

отклика). Модели бывают разные. Главное требование к модели – ее адекватность или способность предсказать направление оптимума с требуемой точностью. Существуют статистические методы проверки адекватности модели. Если подходит несколько моделей, то выбирают более простую. Например, из двух моделей в случае одного фактора $y = \log_b x$ и $y = bx$ более простая – вторая модель. Наиболее простыми моделями являются алгебраические полиномы. В планировании эксперимента их чаще всего используют. Примеры полиномов для двух факторов:

1-й степени (линейная модель): $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2;$

2-й степени: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2;$

3-й степени: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 +$
 $+ b_{112}x_1^2x_2 + b_{122}x_1x_2^2 + b_{111}x_1^3 + b_{222}x_2^3.$

Полиномы бывают различных степеней. Какую степень полинома выбрать? Чтобы найти численные значения коэффициентов полинома, необходимо иметь результаты различных опытов. Число различных опытов должно быть не меньше числа коэффициентов полинома. Чем больше степень полинома, тем больше у него коэффициентов и тем большее число опытов необходимо ставить. Чтобы сократить число опытов, лучше использовать полином 1-й степени, так как он имеет наименьшее число коэффициентов и содержит информацию о направлении оптимума (коэффициенты b_1 и b_2). Но линейная модель не всегда будет адекватна, особенно вблизи оптимума. Однако выбором (уменьшением) подобласти в факторном пространстве всегда можно сделать линейную модель адекватной.

Таким образом, этапы поиска оптимума с использованием линейной модели можно представить следующим образом:

- выбор базовой точки в факторном пространстве;
- нахождение размеров подобласти факторного пространства, в которой линейная модель адекватна (адекватность проверяется статистической обработкой результатов эксперимента), и построение линейной модели;
- движение по градиенту, т. е. перенос базовой точки в направлении оптимума, который определяется градиентом функции отклика в базовой точке (коэффициенты b_1 и b_2 линейной модели для двух факторов).

Второй и третий этапы повторяются до тех пор, пока движение по градиенту не перестанет давать заметный эффект. Это значит, что мы попали в область, близкую к оптимуму. В этом случае поиск оптимума

либо заканчивают, если найденные условия удовлетворяют исследователя, либо переходят к полиномам второго или более высокого порядка для уточнения оптимума. Удачный выбор базовой точки и размеров подобласти факторного пространства является важнейшей задачей, требующей решения перед тем, как применять методы планирования эксперимента. Решение данной задачи целиком зависит от опыта, знаний и умений исследователя.

5.8. Принятие решений перед планированием эксперимента

Перед составлением планов эксперимента для поиска оптимума необходимо принять неформализованные решения, которые зависят от экспериментатора. Такими решениями являются:

- 1) оценка области определения факторов для эксперимента;
- 2) выбор начальной локальной подобласти для планирования эксперимента.

Для принятия таких решений важную роль играет *априорная информация* – информация, содержащаяся в предыдущих исследованиях, связанных с данным объектом. Тщательный анализ априорной информации очень важен для принятия решений о выборе области факторного пространства для планирования эксперимента.

При оценке области определения факторов для эксперимента необходимо учитывать следующие виды ограничений:

- *принципиальные ограничения* для значений факторов (например, абсолютная температура T не может быть меньше 0, мольная доля компонента изменяется от 0 до 1 и т. д.);
- *техничко-экономические ограничения*: стоимость сырья, реагентов, длительность процесса и т. д.;
- *ограничения конкретных условий* проведения процесса: аппаратура, технология, организация и т. д.

Выбор начальной локальной подобласти для планирования эксперимента состоит из двух этапов:

- 1) выбор основного уровня факторов;
- 2) выбор интервалов варьирования факторов.

Выбор основного уровня факторов производится исключительно из анализа априорной информации: литературных данных об объекте исследования, теоретических соображений, результатов предыдущих экспериментов. При этом можно выделить следующие случаи:

– есть сведения об уровнях факторов одной наилучшей точки в факторном пространстве, и эта точка лежит внутри области определения факторов – данную точку выбирают в качестве основного уровня;

– наилучшая точка лежит на границе области определения факторов – основной уровень выбирают со сдвигом от наилучшей точки внутрь области определения факторов;

– уровни факторов наилучшей точки неизвестны, но есть сведения о подобласти факторного пространства, в которой может находиться наилучшая точка, – основной уровень выбирают либо в центре, либо в случайной точке этой подобласти;

– наилучшие условия находятся в различных подобластях факторного пространства – выбор основного уровня произволен.

С учетом сказанного выше можно составить алгоритм принятия решения по выбору основного уровня факторов. Блок-схема такого алгоритма представлена на рис. 5.9.



Рис. 5.9. Блок-схема алгоритма выбора основного уровня факторов

5.9. Выбор интервалов варьирования факторов

Выбор интервалов варьирования факторов будем рассматривать применительно к эксперименту 2^k , в котором факторы варьируются на двух уровнях. Для каждого фактора требуется выбрать два уровня, на которых он будет изменяться в эксперименте. Эти уровни выбирают симметрично относительно основного уровня. Один уровень называют верхним, другой – нижним.

Интервал варьирования фактора – разница между основным и нижним (или верхним) уровнями фактора. Для упрощения записи планов эксперимента факторы представляют в кодированной шкале, так, чтобы верхний уровень имел значение $+1$, нижний – значение -1 , а основной уровень – 0 . Факторы с непрерывной областью определения преобразовать в кодированную шкалу можно с помощью следующего уравнения:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{I_i}, \quad (5.7)$$

где x_i – кодированное значение фактора; \tilde{x}_i – натуральное значение фактора; \tilde{x}_{i0} – натуральное значение основного уровня фактора; I_i – интервал варьирования фактора; i – номер фактора.

К интервалу варьирования фактора предъявляются следующие требования:

- 1) должен быть больше ошибки задания уровня фактора;
- 2) не должен быть настолько большим, чтобы верхний или нижний уровень фактора вышел за пределы области определения фактора.

Априорные сведения, необходимые для выбора интервалов варьирования факторов:

- сведения о точности фиксирования факторов;
- информация о кривизне поверхности отклика;
- сведения о диапазоне изменения параметра оптимизации. Часто эта информация труднодоступна, ошибочна и ее приходится корректировать.

Для создания алгоритмов выбора интервалов варьирования факторов введем классификацию априорных сведений, о которых говорилось выше.

Точность фиксирования факторов будем разделять на три вида: низкую, среднюю и высокую. Она зависит от используемого оборудования и от организации эксперимента. Например, для температуры в

химическом реакторе можно принять: высокая точность – относительная погрешность поддержания температуры меньше 1%; средняя точность – от 1 до 10%; низкая точность – более 10%.

Кривизна поверхности отклика. Эти сведения будем классифицировать также на три вида: линейная кривизна, нелинейная и нет информации о кривизне. Сведения о кривизне поверхности отклика можно получить из однофакторных зависимостей и из теоретических соображений. Так, из теории электрохимического перенапряжения известно, что зависимость плотности тока от потенциала является экспоненциальной, т. е. нелинейной, а зависимость плотности тока от концентрации, как правило, близка к линейной.

Диапазон изменения параметра оптимизации. Эти сведения также будем подразделять на три вида: узкий диапазон, широкий и нет информации о диапазоне. Узкий диапазон изменения параметра оптимизации в искомой локальной подобласти факторного пространства будет в том случае, если он сравним с разбросом значений в параллельных опытах. Широкий диапазон – если он много больше разброса значений параметра оптимизации в параллельных опытах.

Введем следующую классификацию для интервалов варьирования факторов: узкий интервал – меньше 10% от области определения фактора; средний интервал – от 10 до 30% от области определения; широкий интервал – больше 30% от области определения.

Рассмотрим блок-схему алгоритма выбора интервалов варьирования факторов при низкой точности фиксирования факторов в зависимости от вида поверхности отклика и от диапазона изменения параметра оптимизации (рис. 5.10).

Как можно видеть из схемы, типичное решение при низкой точности фиксирования факторов – широкий интервал. Узкий интервал вообще не используется. Средний интервал выбирается в случае широкого диапазона изменения параметра оптимизации и неизвестного характера функции отклика, а также иногда может выбираться при отсутствии информации как о поверхности отклика, так и о диапазоне.

Если поверхность отклика нелинейна, то однозначного решения по выбору интервала варьирования фактора получить нельзя. В этом случае возникает противоречие между низкой точностью фиксирования фактора и высокой кривизной поверхности отклика. Наилучшим решением было бы постараться повысить точность эксперимента либо за счет совершенствования оборудования и условий эксперимента, либо за счет увеличения числа повторных опытов.

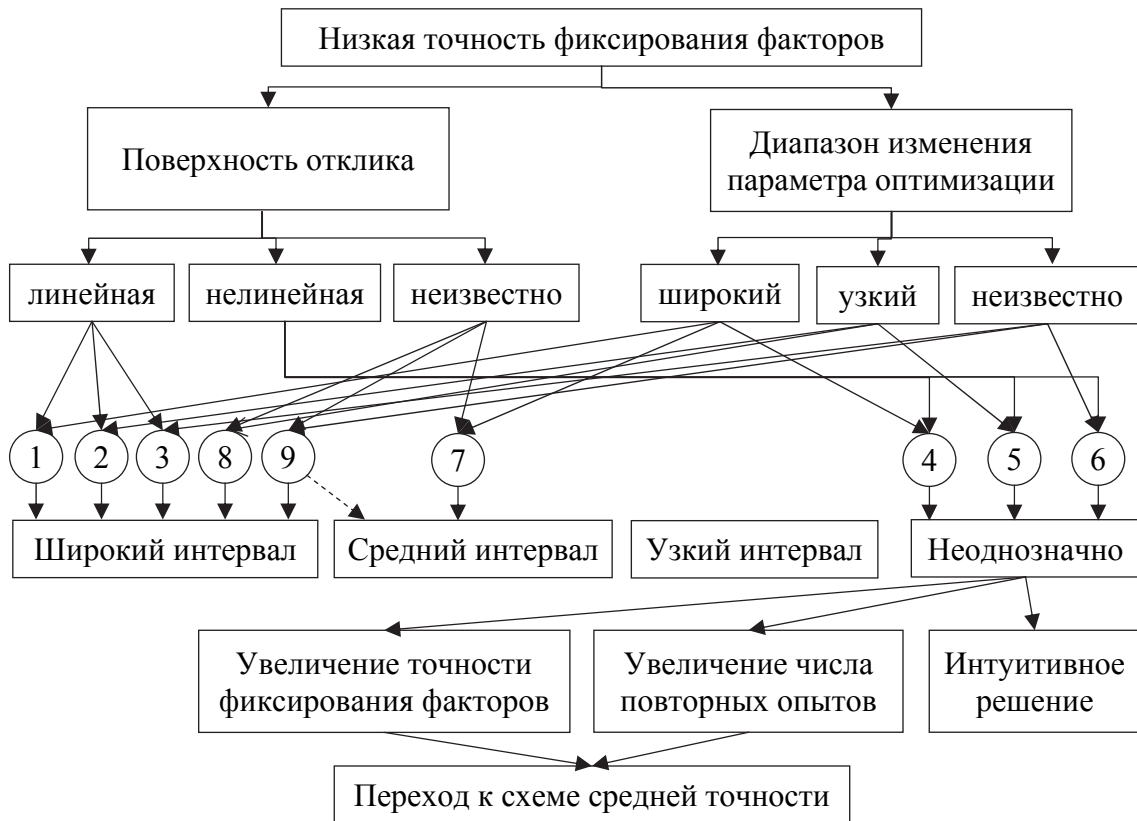


Рис. 5.10. Блок-схема алгоритма выбора интервалов варьирования факторов при низкой точности фиксирования факторов

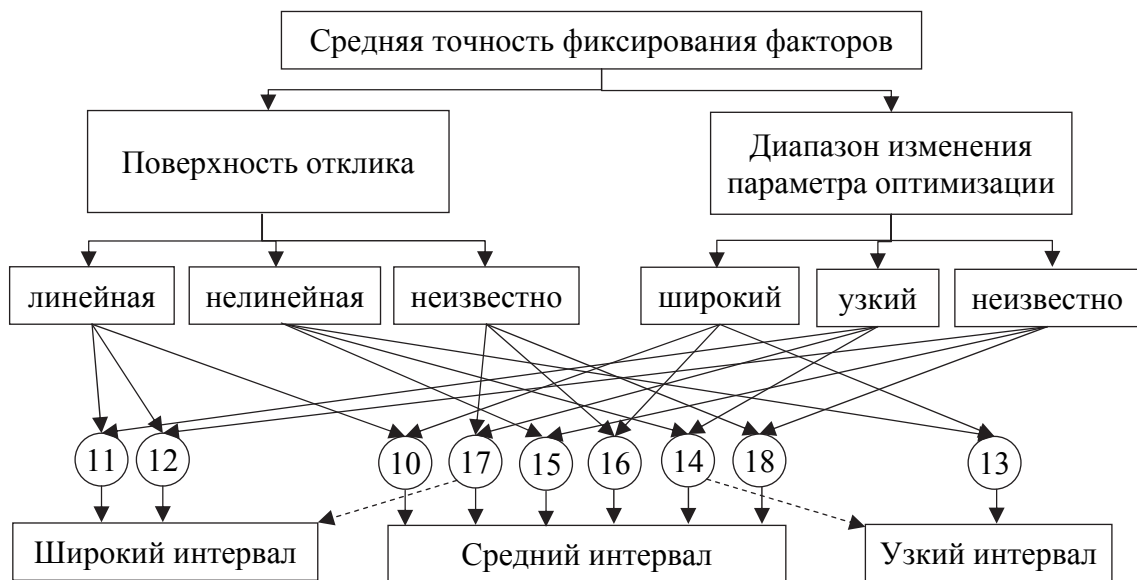


Рис. 5.11. Блок-схема алгоритма выбора интервалов варьирования факторов при средней точности фиксирования факторов

При средней точности фиксирования факторов характерен выбор средних интервалов варьирования (рис. 5.11). Лишь в случае нелинейной поверхности и широкого диапазона рекомендуется узкий интервал варьирования. При сочетании линейной поверхности с узким диапазоном или отсутствием информации о диапазоне выбирается широкий интервал варьирования. Пунктиром для сочетаний под номерами 14 и 17 показаны редко применяемые альтернативы.

На рис. 5.12 приведена блок-схема для случая высокой точности фиксирования факторов. Сочетание высокой точности и нелинейности приводит к узкому интервалу. Часто выбирается средний интервал варьирования и лишь в двух случаях – широкий.

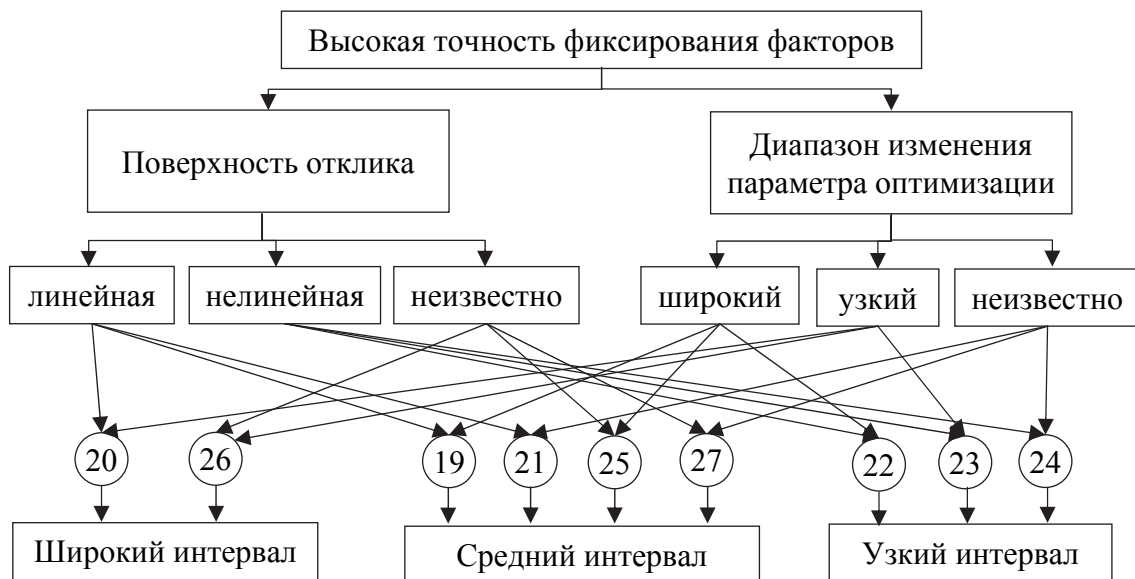


Рис. 5.12. Блок-схема алгоритма выбора интервалов варьирования факторов при высокой точности фиксирования факторов

Представленные выше блок-схемы для выбора интервалов варьирования факторов могут использоваться лишь приближенно. Решения, принимаемые по каждому фактору в отдельности, могут корректироваться при рассмотрении совокупности факторов.

5.10. Полный факторный эксперимент 2^k

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется *полным факторным экспериментом* (ПФЭ). Если число варьируемых факторов равно k и каждый фактор

изменяется на n уровнях, то число возможных сочетаний уровней факторов или число опытов будет следующим:

$$N = n^k. \quad (5.8)$$

В частности, если каждый фактор варьируется на двух уровнях, то число возможных сочетаний уровней факторов равно 2^k . Полный факторный эксперимент, в котором k факторов изменяются на двух уровнях, получил обозначение 2^k .

В планировании эксперимента 2^k используют кодированные уровни факторов $+1$ и -1 . Условия эксперимента записывают в виде таблицы, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов. Такие таблицы называют *матрицами планирования*. Например, для эксперимента 2^2 матрица планирования будет иметь вид табл. 5.2.

Таблица 5.2

Матрица планирования эксперимента 2^2

Номер опыта	x_1	x_2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

Если факторов много, то матрица планирования будет громоздкой. Для сокращения записи условий конкретного опыта вводят буквенные обозначения строк матриц планирования. Номер фактора ставится в соответствие строчной букве латинского алфавита: $x_1 - a$, $x_2 - b$, $x_3 - c$ и т. д. Для строки матрицы планирования выписывают латинские буквы для факторов, находящихся только на верхних уровнях. Опыт со всеми факторами на нижних уровнях обозначают (1). Пример использования буквенных обозначений строк матрицы планирования для эксперимента 2^2 представлен в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Матрица планирования эксперимента 2^2 с буквенными обозначениями строк

Номер опыта	x_1	x_2	Буквенное обозначение
1	-1	-1	(1)
2	+1	-1	a
3	-1	+1	b
4	+1	+1	ab

Вместо полной записи матрицы планирования можно пользоваться только буквенными обозначениями. Например, для трех факторов (эксперимент 2^3) буквенная запись условий опытов будет иметь вид: $a, b, c, ab, ac, bc, abc, (1)$. Соответствующая матрица планирования для эксперимента 2^3 с буквенными обозначениями условий опытов приведена в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Матрица планирования эксперимента 2^3 с буквенными обозначениями строк

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	Буквенное обозначение
1	+1	-1	-1	a
2	-1	+1	-1	b
3	-1	-1	+1	c
4	+1	+1	-1	ab
5	+1	-1	+1	ac
6	-1	+1	+1	bc
7	+1	+1	+1	abc
8	-1	-1	-1	(1)

Для двух или трех факторов матрицу планирования построить достаточно легко. Для большего числа факторов это сделать сложнее. Используют три приема построения матриц большой размерности.

Первый прием: при добавлении нового столбца, соответствующего новому фактору, к матрице меньшей размерности каждая комбинация исходного плана встречается дважды – в сочетании с нижним и верхним уровнем нового фактора. Например, построение матрицы 2^3 из матрицы 2^2 с помощью данного приема можно проиллюстрировать табл. 5.5.

Таблица 5.5

Первый прием построения матрицы 2^3 из матрицы 2^2

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	Номер опыта	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	+1	5	-1	-1	-1
2	+1	-1	+1	6	+1	-1	-1
3	-1	+1	+1	7	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1	8	+1	+1	-1

Второй прием: новый столбец, соответствующий новому фактору, в матрице меньшей размерности получают как произведение старых столбцов, затем исходный план повторяют, а у столбца произве-

дений меняют знак. Так, построение матрицы 2^3 из матрицы 2^2 с помощью данного приема показано в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Второй прием построения матрицы 2^3 из матрицы 2^2

Номер опыта	x_1	x_2	$x_1x_2x_3$	Номер опыта	x_1	x_2	$(-x_1)x_2x_3$
1	-1	-1	+1	5	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	6	+1	-1	+1
3	-1	+1	-1	7	-1	+1	+1
4	+1	+1	+1	8	+1	+1	-1

Третий прием («правило чередования знаков»): в первом столбце знаки меняются поочередно, во втором – через 2, в третьем – через 4, в четвертом – через 8 и т. д. по степеням двойки. С помощью данного приема нет необходимости использовать матрицу меньшей размерности. Пример построения матрицы 2^3 представлен в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Построение матрицы планирования 2^3 с помощью «правила чередования знаков»

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	Номер опыта	x_1	x_2	x_3
1	+1	+1	+1	5	+1	+1	-1
2	-1	+1	+1	6	-1	+1	-1
3	+1	-1	+1	7	+1	-1	-1
4	-1	-1	+1	8	-1	-1	-1

Основными свойствами полного факторного эксперимента 2^k , определяющими качество эмпирической модели объекта исследования, являются:

1) *симметричность* относительно центра эксперимента – алгебраическая сумма элементов каждого столбца матрицы планирования равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 0, \quad (5.9)$$

где N – число опытов; i – номер строки матрицы планирования или номер опыта; j – номер фактора (столбца матрицы), $j = 1, 2, \dots, k$; k – число факторов;

2) условие *нормировки* – сумма квадратов элементов каждого столбца матрицы планирования равна числу опытов:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^2 = N; \quad (5.10)$$

3) *ортогональность* – сумма почленных произведений любых двух столбцов матрицы планирования равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}x_{iu} = 0, \quad (5.11)$$

где $u \neq j$ – номер фактора (столбца матрицы), $u = 1, 2, \dots, k$;

4) *ротатабельность* – точки в матрице планирования подбираются так, что точность предсказания параметра оптимизации на равных расстояниях от центра эксперимента одинакова и не зависит от направления.

Для проведения пошаговой оптимизации объекта исследования необходимо после каждого шага (серии опытов) строить эмпирическую модель (зависимость параметра оптимизации от факторов). Обычно для этой цели используют линейную модель. Например, для двух факторов x_1 и x_2 и параметра оптимизации y линейная модель будет иметь вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2, \quad (5.12)$$

где b_0, b_1, b_2 – коэффициенты модели, которые определяют на основании результатов эксперимента.

По результатам опытов получают только выборочные оценки для коэффициентов. В статистике принято выборочные оценки параметров обозначать латинскими буквами, а истинные значения (математические ожидания) параметров – греческими. Таким образом, коэффициенты модели (b) представляют собой выборочные оценки, а истинные значения коэффициентов будут обозначаться символами β . Точность и надежность выборочных оценок коэффициентов зависит от свойств выборки и нуждается в статистической оценке.

Для расчета коэффициентов линейной модели b_j применяют метод наименьших квадратов. В случае кодированных значений факторов и при использовании результатов экспериментов, полученных с применением матриц планирования, удовлетворяющих свойствам симметричности, ортогональности и условию нормировки, формула для расчета коэффициентов b_j имеет простой вид:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij} y_i}{N}, \quad (5.13)$$

где y_i – значения параметра оптимизации в i -м опыте; j – номер фактора, который принимает значения от 1 до k .

Коэффициент b_0 находится из условия

$$\bar{y} = y(\bar{x}_1, \bar{x}_2), \quad (5.14)$$

где $\bar{y}, \bar{x}_1, \bar{x}_2$ – соответственно средние арифметические значения параметра оптимизации y и уровней факторов x_1 и x_2 .

Для линейной модели (5.12) условие будет иметь следующий вид:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 \bar{x}_1 + b_2 \bar{x}_2. \quad (5.15)$$

Но согласно свойству симметричности матрицы планирования $\bar{x}_1 = 0$ и $\bar{x}_2 = 0$. Поэтому коэффициент b_0 будет равен среднему арифметическому значений параметра оптимизации y_i :

$$b_0 = \bar{y}. \quad (5.16)$$

Чтобы унифицировать процедуру расчета коэффициента b_0 в соответствии с формулой (5.13), в матрицу планирования вводят столбец фиктивного фактора x_0 , который содержит +1 во всех строках. Тогда формула (5.13) будет применима и для расчета коэффициента b_0 . Индекс j в этой формуле будет меняться от 0 до k . Матрица планирования для эксперимента 2^2 имеет вид, представленный в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Матрица планирования эксперимента 2^2 с фиктивным столбцом x_0 и результатами опытов

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	y
1	+1	-1	-1	y_1
2	+1	+1	-1	y_2
3	+1	-1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	y_4

Полученные коэффициенты b_j указывают на силу влияния соответствующего фактора на параметр оптимизации. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний

или нижний. **Эффект фактора** – вклад фактора при его переходе с нижнего уровня на верхний. Он численно равен удвоенному значению соответствующего коэффициента линейной модели.

Линейная модель в выбранных интервалах варьирования может оказаться неадекватной, так как процесс в выбранной области может описываться нелинейной моделью. Для проверки адекватности модели существуют статистические методы.

В рамках полного факторного эксперимента 2^k можно количественно оценить нелинейность функции отклика, причем без проведения дополнительных опытов. Это связано с тем, что для построения линейной модели число опытов в полном факторном эксперименте оказывается избыточно. Минимально необходимое число опытов для расчета коэффициентов модели функции отклика равно числу этих коэффициентов. Так, для двух факторов число опытов в полном факторном эксперименте равно четырем, а число коэффициентов линейной модели – трем. Один «лишний» опыт можно использовать для построения более сложной, чем линейная модели и так оценить нелинейность функции отклика. Таким образом обычно оценивают **эффекты взаимодействия факторов** – зависимость влияния одного из факторов от уровня другого фактора. Для этого в линейную модель добавляют слагаемые с произведениями соответствующих факторов. Коэффициенты при этих произведениях характеризуют эффекты взаимодействия факторов. Так, линейная модель для двух факторов с эффектом взаимодействия выглядит следующим образом:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \quad (5.17)$$

где b_{12} – коэффициент, дающий оценку эффекта взаимодействия факторов. В данном уравнении мы имеем четыре коэффициента, и в полном факторном эксперименте 2^2 также имеется четыре опыта.

При построении плана эксперимента стремятся эффекты взаимодействия факторов сделать как можно меньше (например, снижая интервалы варьирования факторов). Для расчета коэффициента b_{12} можно использовать формулу (5.14), для чего необходимо в матрицу планирования ввести еще один столбец x_1x_2 , в который заносятся значения, получающиеся при перемножении соответствующих значений из столбцов x_1 и x_2 .

Матрица планирования эксперимента 2^2 с дополнительными столбцами для построения линейной модели с учетом эффекта взаимодействия факторов представлена в табл. 5.9.

Таблица 5.9

**Матрица планирования эксперимента 2^2 со столбцами
для построения линейной модели с эффектом взаимодействия факторов
и результатами опытов**

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	y
1	+1	-1	-1	+1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	y_3
4	+1	+1	+1	+1	y_4

С увеличением числа факторов число возможных взаимодействий быстро растет. Так, для трех факторов полный факторный эксперимент состоит из восьми опытов, а линейная модель имеет четыре коэффициента (b_0, b_1, b_2, b_3). Можно рассчитать еще четыре коэффициента для эффектов взаимодействия факторов ($b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$). Линейная модель с эффектами взаимодействия в случае трех факторов имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (5.18)$$

Коэффициент b_{123} характеризует эффект взаимодействия сразу трех факторов (эффект взаимодействия второго порядка). Соответствующая матрица планирования приведена в табл. 5.10.

Таблица 5.10

**Матрица планирования эксперимента 2^3 со столбцами
для построения линейной модели с эффектом взаимодействия факторов
и результатами опытов**

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y_4
5	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	y_5
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	y_6
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	y_7
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_8

Для расчета коэффициентов линейной модели с учетом эффектов взаимодействий удобно использовать метод Йетса. Суть метода расчета выражается следующими этапами:

– выписывают вектор-столбец полученных значений параметра оптимизации в порядке, соответствующем буквенным обозначениям опытов: (1), $a, b, ab, c, ac, bc, \dots$;

- во второй столбец записывают результаты попарных сложений и вычитаний значений из предыдущего столбца;
- второй этап повторяется столько раз, сколько факторов;
- числа, полученные в последнем столбце, делят на число опытов и получают значения коэффициентов линейной модели в соответствии с буквенными обозначениями опытов первого этапа: обозначение (1) – коэффициент b_0 , $a - b_1$, $b - b_2$, $c - b_3$, ..., $ab - b_{12}$, $ac - b_{13}$ и т. д.

Если функция отклика описывается моделью полинома второго порядка, то оценка коэффициента b_0 будет являться смешанной. Например, полином второго порядка для двух факторов имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (5.19)$$

При построении матрицы планирования и попытке добавить в нее столбцы x_1^2 и x_2^2 мы получим в этих столбцах значения +1, т. е. такие же, как и в столбце x_0 . Это значит, что получаемая оценка для коэффициента b_0 включает как коэффициент b_0 , так и коэффициенты b_{11} и b_{22} . Смешанные оценки для коэффициентов символически можно записать так:

$$b_0 \rightarrow \beta_0 + \beta_{11} + \beta_{22}. \quad (5.20)$$

Для построения линейной модели без учета эффектов взаимодействия факторов число опытов в полном факторном эксперименте 2^k избыточно, особенно в случае большого числа факторов. Так, для построения линейной модели для двух факторов достаточно трех опытов, а в полном факторном эксперименте необходимо 8 (2^3) опытов. Таким образом, можно сократить необходимое число опытов в процессе поиска оптимальных условий с использованием шаговой процедуры. Однако уменьшение числа опытов следует производить, соблюдая некоторые условия. Такого рода эксперименты с меньшим числом опытов, чем в полном факторном эксперименте и удовлетворяющие некоторым требованиям, называются дробным факторным экспериментом.

5.11. Дробный факторный эксперимент

Для сокращения числа опытов необходимо построить матрицу планирования так, чтобы она не лишилась своих свойств ортогональности и симметричности. Рассмотрим полный факторный эксперимент 2^2 .

Если постулировать отсутствие эффекта взаимодействия факторов x_1 и x_2 , то вектор-столбец x_1x_2 можно использовать для нового фактора x_3 . Причем возможно два варианта выбора планов эксперимента, когда $x_3 = +x_1x_2$ и $x_3 = -x_1x_2$ (табл. 5.11). Тогда для изучения трех факторов вместо восьми опытов можно поставить только четыре. При этом матрица планирования будет обладать всеми необходимыми свойствами (симметричности, ортогональности и т. д.).

Таблица 5.11

Планы дробного факторного эксперимента для трех факторов

Номер опыта	Варианты планов							
	x_0	x_1	x_2	$x_3 = +x_1x_2$	x_0	x_1	x_2	$x_3 = -x_1x_2$
1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1

Общее правило для построения планов дробного факторного эксперимента: в матрице планирования полного факторного эксперимента для меньшего числа факторов присвоить новому фактору вектор-столбец, принадлежащий взаимодействию факторов, которым можно пренебречь. С увеличением числа факторов вопрос минимизации числа опытов и выбора планов дробного факторного эксперимента становится весьма сложным.

Четыре опыта для оценки влияния трех факторов – это половина полного факторного эксперимента 2^3 , или полуреплика. Поэтому в данном случае возможно два варианта выбора планов дробного факторного эксперимента или возможно две полуреплики от полного факторного эксперимента. Матрица из восьми опытов для четырех факторов будет полурепликой эксперимента 2^4 , а для пяти факторов – четверть-репликой от 2^5 . Возможно четыре варианта выбора четверть-реплик. Для обозначения дробных реплик, в которых p линейных эффектов приравнены к эффектам взаимодействия, удобно пользоваться условным обозначением 2^{k-p} . Так, матрица планирования из четырех опытов для трех факторов (полуреплика) будет обозначаться 2^{3-1} , а из восьми опытов для пяти факторов – 2^{5-2} (четверть-реплика), а из восьми опытов для шести факторов – 2^{6-3} (1/8 реплика).

Условные обозначения дробных реплик, число опытов в них и в соответствующих полных факторных экспериментах представлены в табл. 5.12.

С увеличением числа факторов число опытов в дробных факторных экспериментах может быть очень сильно сокращено. Так, для 15 факторов проведение полного факторного эксперимента требует 32 768 опытов, а при полном отсутствии эффектов взаимодействия факторов достаточно всего 16 опытов, т. е. число опытов можно сократить более чем в 2000 раз. Однако выбор вариантов дробных реплик в этом случае будет очень большим (2048 вариантов).

Таблица 5.12

Условные обозначения дробных реплик и число опытов

Число факторов	Дробная реплика	Обозначение реплики	Число опытов	
			реплика	ПФЭ
3	1/2 от 2^3	2^{3-1}	4	8
4	1/2 от 2^4	2^{4-1}	8	16
5	1/4 от 2^5	2^{5-2}	8	32
6	1/8 от 2^6	2^{6-3}	8	64
7	1/16 от 2^7	2^{7-4}	8	128
5	1/2 от 2^5	2^{5-1}	16	32
6	1/4 от 2^6	2^{6-2}	16	64
7	1/8 от 2^7	2^{7-3}	16	128
8	1/16 от 2^8	2^{8-4}	16	256
9	1/32 от 2^9	2^{9-5}	16	512
10	1/64 от 2^{10}	2^{10-6}	16	1 024
11	1/128 от 2^{11}	2^{11-7}	16	2 048
12	1/256 от 2^{12}	2^{12-8}	16	4 096
13	1/512 от 2^{13}	2^{13-9}	16	8 192
14	1/1024 от 2^{14}	2^{14-10}	16	16 384
15	1/2048 от 2^{15}	2^{15-11}	16	32 768

Оценки коэффициентов линейных моделей, получаемые в дробном факторном эксперименте, будут смешаны с эффектами взаимодействия факторов. Так, для эксперимента 2^{3-1} получим следующую систему смешивания:

$$b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{23}; \quad b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{13}; \quad b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{12}. \quad (5.21)$$

Целесообразность применения дробных реплик возрастает с увеличением числа факторов. Эффективность дробных реплик зависит от удачного выбора системы смешивания эффектов факторов с эффектами взаимодействия факторов. Априорные сведения о значимости эффектов взаимодействия факторов могут оказаться очень полезными для удачного выбора дробных реплик.



6. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

План лекции

- 6.1. Письменное представление результатов научной работы.
- 6.2. Устное представление результатов научной работы.

Все материалы, полученные в процессе исследования, разрабатывают, систематизируют и оформляют в виде научной работы. Общие требования к оформлению научной работы следующие: четкость и логическая последовательность изложения материала; краткость и точность формулировок, исключающих возможность неоднозначного толкования, обоснованность рекомендаций и предложений.

6.1. Письменное представление результатов научной работы

Примерная *структура научной работы*:

- титульный лист (для научных статей название работы);
- список исполнителей (для научных статей фамилии и инициалы авторов);
- реферат;
- содержание (в научных статьях обычно отсутствует);
- перечень условных обозначений, символов, единиц и терминов;
- введение;
- основная часть:
 - а) аналитический обзор литературы;
 - б) объекты (методика) исследования;
 - в) результаты исследований;
 - г) обсуждение результатов;

- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Титульный лист является первым листом отчета о научно-исследовательской работе (НИР). На нем обычно указывают название работы, наименование организаций и структурных подразделений, в которых выполнялась работа, фамилии, инициалы, должности и ученые звания руководителей работы и лиц, утвердивших работу, а также год и город выпуска работы.

Список исполнителей оформляется отдельным листом (или листами) для отчетов о НИР. В список должны быть включены все исполнители и соисполнители, принимавшие участие в выполнении работы. Указываются фамилии, должности, ученые степени и звания исполнителей и соисполнителей.

Реферат должен содержать:

- 1) сведения об объеме работы;
- 2) информацию о количестве иллюстраций, таблиц, использованных источников;
- 3) перечень ключевых слов;
- 4) текст реферата.

Перечень ключевых слов должен характеризовать содержание работы и включать от 5 до 15 ключевых слов в именительном падеже. Текст реферата должен отражать объект исследования, цель работы, методы исследования, полученные результаты, их новизну, область применения и рекомендации по внедрению результатов. Объем текста реферата составляет 500–2000 знаков.

Содержание включает наименование всех разделов, подразделов и пунктов с указанием номеров страниц.

Перечень условных обозначений, символов, единиц и терминов приводится в виде отдельного списка, если в работе принята специфическая терминология или употребляются малораспространенные сокращения, символы, обозначения и т. п. Если в работе специальные термины, сокращения, символы, обозначения и т. п. повторяются менее трех раз, то их в перечень можно не включать, а их расшифровку приводить в тексте при первом упоминании.

Введение работы должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-исследовательской проблемы, основание и исходные данные для разработки темы, обоснование необходимости выполнения работы. Во введении должны быть показаны актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими НИР. Объем

введения – не менее одной страницы. Последняя страница должна быть заполнена не менее чем на $\frac{2}{3}$.

В **основной части** должны быть отражены:

– известные методы исследования и оборудование для решения выбранной проблемы и сравнительные оценки методов, общая методика исследования, анализ и обобщение существующих результатов;

– характер и содержание выполненных исследований, анализ полученных результатов и их сравнительная оценка;

– оценка полноты решения выбранной проблемы, достоверности полученных результатов, обоснование необходимости проведения дополнительных исследований или прекращения исследований.

Заключение должно содержать краткие выводы по результатам выполненной работы, предложения по их использованию, а также научную или практическую ценность полученных результатов.

Список использованных источников должен содержать перечень книг, статей и других документов, использованных при выполнении работы. Источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте работы.

В **приложения** следует включать:

- 1) отчет о патентных исследованиях, если они проводились;
- 2) промежуточные математические доказательства, формулы и расчеты;
- 3) таблицы вспомогательных цифровых данных;
- 4) протоколы и акты испытаний;
- 5) описания аппаратуры и приборов, примененных при проведении экспериментов, измерений и испытаний;
- 6) инструкции и методики, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на компьютере;
- 7) иллюстрации вспомогательного характера и т. д.

При оформлении научной работы следует руководствоваться требованиями соответствующих стандартов (при оформлении отчетов о НИР, курсовых, дипломных работ), редколлегий научных журналов (при написании научных статей), организаторов конференций (при оформлении материалов или тезисов докладов). Эти требования обычно включают: размеры полей страниц, абзацный отступ, междустрочный интервал, размер и стили шрифтов для основного текста, заголовков, рефератов, подписей к рисункам, таблицам и др., правила оформления рисунков, таблиц, заголовков структурных частей и т. д. Иллюстрации, таблицы должны быть всегда подписаны, и в тексте

обязательно на них должны быть ссылки. Располагать иллюстрации и таблицы в тексте следует после первого упоминания о них. Нужно следить за нумерацией таблиц, иллюстраций и формул. Следует строго придерживаться правил оформления научных работ.

6.2. Устное представление результатов научной работы

Доклад или сообщение о результатах научной работы должны содержать краткое изложение основных результатов, их практическую значимость, выводы и предложения. Время доклада обычно составляет 10–20 мин. Аргументация промежуточных и основных выводов должна быть как можно более четкой и желательно краткой. Необходимо уметь выделять основную идею доклада, не нужно подробно детализировать несущественные промежуточные выкладки, доказательства и т. п.

Не рекомендуется доклад читать перед аудиторией, его используют лишь для справок, чтения цитат. Эмоциональность, убежденность докладчика, его умение полемизировать обеспечивают контакт с аудиторией, внимание слушателей. Главным в научном докладе является содержание и научная аргументация.

Выразительность и доходчивость речи при изложении доклада в большой мере зависит от темпа, громкости и интонации. Спокойная, неторопливая манера изложения всегда импонирует слушателям. Докладчику необходимо следить за правильностью литературного произношения, употреблять слова в соответствии с их общепринятым смыслом. Отвечать на вопросы следует кратко, по существу, проявлять скромность в оценке своих научных результатов, выдержанность и тактичность даже в случае резких выступлений оппонентов. Самокритичность и уважительное отношение к деловой товарищеской критике – важное условие устранения недостатков в исследовании.

В ряде случаев по докладу составляют тезисы, в которых кратко (1–2 страницы) излагают главную идею, суть доклада и приводят необходимую аргументацию. Научный работник должен уметь выступать с кратким и четким докладом, вести научную дискуссию, убедительно аргументировать свои научные положения. Это умение вырабатывается систематической настойчивой работой над рефератами, докладами и выступлениями перед научным коллективом.



7. ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

План лекции

- 7.1. Технологические уклады в экономике.
- 7.2. Теории инновационного развития экономики.
- 7.3. Определения инноваций.
- 7.4. Классификация инноваций.
- 7.5. Инновационный процесс.
- 7.6. Инновационный проект как основа инновационного развития.
- 7.7. Порядок разработки инновационного проекта.
- 7.8. Финансирование инновационных проектов.
- 7.9. Анализ эффективности инновационного проекта.
- 7.10. Инновационные предприятия.
- 7.11. Инновационный менеджмент.
- 7.12. Базовые элементы инновационной инфраструктуры.
- 7.13. Национальная инновационная система Республики Беларусь.

7.1. Технологические уклады в экономике

Основные тенденции развития в макроэкономических инновационных процессах исторически проявлялись в изменении технологических укладов. Развитие техники началось примерно около 200–250 лет назад с появлением первых машин. Проанализировав развитие науки и техники, можно убедиться, что в определенный период – приблизительно от 40 до 70 лет – в развитых странах доминировали различные технологические системы, основанные на научных достижениях предшествующего периода и базирующиеся на определенных прогрессивных машинах того времени. Структурируя эти технические системы по прогрессивности оборудования и времени его использования до момента замены на более новое высокопроизводительное, можно проследить определенные циклы и периодичность, в течение которых использовались определенные технологии, прогрессивное оборудование, присущее данному конкретному периоду.

Выделяют следующие *технологические уклады* (ТУ) (табл. 7.1). Анализ технико-экономического развития на примере отдельных стран показал, что захват господствующих позиций новым ТУ ведет к экономическому оживлению и улучшению условий хозяйствования, продолжающемуся около четверти века; появляются новые продукты, возникают новые отрасли; технологическая перестройка затрагивает и традиционные отрасли: они тоже наращивают выпуск своей продукции. В результате макроэкономические показатели начинают возрастать темпами, превышающими темпы предыдущего (депрессивного) периода. Растет и эффективность функционирования экономики, что выражается в росте производительности труда и фондоотдачи. Затем постепенно спрос на многие виды товаров насыщается. И дальнейшие улучшения технологических систем, на основе которых сформировался данный доминирующий ТУ, дают снижающий эффект.

Таблица 7.1

Технологические уклады индустриального технологического общества

Характеристика	Технологический уклад				
	1770–1830	1831–1880	1881–1930	1931–1980	1981–2030
Технологические лидеры	Великобритания, Франция, Бельгия	Великобритания, Франция, Бельгия, Германия, США	Германия, Великобритания, США, Франция, Бельгия, Швейцария, Нидерланды	США, Канада, Австралия, Япония, Швеция, Швейцария	Япония, США, Германия, Швейцария, ЕЭС, Тайвань, Корея, Канада, Австралия
Ядро технологического уклада	Текстильная промышленность, машиностроение, обработка железа, строительство каналов	Железнодорожное строительство, транспорт, машиностроение, угольная, станкостроительная промышленность, черная металлургия	Электротехническое, тяжелое машиностроение, линии электропередач, неорганическая химия	Автомобилестроение и тракторостроение, цветная металлургия, синтетические материалы, органическая химия, добыча и переработка нефти	Электронная промышленность, вычислительная, оптоволоконная техника, программное обеспечение, телекоммуникации, роботостроение, информационные услуги
Ключевой фактор	Текстильные машины	Паровой двигатель, сталь	Электродвигатель, сталь	Двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия	Микроэлектронные компоненты

Характеристика	Технологический уклад				
	1770–1830	1831–1880	1881–1930	1931–1980	1981–2030
Формирующееся ядро нового уклада	Паровые двигатели, машиностроение	Сталь, энергетика, тяжелое машиностроение, неорганическая химия	Автомобилестроение, органическая химия, добыча и переработка нефти, цветная металлургия	Радары, строительство трубопроводов, авиапромышленность, добыча и переработка газа	Биотехнология, космическая техника, тонкая химия
Преимущество уклада по сравнению с предыдущим	Механизация и концентрация производства на фабриках	Рост масштабов и концентрация производства на основе парового двигателя	Повышение гибкости и стандартизация производства, урбанизация	Массовое и серийное производство	Информатизация производства и потребления телекоммуникаций

Различают четыре *стадии* (разновидности) конкурентного развития: стадия развития на основе факторов производства, при которой источниками развития являются материальные и трудовые ресурсы; стадия инвестиционного развития, источниками которого выступают капитальные ресурсы; стадия инновационного развития на основе наукоемких и технологичных разработок; стадия развития на основе благосостояния, при которой источниками развития служат возросшие платежеспособные потребности.

Формирование любой технологической системы начинается с применения базисного нововведения. Эти процессы настолько существенно изменяют жизнь общества, что для их характеристики обычно используется термин «научно-техническая революция» (НТР).

После 10–15 лет улучшения экономической конъюнктуры наблюдается падение творческой продуктивности и в области значительных изобретений, и в области крупных научных открытий, и в области базисных нововведений. Нововведения, делающиеся в период подъема творческой активности, становятся своеобразным «центром», вокруг которого формируются технологические системы, составляющие основной каркас будущего ТУ.

Для ускорения процесса становления нового ТУ и отмирания старого ТУ эффективным методом является разрушение существующего ТУ путем перераспределения средств в пользу нового.

В процессе становления нового ТУ начинается процесс экономического роста. Свое выражение рост находит в увеличении потенциального

и реального валового национального продукта (ВНП), возрастании экономической мощи страны. Экономический рост – это наращивание экономического потенциала, прирост потенциального ВНП, выраженный в сопоставляемых постоянных цифрах. Таким образом, проблема экономического роста – это центральная задача всех государств.

7.2. Теории инновационного развития экономики

Необходимым составным элементом стратегического управления на современном этапе является разработка концепций развития с учетом тенденций изменения рыночной среды, т. е. *стратегии на микроуровне должны быть неразрывно связаны с макроэкономическими явлениями.*

Макроэкономические инновационные процессы определяются длинноволновой динамикой экономики, имеющей циклический характер.

Теория Н. Д. Кондратьева. Российскому ученому Н. Д. Кондратьеву принадлежит заслуга создания первой систематической концепции долговременных колебаний в современной экономике – концепции, подтвержденной обширными эмпирическими исследованиями. В структуре длинной волны, качественно показанной на рис. 7.1 в виде уровня технико-экономического развития (ТЭР), а также изменения объемов производства и уровня цен, выделяют следующие фазы:

- фаза рецессии, в которой накапливается избыток производственных мощностей и берет начало стагнация экономики;
- фаза депрессии, в которой стагнация экономики нарастает;
- фаза оживления, в которой процессы депрессии сменяются процессами инноваций;
- фаза роста, характерная для бурного развития экономики.

Длинные волны генерируются взаимодействием двух производственных секторов, один из которых создает предметы потребления, а другой – средства производства. Длинная волна возникает из-за больших временных лагов в реакции сектора производства средств производства и характерного для него *эффекта самоказа*: расширение производства средств производства требует увеличения объемов средств производства для средств производства и временного уменьшения объемов средств производства предметов потребления. В ответ на временный дефицит нагнетается волна избыточного спроса и происходит перенакопление производственных мощностей (рис. 7.1).

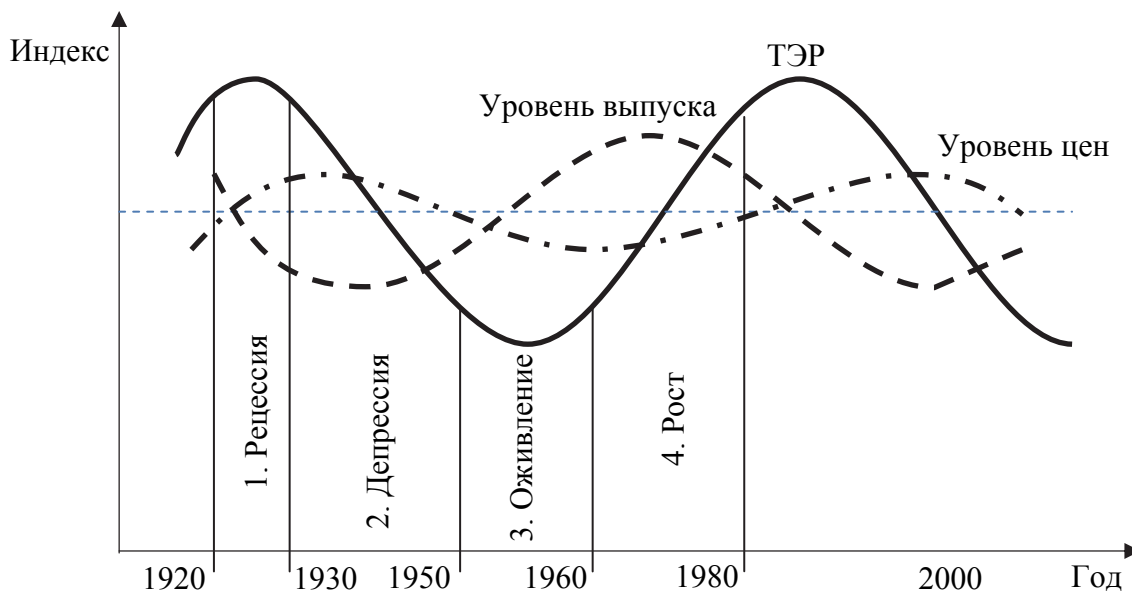


Рис. 7.1. Структура длинных волн

Теория Й. Шумпетера и Г. Менша. Существенный вклад в развитие теории нововведений внес Г. Менш, разделивший все нововведения на два вида: базисные, формирующие новые отрасли промышленности и новые профессии, открывающие новое поле человеческой деятельности; улучшающие – технические усовершенствования в сложившихся отраслях, появляющиеся в ходе практической реализации новых возможностей, заложенных базисными нововведениями.

Г. Менш и автор теории экономического развития Й. Шумпетер сформировали **концепцию кластеризации нововведений**, т. е. группирования инноваций в отдельных фазах волн: большая часть базисных нововведений концентрируется в фазе депрессии длинной волны; в последующих фазах происходит «шторм» улучшающих новаций, который завершается внедрением так называемых «псевдоновшеств» в фазе рецессии. В этой фазе экономика оказывается в состоянии технологического пата: традиционные направления научно-технического прогресса (НТП) исчерпаны, соответствующие потребности насыщены, инновационная активность падает, а слабеющий потребительский спрос поддерживается при помощи незначительных изменений, касающихся главным образом внешнего вида изделий и создающих лишь видимость новизны. Неравномерность инновационной активности объясняется тем, что к внедрению радикальных нововведений предприниматели приступают только под давлением падения эффективности капиталовложений в традиционных направлениях, когда накоплены значительные избыточные мощности.

Кластеризация может быть обоснована двумя гипотезами:

1) гипотеза «о депрессии как спусковом крючке», т. е. предположение о давлении спроса;

2) гипотеза «о ведущей роли технологий» как основы инноваций продуктов, т. е. начало кластеру дает скачок в технологических отраслях. К. Фримен выдвинул идею о том, что появление кластера нововведений технологически детерминировано прорывами в фундаментальной науке.

Инновационные гипотезы дополняют друг друга, поскольку первая гипотеза не объясняет появление новых продуктов (а только улучшение уже имеющихся, так как невозможен спрос на несуществующий продукт), а вторая гипотеза основывается на идее автономного НТП («наука – техника – производство»), игнорируя сильные обратные связи между экономическим окружением и направленностью НТП.

Таким образом, *вследствие прорывов в фундаментальной науке вначале новшества внедряются в быстрорастущих отраслях*, являющихся носителями волны, что соответствует кластерам нововведений в период подъема, в дальнейшем такие *кластеры появляются в старых отраслях в результате давления спроса со стороны новых отраслей* на более поздних стадиях длинной волны. Роль депрессии в инновационной активности экономики косвенна: рост социального напряжения требует разного рода изменений, что создает благоприятную среду для организационных нововведений.

Так формируется *инновационный мультипликатор*, описание действия которого дано Х. Майером: инвестиции в базисные нововведения обуславливают рост производства, *индуцирующий появление вторичных инноваций*, которые улучшают и замещают устаревшие технологии. Внедрение вторичных нововведений сопровождается новыми инвестициями, стимулирующими дальнейший рост производства. Таким образом, после внедрения кластера базисных нововведений *диффузия улучшающих новшеств* вводит экономику в фазу роста.

7.3. Определения инноваций

Существует несколько подходов к определению инновации:

– согласно Б. Твиссу, «инновация – это процесс, в котором изобретение или идея приобретает экономическое содержание»;

– по Ю. П. Морозову, «инновация – это прибыльное использование новаций в виде технологий, видов продукции, организационно-

технических и социально-экономических решений производственно-го, финансового, коммерческого или иного характера».

Инновации (нововведения) – это конечный результат инновационной деятельности, получивший реализацию в виде нового или усовершенствованного продукта, реализуемого на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности.

Различают понятия «новшество» и «инновация». **Новшество** – это оформленный в виде патента результат фундаментальных и прикладных исследований, разработок или экспериментальных работ по повышению эффективности в какой-либо сфере деятельности. **Инновация** – конечный результат внедрения новшества с целью изменения объекта управления и получения экономического и иного эффекта.

Инновационная деятельность – это сфера разработки и практического освоения технических, технологических и организационно-экономических нововведений, которая включает не только инновационные процессы, но и маркетинговые исследования рынков сбыта товаров, их потребительских свойств, а также новые подходы к организациям информационных, консалтинговых, социальных и других услуг.

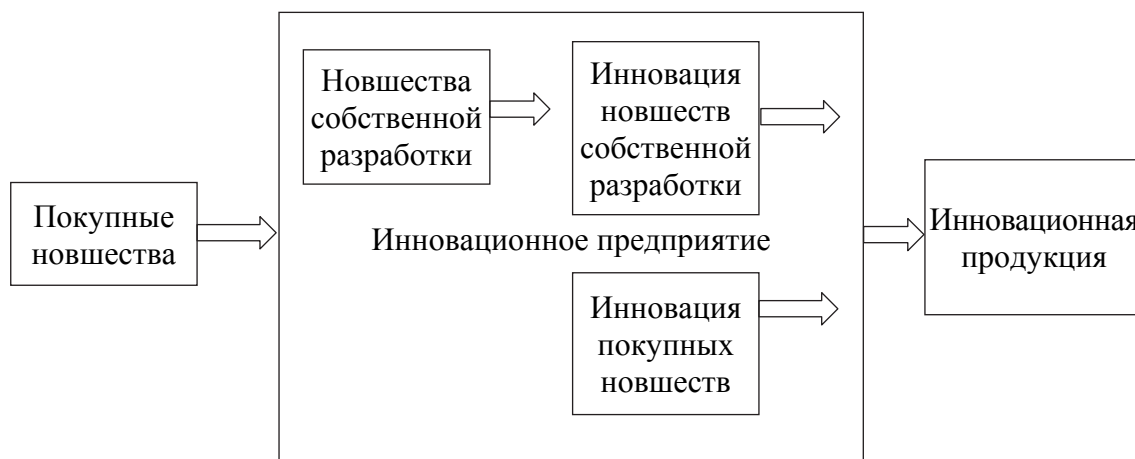


Рис. 7.2. Схема превращения новшеств в инновационную продукцию

Инновационный процесс – это совокупность временных этапов жизненного цикла нововведения от возникновения идеи до ее разработки и распространения. Схема инновационного процесса как превращения новшества в инновацию приведена на рис. 7.2.

7.4. Классификация инноваций

Основная классификация инноваций формируется *в соответствии с результатом инновационной деятельности*. Выделяют два типа инноваций: продукт-инновации и процесс-инновации.

Продукт-инновации включают в себя разработку и внедрение новых или усовершенствованных продуктов. Разработка и внедрение новой продукции нацелены на производство и представление на рынок сбыта принципиально новой продукции, для которой являются новыми: предполагаемая область применения, функциональные характеристики, признаки и конструктивное выполнение, дополнительные услуги, состав используемых материалов. Такие инновации могут быть основаны на принципиально новых технологиях или на сочетании новых применений существующих технологий.

Разработка и внедрение усовершенствованной продукции базируются на уже существующих видах продукции, для которых улучшаются качественные характеристики, повышается экономическая эффективность их производства путем использования новых компонентов и материалов, частичного изменения одной или более технологических подсистем (для комплексной продукции).

Кроме того, в продукт-инновации включаются новые или усовершенствованные виды продукции, уже реализованные в производственной практике других предприятий и распространяемые через технологический обмен – трансфер: лицензии, ноу-хау, консультации и др.

Процесс-инновации включают в себя разработку и внедрение новых или значительно улучшенных производственных методов, предполагающих применение нового производственного оборудования, новых методов организации производственного процесса или их совокупности. Такие инновации нацелены, как правило, на повышение эффективности производства уже существующей на предприятии продукции.

Научно обоснованная классификация инноваций предусматривает следующие логические принципы: место применения инноваций; цели инноваций; формы реализации инноваций.

Существуют различные *варианты классификации инноваций*. Можно выделить следующие классификационные признаки:

- 1) масштаб инноваций (трансконтинентальные, транснациональные, региональные, крупные, средние, мелкие);
- 2) результативность инноваций (высокая, низкая, стабильная);
- 3) эффективность инноваций (экономическая, социальная, экологическая, интегральная);

4) темп осуществления (быстрые, замедленные, нарастающие, равномерные, скачкообразные);

5) область применения (управленческие, организационные, социальные, промышленные);

6) этап научно-технического прогресса (НТП) (научные, технические, технологические, конструкторские, производственные, информационные);

7) степень интенсивности («бум», равномерная, слабая, массовая инновация).

Исходя из того, в какой области осуществляется изменение, можно выделить: продуктовые, технологические, управленческие инновации.

В соответствии с классификацией инноваций по степени изменений, которая была предложена чешским экономистом Ф. Валентой, выделяют:

– восстановительные инновации, характерные для простого воспроизводства;

– количественные инновации, связанные с увеличением числа элементов объекта;

– организационные инновации, состоящие в перегруппировке взаимосвязей между элементами объекта;

– адаптационные инновации, заключающиеся в приспособлении элементов к новым требованиям;

– варианты инновации, связанные с улучшением единичных или нескольких параметров без изменения подхода;

– групповые инновации, заключающиеся в улучшении всех параметров на традиционной основе;

– видовые инновации, выражающиеся в улучшении качественных параметров на основе частичного обновления принципов;

– родовые инновации – принципиально новое решение.

Жизненный цикл инновации – это период времени от зарождения идеи у новатора до освоения и использования инновации у потребителя-инноватора.

Стадии жизненного цикла продуктовой (технологической) инновации следующие:

1. Стратегический маркетинг и предпроектные исследования, т. е. концептуальное проектирование.

2. НИОКР по созданию новшества (технологии).

3. Организационно-технологическая подготовка производства продукта (освоение технологии).

4. Коммерциализация (выведение на рынок) – серийное производство и продажа инновационного продукта (распространение и тиражирование технологической инновации).

5. Сервис при потреблении новшества (рутинизация технологической инновации).

Рутинизация технологии предполагает: широкое применение новшеств в стабильно функционирующих подразделениях фирмы; автоматизацию и механизацию основного, вспомогательных и обслуживающих технологических процессов; обучение большого количества работников, способных применять на практике новые технологии.

Существуют различные виды *классификаций производственных технологий*:

– по динамике развития: прогрессирующие, развивающиеся, устоявшиеся, устаревшие;

– исходя из эффективности: низкого, среднего, высокого уровня;

– в зависимости от назначения: созидательные, разрушительные, двойного назначения;

– по области применения: научные, образовательные, производственные;

– исходя из потребности в ресурсах: наукоемкие, капиталоемкие, энергоемкие;

– в зависимости от приоритета создания: первичные, конверсионные;

– по уровню новизны: профессиональные, аксиоматические, ноу-хау;

– исходя из уровня сложности: простые, сложные.

Выделяют следующие типы инновационных стратегий:

1) *наступательная* – характерна для фирм, основывающих свою деятельность на принципах предпринимательской конкуренции. Она свойственна малым инновационным фирмам;

2) *оборонительная* – направлена на то, чтобы удержать конкурентные позиции фирмы на уже имеющихся рынках. Главная функция такой стратегии – активизировать соотношение «затраты – результат» в инновационном процессе. Такая стратегия требует интенсивных НИОКР;

3) *имитационная* – используется фирмами, имеющими сильные рыночные и технологические позиции. Применяется фирмами, не являющимися пионерами в выпуске на рынок тех или иных нововведений. При этом копируются основные потребительские свойства (но не обязательно технические особенности) нововведений, выпущенных на рынок малыми инновационными фирмами или фирмами-лидерами.

7.5. Инновационный процесс

Различают три логические формы инновационного процесса: простой внутриорганизационный (натуральный), простой межорганизационный (товарный) и расширенный.

Простой внутриорганизационный инновационный процесс предполагает создание и использование новшества внутри одной и той же организации. Новшество в этом случае не принимает непосредственно товарной формы. При **простом межорганизационном инновационном процессе** новшество выступает как предмет купли-продажи. Такая форма инновационного процесса означает отделение функции создателя и производителя новшества от функции его потребителя.

Расширенный инновационный процесс проявляется в создании новых производителей нововведения, в нарушении монополии производителя-пионера, что способствует через взаимную конкуренцию совершенствованию потребительских свойств выпускаемого товара. В условиях товарного инновационного процесса действуют как минимум два хозяйствующих субъекта: производитель (создатель) и потребитель (пользователь) нововведения. Если новшество – технологический процесс, его производитель и потребитель могут совмещаться в одном хозяйствующем субъекте.

Простой инновационный процесс переходит в товарный за две фазы:

- создание новшества и его распространение;
- диффузия нововведения.

Участники инновационного процесса – исследователи, промышленники и предприниматели, инвесторы, органы государственной власти и управления.

Субъекты инновационного процесса:

- 1) новаторы – это генераторы научно-технических знаний (получают часть дохода от использования изобретения);
- 2) раннее большинство – первые внедрившие новшество в производство (получают прибыль от внедрения новшества в производство);
- 3) ранние реципиенты – первые освоившие новшество (получают дополнительную прибыль от продвижения новшеств на рынке);
- 4) отстающие – запаздывающие с нововведениями (получают часть прибыли от производства).

Диффузия инноваций – это процесс распространения нововведений в деловых циклах научно-технической, производственной и организационно-экономической деятельности. Диффузия определяется

следующими факторами: потенциал коммерциализации инноваций и их свойства (параметры); инвариантность инноваций к внутриорганизационным преобразованиям и изменениям внешней среды; условия внедрения нововведений; способ передачи информации; форма принятия решений.

Выделяют следующие *стадии инновационного процесса*: фундаментальные исследования (ФИ), прикладные исследования (ПИ), опытно-конструкторские разработки (ОКР), проектирование (Пр), строительство (С), освоение (Ос), промышленное производство (ПП). В табл. 7.2 представлены затраты на реализацию стадий инновационного процесса в относительных единицах при затратах на ПИ = 1 и время осуществления по стадиям. В скобках приведены данные без учета Пр и С.

Таблица 7.2

Стадии инновационного процесса

Стадия	ФИ	ПИ	ОКР	Пр	С	Ос	ПП
Исполнители	Институты РАН	Отраслевые, негосударственные ИП вузы		Проектные институты	Строительно-монтажные организации	Отраслевые, негосударственные ИП	Промышленные предприятия
Время T , лет	0,7–1,3	1,0–1,1	1,0–1,1	0,5–1,0	1–2	0,5–1,0	
	$T = 4,7–7,5$ (3,2–4,5)						
Затраты Z	–	1	4–5	0,5–1,0	10–20	1–4	
	$Z = 16,5–31,0$ (6–10)						

Фундаментальные исследования – экспериментальные или теоретические исследования, направленные на получение новых знаний. Их результатом могут быть теории, гипотезы, методы и т. п. Они могут завершаться рекомендациями о проведении прикладных исследований, научными докладами, публикациями.

В отличие от фундаментальных исследований, **прикладные исследования** имеют целью решение конкретных практических задач. Они представляют собой оригинальные работы, направленные на получение новых знаний, поиск путей использования результатов фундаментальных исследований, новых методов решения тех или иных проблем.

Прикладные исследования – работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований, экспериментов в целях расширения имеющихся и получения новых знаний, проверки

научных гипотез, установления закономерностей, проявляющихся в природе и в обществе, научных обобщений, научного обоснования проектов.

Рекомендуются следующие основные этапы НИР:

- разработка технического задания (ТЗ) на НИР;
- выбор направлений исследования;
- теоретические и экспериментальные исследования;
- обобщение и оценка результатов исследований.

После завершения прикладных НИР при условии получения положительных результатов экономического анализа, удовлетворяющих фирму с точки зрения ее целей, ресурсов и рыночных условий, приступают к выполнению опытно-конструкторских работ (ОКР). ОКР – важнейшее звено материализации результатов предыдущих НИР. На основе полученных результатов исследований создаются и отрабатываются новые товары.

Основными этапами ОКР являются:

- 1) разработка ТЗ на ОКР;
- 2) техническое предложение;
- 3) эскизное проектирование;
- 4) техническое проектирование;
- 5) разработка рабочей документации для изготовления и испытаний опытного образца;
- 6) предварительные испытания опытного образца;
- 7) государственные (ведомственные) испытания опытного образца;
- 8) отработка документации по результатам испытаний.

Опытно-конструкторские разработки – комплекс работ по созданию новых веществ, материалов и (или) технологических процессов и по изготовлению технической документации на них. **Опытно-конструкторские разработки** – это часть работ, направленных на создание новых продуктов или устройств, новых материалов, внедрение новых процессов, систем и услуг или усовершенствование уже выпускаемых или введенных в действие.

7.6. Инновационный проект как основа инновационного развития

Инновационный проект – это система взаимосвязанных целей и программ их достижения, представляющих собой комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных,

организационных, финансовых, коммерческих и других мероприятий, соответствующим образом организованных (увязанных по ресурсам, срокам и исполнителям), оформленных комплектом проектной документации и обеспечивающих эффективное решение конкретной научно-технической задачи (проблемы), выраженной в количественных показателях и приводящей к инновации.

К основным элементам инновационного проекта относятся:

– сформулированные цели и задачи, отражающие основное назначение проекта;

– комплекс проектных мероприятий по решению инновационной проблемы и реализации поставленных целей;

– организация выполнения проектных мероприятий, т. е. увязка их по ресурсам и исполнителям для достижения целей проекта в ограниченный период времени и в рамках заданных стоимости и качества;

– основные показатели проекта (от целевых – по проекту в целом до частных – по отдельным заданиям, темам, этапам, мероприятиям, исполнителям), в том числе показатели, характеризующие его эффективность. Инновационные проекты могут формироваться в составе научно-технических программ (для реализации задач отдельных направлений (заданий, разделов) программы) и самостоятельно (для решения конкретной проблемы на приоритетных направлениях развития науки и техники).

В зависимости от времени, затрачиваемого на реализацию проекта и достижение его целей, инновационные проекты могут быть подразделены на долгосрочные (стратегические), период реализации которых превышает 5 лет, среднесрочные с периодом реализации от 3 до 5 лет и краткосрочные – менее 3 лет. С точки зрения характера целей проект может быть конечным, т. е. отражать цель решения инновационной проблемы в целом, или промежуточным, связанным с достижением промежуточных результатов решения сложных проблем. По виду удовлетворяемых потребностей проект может быть ориентирован на существующие потребности или на создание новых. Классификация инновационных проектов по типу инноваций предполагает деление их на введение нового (радикального) или усовершенствованного (инкрементального) продукта; введение нового или усовершенствованного метода производства; создание нового рынка; освоение нового источника поставки сырья или полуфабрикатов; реорганизацию структуры управления.

Содержание инновационных проектов. Можно выделить три аспекта рассмотрения содержания инновационного проекта по стадиям

инновационной деятельности, процессу формирования и реализации, элементам организации. С точки зрения стадий осуществления инновационной деятельности проект включает в себя НИР, проектно-конструкторские и опытно-экспериментальные работы, освоение производства, организацию производства и его пуск, маркетинг новых продуктов, а также финансовые мероприятия.

В основе рассмотрения содержания инновационного проекта по процессу его формирования и реализации, т. е. технологически, лежит концепция жизненного цикла инновационного проекта, которая исходит из того, что инновационный проект есть процесс, происходящий в течение конечного промежутка времени. В таком процессе можно выделить ряд последовательных по времени этапов (фаз), различающихся по видам деятельности, обеспечивающих его осуществление.

Управление проектом представляет собой целенаправленный процесс достижения целей проекта при ограничениях на финансовые, материальные, человеческие, временные и прочие ресурсы. Рабочая группа, создаваемая для реализации проекта, решает новые задачи, отличающиеся от задач, решаемых существующими функциональными подразделениями.

Между рабочей группой и всей организацией налаживается устойчивая связь, так как реализация проекта должна осуществляться в сотрудничестве с существующими подразделениями и результат должен быть интегрирован в имеющуюся структуру. В таком случае каждый член рабочей группы имеет, как правило, двух руководителей (руководителя группы и руководителя функционального подразделения).

Если речь идет о радикальных нововведениях, в составе группы могут быть выделены: технический руководитель, решающий, что и когда должны делать сотрудники; научный («профессиональный») руководитель, отвечающий за качество выполнения работы; руководитель-организатор, обеспечивающий личные интересы сотрудников (зарплата и др.).

Руководители образуют координационную группу, которая решает следующие задачи:

- 1) определение цели проекта;
- 2) назначение руководителей рабочих групп;
- 3) создание рабочих групп;
- 4) постановка задачи;
- 5) контроль за реализацией проекта (качество, время, расходы);
- 6) принятие решения о продолжении;
- 7) роспуск рабочих групп.

Рабочие группы отвечают за выполнение своей части проекта, планирование и контроль, составление отчетов для координирующей группы и всей организации.

При отборе кандидатур в рабочую группу руководствуются следующими критериями:

- компетентность и опыт;
- наличие специальных знаний в проблемной области;
- возможность привлечения к работе;
- власть и авторитет в организации;
- способность разрешать конфликтные ситуации;
- отношение к делу;
- личный интерес и мотивация.

Надо учитывать, что руководитель проекта играет решающую роль в организации работы. Поэтому по своим личным качествам, способностям и полномочиям он должен иметь авторитет в глазах руководителей функциональных подразделений.

В практике менеджмента применяется много методик управления рабочей группой. Среди них – планирование (особенно планирование бюджета и контроль за затратами; управление информационными потоками и т. п.).

Специфическими инструментами управления проектом являются:

- 1) определение проекта и постановка задачи;
- 2) установление промежуточных этапов (разделение проекта на отдельные фазы).

Они взаимосвязаны и не могут эффективно функционировать изолированно. Четкая формулировка проблемы и постановка задачи важна:

- для осмысления проекта и установления этапов выполнения;
- выделения важнейших проблем;
- создания модели обмена информацией;
- определения ожидаемых результатов;
- разработки рекомендаций после завершения работ.

На протяжении всех этапов выполнения проекта могут приниматься решения по следующим возникающим вопросам:

- 1) нужно продолжать или скорректировать задания;
- 2) не надо ли уточнить последний этап;
- 3) форма завершения последнего этапа.

Все разделение проекта на этапы должно быть тщательно продумано. Одной из причин неудач в реализации проекта является нечеткая организация сотрудничества и согласованности внутри рабочей группы, а также между рабочей группой и организацией.

Управление инновациями – это изменения с целью внедрения и использования новых видов оборудования, процессов, постоянного обновления различных сторон инновационной деятельности предприятия. Оно включает не только технические и технологические разработки, но и любые изменения в лучшую сторону во всех сферах деятельности предприятия, а также в управлении процессом новых знаний.

Одной из трудностей управления инновациями является эффективное распределение ресурсов.

Искусство управления заключается в осуществлении намеченного. В сфере инноваций, больше чем в какой-либо другой, это зависит от людей, входящих в проектную «команду». Творчество и предпринимательство не могут быть спланированы, но условия, в которых они могут эффективно раскрыться, сильно зависят от управленческих решений. Осуществление плана может быть эффективным только тогда, когда он воспринимается как реальный теми, кто отвечает за его выполнение. Поэтому характер и стиль руководства со стороны высшего менеджмента – жизненно важная составляющая успеха проекта.

7.7. Порядок разработки инновационного проекта

Формирование инновационной идеи и постановка цели проекта. Возникновение инновационной идеи – отправная точка, с которой начинается разработка инновационного проекта. Формирование инновационной идеи рассматривается с двух позиций. С одной стороны, инновационная идея составляет основу, суть инновационного проекта, находящую отражение в постановке генеральной (конечной) цели проекта (идея создания нового продукта или услуги, идея организационных преобразований в отрасли, регионе, на действующем предприятии и т. п.). С другой стороны, под формированием инновационной идеи (замысла) понимается задуманный план действий, т. е. способы или пути достижения цели проекта. Уже на этом этапе определяются альтернативные варианты решения проблемы. Идея может возникнуть спонтанно или явиться результатом длительного процесса, а также результатом коллективной экспертизы или индивидуального анализа.

К средствам генерирования и формирования инновационных идей относятся такие хорошо известные методы экспертных оценок, как методы выявления мнений (метод интервью, метод анкетирования –

выборочных опросов, написание сценария и т. д.) и творческие методы («мозговая атака», морфологический анализ, метод Дельфи и т. д.).

Маркетинговое исследование идеи проекта. Параллельно с формированием инновационной идеи проекта проводятся ее маркетинговые исследования. Целью этого этапа выступает определение сферы влияния проекта на развитие народного хозяйства и, как следствие, количественное уточнение цели проекта и задач по отдельным периодам. Конечные цели и задачи инновационного проекта не всегда могут быть установлены в виде конкретных количественных показателей на стадии выбора и обоснования проблемы (инновационной идеи). Поэтому разработка проекта должна начинаться с количественного уточнения конечной цели проекта и установления промежуточных задач ее реализации по отдельным временным периодам для различных вариантов реализации.

С этой целью осуществляются следующие действия:

- устанавливаются возможные потребители целевого продукта проекта;

- анализируются возможности и экономическая целесообразность замены производимой продукции новыми видами целевой продукции;

- изучается структура отраслей, обеспечивающих реализацию проекта сырьем, энергоресурсами, комплектующими изделиями и т. д.;

- анализируются новые сферы использования конечного продукта проекта;

- исследуются экономические и социальные последствия реализации проекта.

Планирование инновационного проекта. В управлении проектом планирование (программирование, детальная программа) занимает основное место, воплощая в себе организующее начало всего процесса реализации проекта. Основная цель планирования – интеграция всех участников проекта для выполнения комплекса работ, обеспечивающих достижение конечных результатов проекта. План реализации инновационного проекта представляет собой детальный, развернутый во времени, сбалансированный по ресурсам и исполнителям, взаимосвязанный перечень научно-технических, производственных, организационных и других мероприятий, направленных на достижение общей цели или решение поставленной задачи. Таким образом, план содержит указания, кому, какую задачу и в какое время решать, а также какие ресурсы нужно выделить на решение каждой задачи. Как правило, он оформляется в виде комплексной инновационной программы.

Система планов. При управлении инновационными проектами выделяется система планов, представленная на рис. 7.3.



Рис. 7.3. Виды планов инновационного проекта

По целям различают стратегический и оперативный планы реализации проекта. Стратегический план определяет: целевые этапы и основные вехи проекта, характеризующиеся сроком завершения комплексов работ, сроками поставки продукции (оборудования), сроками подготовки фронта работ и т. д.; кооперацию организаций-исполнителей; потребности в материальных, технических и финансовых ресурсах с распределением по годам, кварталам. Основное назначение стратегического плана – показать, как промежуточные этапы реализации проекта логически выстраиваются по направлению к его конечным целям. Оперативный план уточняет сроки выполнения комплексов работ и потребность в ресурсах, устанавливает четкие границы между комплексами работ, за выполнение которых отвечают различные организации-исполнители, в разрезе года и квартала.

Планы могут детализироваться по уровню проекта (степени охвата работ проекта): план проекта в целом, планы организаций – участников проекта, планы отдельных видов работ (этапов, стадий, основных вех). План проекта в целом называется сводным, или комплексным, и охватывает все работы проекта. Планы отдельных организаций-участников (поставщиков, инвесторов, исполнителей) или отдельных видов работ (план НИОКР, бюджет проекта, план поставок и т. д.) могут быть частными или детальными. Содержательно планы подразделяются на продуктивно-тематические, календарные, технико-экономические (ресурсные) и бизнес-планы.

Продуктивно-тематический план инновационного проекта представляет собой увязанный по ресурсам, исполнителям и срокам осуществления комплекс заданий НИОКР, а также работ по их обеспечению для эффективной реализации целей проекта. В процессе продуктивно-тематического планирования по заданиям, включенным в проект, определяются и подготавливаются следующие параметры и материалы:

- 1) состав этапов работ и сроки их выполнения;
- 2) состав ответственных исполнителей и соисполнителей по этапам;
- 3) сметная стоимость каждого этапа, в том числе затраты на НИОКР, капитальные вложения, прочие затраты с разбивкой по годам;
- 4) перечень важнейших материально-технических ресурсов, необходимых для реализации задания, с разбивкой по годам;
- 5) расчеты экономической эффективности;
- 6) карты технического уровня по новым видам продукции и по новым техническим процессам.

Календарный план инновационного проекта определяет продолжительность и объемы работ, даты начала и окончания выполнения работ, тем, заданий проблемно-тематического плана, резервы времени и величины ресурсов, необходимых для реализации проекта. Календарные расчеты имеют своей целью регламентацию слаженного и согласованного хода работ с учетом целесообразной их последовательности и взаимосвязи по каждой теме (заданию) проблемно-тематического плана и по отдельным организациям-исполнителям (детальные календарные планы), а также по проекту в целом (сводный оптимальный календарный план). При календарном планировании в системе управления инновационными проектами рекомендуется использовать методы сетевого планирования и управления (СПУ).

Учет и оценка факторов риска. При проведении оценки инновационных проектов одним из существенных моментов учета является

изучение возможных неопределенностей и рисков, способных отрицательно повлиять (в той или иной степени) на результаты проекта.

Наиболее распространенная классификация рисков выделяет две основные категории рисков – в зависимости от возможного результата и исходя из основной причины возникновения. В зависимости от возможного результата риски подразделяют на чистые (в более узком смысле – статические), означающие возможность получения отрицательного или нулевого результата (природные, экологические, политические, транспортные, имущественные, производственные, торговые), и на спекулятивные (в более узком смысле – динамические), подразумевающие возможность получения как положительного, так и отрицательного результата (финансовые риски).

К наиболее существенным видам рисков относят риск, связанный с нестабильностью нормативно-правового обеспечения экономической (в частности, инвестиционной и инновационной) деятельности, внешнеэкономический, социально-политический, производственно-технологический риски, неполноту и неточность экономической, технической и технологической информации по проекту, колебания рыночной конъюнктуры и отдельных параметров, учитываемых в рыночной деятельности, а также неопределенность в вопросах качественной оценки участников проекта и неопределенность природных условий.

Выделяют качественные и количественные методы оценки риска. При этом качественные методы в своей основе опираются на данные экспертных оценок, количественные, разделяемые на статистические и аналитические, также могут проводиться рядом экспертов. При использовании статистического метода рассчитывается вероятность потерь, определяемая объективно либо субъективно. Объективный подход предполагает применение вероятностной модели математической статистики.

Избежать полностью риска в инновационной деятельности невозможно, так как инновации и риск – две взаимосвязанные категории.

Одним из способов снижения инновационного риска является *диверсификация* инновационной деятельности, состоящая в распределении усилий разработчиков (исследователей) и капиталовложений для осуществления разнообразных инновационных проектов, непосредственно не связанных друг с другом. Если в результате наступления непредвиденных событий один из проектов будет убыточен, то другие проекты могут оказаться успешными и будут приносить прибыль.

Передача (трансфер) риска путем заключения контрактов – следующий метод снижения риска инновационной деятельности. Если проведение каких-либо работ по инновационному проекту слишком рискованно и величина возможного риска неприемлема для инновационной организации, она может передать эти риски другой организации. Передача риска инновационной деятельности, как правило, производится путем заключения следующих типов контрактов:

- строительные контракты (все риски, связанные со строительством, берет на себя строительная организация);
- аренда машин и оборудования (лизинг);
- контракты на хранение и перевозку грузов;
- контракты продажи, обслуживания, снабжения;
- договор факторинга (финансирование под уступку денежного требования – передача организацией кредитного риска позволяет получить 100%-ную гарантию на получение всех платежей, уменьшая таким образом кредитный риск организации);
- биржевые сделки, снижающие риск снабжения инновационного проекта в условиях инфляционных ожиданий и отсутствия надежных оперативных каналов закупок.

Важнейшим методом снижения рисков инновационной деятельности является их *страхование*.

Данный способ минимизации риска имеет ряд ограничений:

- 1) высокий размер страхового взноса, устанавливаемый организацией при заключении договора страхования;
- 2) некоторые риски не принимаются к страхованию (если вероятность наступления рискового события очень велика, страховые организации либо не берутся страховать данный вид риска, либо вводят непомерно высокие платежи).

Для достижения более эффективного результата, как правило, используется не один, а совокупность методов минимизации рисков на всех стадиях осуществления проекта.

Технико-экономический (или ресурсный) план представляет собой план ресурсного обеспечения инновационного проекта (материально-технического, интеллектуального, информационного, денежного) и определяет потребность в ресурсах и их состав, сроки поставок и потенциальных поставщиков и подрядчиков. В процессе ресурсного планирования подготавливаются и проводятся подрядные торги, заключаются договоры (контракты) на поставку. Договор поставки ресурсов – основополагающий документ, регламентирующий сроки, объемы и условия поставки ресурсов. Особым видом ресурсов выступают

денежные средства (финансы). Планирование затрат должно осуществляться таким образом, чтобы они могли удовлетворять потребности в финансовых ресурсах в течение всего времени осуществления проекта. Для этого составляется бюджет проекта.

Бюджет инновационного проекта – это план, выраженный в количественных показателях и отражающий затраты, необходимые для достижения поставленной цели. Общий бюджет показывает расход средств на проект год за годом в течение всего времени его осуществления. При этом бюджет первого года с поквартальной и ежемесячной разбивкой определяется достаточно точно, бюджеты последующих лет могут изменяться с изменением цен. На общем бюджете основываются планы отдельных исполнителей. Бюджет проекта имеет два значения: план действий и инструмент для руководства и контроля. Правильно составленный бюджет проекта направлен на решение двух основных задач:

– обеспечение такой динамики инвестиций, которая позволила бы осуществить проект в соответствии с временными финансовыми ограничениями;

– снижение объема затрат и риска проекта за счет соответствующей структуры инвестиций и максимальных налоговых льгот.

Исходной информацией для планирования затрат на проект служат: сметная документация по проекту и календарный план проекта. Планирование затрат при составлении бюджета проекта ведется от общего к частному, распределение денежных средств на проект по календарным периодам осуществляется в три шага.

1. Последовательно суммируется стоимость всех работ календарного плана и строится интегральная кривая освоения денежных средств на протяжении всего времени осуществления проекта. При этом рассматриваются альтернативные варианты планирования затрат: при ранних сроках начала работ, при поздних сроках начала работ и усредненный, наиболее вероятный вариант распределения затрат по времени.

2. Размер необходимых затрат в каждый временной период определяется путем суммирования стоимости работ, которые выполнены в этот период по календарному плану.

3. Осуществляется распределение затрат во времени по каждому виду работ. При этом рассматриваются возможные варианты использования средств: нормальный, ускоренный и замедленный.

Бизнес-план – это краткий программный документ, дающий представление о целях, методах осуществления и ожидаемых ре-

зультатах инновационного проекта. Его ценность заключается в том, что он позволяет определить жизнеспособность проекта в условиях конкуренции, содержит ориентир критериев развития проекта и служит важным инструментом поддержки со стороны внешних инвесторов.

Состав бизнес-плана и степень его детализации зависят от вида инновационного проекта, т. е. масштабов, значения для народного хозяйства, научной направленности, размеров предполагаемого рынка сбыта и наличия конкурентов.

Оформление проектной документации. Разработка инновационного проекта завершается подготовкой проектной документации. Единый состав проектной документации пока не установлен, и в каждом конкретном случае ее состав определяется в исходном задании. Инновационный проект любого уровня должен включать следующие разделы:

- содержание проблемы и обоснование необходимости ее решения в рамках проекта;
- основные цели и задачи, сроки и этапы реализации проекта;
- система мероприятий программы проекта;
- ресурсное обеспечение проекта за счет средств федерального бюджета и внебюджетных источников, бюджетов субъектов Российской Федерации и т. д.;
- оценка эффективности, социально-экономических и экологических последствий от реализации проекта;
- механизм реализации проекта;
- организация управления проектом и контроль за ходом реализации.

Каждый из перечисленных разделов представляется табличным или графическим материалом. К проекту должны быть приложены пояснительная записка и бизнес-план с социально-экономическими и технико-экономическими обоснованиями.

При оформлении проекта выполняются следующие процедуры:

- 1) подготовка проектной документации;
- 2) проектирование организационных мероприятий по реализации проекта;
- 3) утверждение проекта;
- 4) распределение заданий проекта по соответствующим планам;
- 5) составление координационных планов решения проблемы на ближайший период;
- 6) подготовка заказ-нарядов на проведение работ.

Завершение инновационного проекта. Проект считается завершенным после выполнения всех работ по проекту или в результате решения о прекращении работы по незавершенному проекту. Основные этапы завершения проекта – сдача проекта и закрытие контракта (договора).

Сдача проекта. Сдать инновационный проект – значит установить соответствие решений, принятых заказчиком при разработке концепции проекта, результатам, полученным при его реализации. Все требования к сдаче и приемке работ установлены в договоре. Если результатом реализации проекта выступает готовый продукт, то необходимо провести приемочные (или эксплуатационные) испытания. Если в результате приемочных испытаний будет получена продукция, отвечающая требованиям проекта, оформляется протокол комиссии по приемке готовых объектов. Результаты испытаний служат основанием для передачи ответственности от организаций-исполнителей заказчику в период сдачи-приемки готовых объектов.

Закрытие договора. Основными этапами закрытия договора являются:

- проверка финансовой отчетности;
- паспортизация;
- выявление невыполненных обязательств;
- завершение невыполненных обязательств.

Проверка финансовой отчетности относится к отчетности заказчика и организаций-исполнителей. Результаты такой проверки позволяют получить данные для подготовки окончательных финансовых отчетов по проекту. На этом этапе производятся окончательные расчеты с исполнителями. Паспортизация представляет собой один из важных элементов организации закрытия контракта. Для ее проведения необходимо представить соответствующую документацию, характеризующую, например, технические условия используемых сырья и материалов. Это могут быть сертификаты, так как ими аттестуется продукция. Вся документация передается заказчику для регистрации.

В целом порядок завершения проекта может предусматривать следующую процедуру:

- 1) организации-исполнители проекта за определенный срок до завершения работ (тем) представляют в головную организацию по разделу проекта итоговый отчет за весь отчетный период с обязательной информацией о реализации научно-технической продукции;
- 2) головная организация по разделу проекта готовит итоговый отчет по разделу и после рассмотрения его на научно-техническом совете

по разделу проекта (НТСР) направляет в головную организацию по проекту в целом; НТСР осуществляет приемку результатов каждой работы своего раздела и утверждает акты приемки-сдачи научно-технической продукции, приемки работы;

3) головная организация готовит итоговый отчет по результатам выполнения проекта и выносит его на рассмотрение головного научно-технического совета по проекту (ГНТС); ГНТС рассматривает результаты выполнения работ и направляет итоговые материалы генеральному заказчику проекта для принятия соответствующего решения;

4) генеральный заказчик имеет право назначать специальную комиссию с учетом представителей ГНТС по приемке как отдельных работ, так и проекта в целом.

7.8. Финансирование инновационных проектов

В качестве источников финансирования могут выступать *собственные и привлеченные средства, средства бюджетов различных уровней и внебюджетных фондов*. Государство тоже, в свою очередь, заинтересовано в осуществлении фирмами и организациями инновационных проектов, поскольку революционные инновации повышают уровень научно-технического прогресса (НТП) в стране.

Одной из важнейших проблем, стоящих перед руководством фирмы, является решение вопроса: какие средства следует выделять на исследования и разработки?

Методы коммерческого финансирования инновационных проектов. Возможность для компании привлечь финансирование является критической составляющей процесса коммерциализации результатов исследований и опытно-конструкторской деятельности.

Все методы финансирования делятся на прямые и косвенные.

Наиболее распространенными источниками *прямого финансирования* инновационных проектов являются:

- банковский кредит;
- средства от эмиссии ценных бумаг;
- сторонние инвестиции под создание отдельного предприятия для реализации проекта;
- средства от продажи или сдачи в аренду свободных активов;
- инновационный кредит;

- доходы от краткосрочных проектов (для финансирования долгосрочных);
- собственные средства фирмы (прибыль, амортизационный фонд);
- средства, полученные под заклад имущества;
- доходы от продажи патентов, лицензий;
- факторинг;
- форфейтинг.

В свою очередь, к *косвенным методам* относятся такие, суть которых заключается в обеспечении инновационных проектов необходимыми материально-техническими, трудовыми и информационными ресурсами. К подобным методам относятся:

- 1) покупка в рассрочку или получение в лизинг (аренду) необходимого для выполнения проекта оборудования;
- 2) приобретение (на используемую в проекте технологию) лицензии с оплатой последней в форме роялти (процента от продаж конечного продукта);
- 3) размещение ценных бумаг с оплатой в форме поставок или получение в лизинг необходимых ресурсов;
- 4) привлечение потребных трудовых ресурсов и вкладов под проект в виде знаний, навыков и ноу-хау.

Венчурный капитал как источник финансирования частного бизнеса зародился в 50-х гг. прошлого века в США, а в европейских странах появился в 70-х гг. Название «венчурный» происходит от английского слова *venture* – «рискованное предприятие или начинание», и это действительно так по своей сути. Для работы с венчурным (рисковым) капиталом и создаются венчурные фонды.

Венчурные фонды – это коммерческие финансовые организации, основная цель которых – аккумуляция на своих счетах финансовых средств и инвестирование их в наиболее интересные инвестиционные проекты с целью получения прибыли.

Обычно в качестве учредителей и инвесторов венчурных фондов выступают банки, крупные корпорации, пенсионные фонды, страховые компании и частные лица. Как объекты для инвестирования венчурным фондам в первую очередь интересны стабильно работающие предприятия, располагающие определенным инновационным потенциалом.

Венчурные фонды, как правило, создаются на определенный срок. Обычно от 5–7 до 10–12 лет. Сумма саккумулированных денежных средств составляет не менее 20–30 млн долл. США. Главная цель, которую преследует фонд, – это инвестирование денежных

средств в рискованный, но высокодоходный инвестиционный проект, который позволит предприятию «вырасти», увеличить свои активы за 3–5 лет в несколько и более раз.

Следует отметить тот факт, что после принятия «положительного решения» по рассматриваемому проекту эксперты фонда изначально занижают рыночную стоимость предприятия, но хозяевам бизнеса ничего не остается, как соглашаться с их доводами, а главное – с таким «подходом» потенциального инвестора.

По прошествии 5–7 лет от момента инвестирования, когда активы акционерного общества, в которое инвестировались средства, заметно выросли, венчурный фонд продает свои акции (или долю) общества совладельцам или третьим лицам, зарабатывая на этой операции в процентном соотношении суммы, в несколько раз превышающие доходность по обычным финансовым операциям.

При осуществлении технологических инноваций, требующих приобретения дорогостоящего оборудования, транспортных средств, энергетических установок, компьютерной и телекоммуникационной техники, часто прибегают к лизингу для привлечения дополнительных средств.

Лизинг – вид инвестиционной деятельности по приобретению имущества и передаче его на основании договора лизинга физическим или юридическим лицам за определенную плату, на определенный срок и на определенных условиях, обусловленных договором, с правом выкупа имущества лизингополучателем.

По экономическому содержанию лизинг представляет собой прямые инвестиции, при которых лизингополучатель (арендополучатель) обязан возместить лизингодателю (инвестору) инвестиционные издержки (связанные с приобретением и использованием предмета лизинга) и выплатить вознаграждение (денежную сумму, предусмотренную договором лизинга сверх возмещения инвестиционных затрат).

Основными формами лизинга являются:

– внутренний лизинг (обе стороны договора лизинга являются резидентами Республики Беларусь);

– международный лизинг (одна из сторон – нерезидент).

Все расходы по приобретению необходимых основных фондов на первом этапе внедрения новой технологии покрывает лизинговая компания (арендодатель).

К основным типам лизинга относятся:

1) долгосрочный лизинг (лизинг, осуществляемый на протяжении 3 и более лет);

2) среднесрочный лизинг (лизинг, осуществляемый в течение от 1,5 до 3 лет);

3) краткосрочный лизинг (лизинг, осуществляемый на протяжении менее 1,5 лет).

7.9. Анализ эффективности инновационного проекта

Для анализа эффективности инновационного проекта важно выделять три стадии в периоде его осуществления:

– предынвестиционная (когда проводятся предпроектные исследования, оценивается осуществимость проекта, подготавливается его технико-экономическое обоснование);

– инвестиционная;

– эксплуатационная (осуществление инновационной деятельности в соответствии с проектом).

Системный подход к управлению инновационными проектами предполагает рассмотрение и анализ на предынвестиционной стадии альтернативных вариантов инвестиционных решений. Анализ альтернатив чрезвычайно важен ввиду высокой цены ошибок в инвестиционных решениях, которые обнаруживаются уже на эксплуатационной стадии инновационных проектов. Избежать таких ошибок – это обеспечить высокую эффективность проекта.

При разработке и осуществлении инновационного проекта принципиально важно проводить детальный *коммерческий анализ* его эффективности.

Основными направлениями коммерческого анализа инновационного проекта являются оценка рыночной перспективы инновационных продуктов, услуг, технологий, разрабатываемых в рамках проекта, и определение мероприятий по снабжению проекта необходимыми ресурсами.

Системный подход к управлению инновационными проектами предполагает органическое дополнение их коммерческого анализа другими видами анализа эффективности. Безусловно, что решающее значение для обеспечения высокой эффективности инновационного проекта имеет его *научно-технический анализ*, в ходе которого исследуются уровень и степень научной новизны проекта, соответствие предлагаемых им научно-технических решений современным научно-

техническим требованиям, новым технологическим укладам, перспективность и техническая обоснованность проекта и т. п.

С позиций системного подхода к управлению инновационными проектами центральную роль в исследовании их эффективности играет *социальный анализ*. Цели и задачи социального анализа эффективности инновационного проекта связаны с исследованием вопросов и выработкой мер по обеспечению соответствия результатов проекта интересам различных социальных групп. Такое соответствие необходимо для достижения достаточно высокой эффективности проекта, поскольку оно обеспечивает поддержку проекта населением.

Если при разработке проекта социальному анализу его эффективности уделяется недостаточное внимание, то может оказаться, что проект будет сориентирован на социальные ценности самих разработчиков проекта, а не на достаточно широкие социальные слои. Такое изначальное сужение группы потенциальных потребителей результатов проекта обычно приводит к его низкой эффективности.

Системный анализ эффективности инновационных проектов предполагает ее анализ в различных ракурсах, причем во многих случаях принципиально важным оказывается *экологический анализ*. Во многих странах законодательно закрепляется необходимость проводить оценку воздействия на окружающую среду при разработке инвестиционных проектов. В России контроль за воздействием проектов на окружающую среду осуществляется органами государственной экологической экспертизы. В случае отмены проекта по причине негативного воздействия на окружающую среду его разработчики несут значительные материальные и моральные потери, поэтому целесообразны затраты на проведение экологической экспертизы проекта в самом начале его разработки.

Финансово-экономический анализ эффективности проекта обычно проводится на заключительном этапе комплексной экспертизы его разработки, но фактически он является центральным элементом всего системного анализа эффективности инновационного проекта.

На предынвестиционном этапе проекта при анализе его финансовой эффективности и принятии инвестиционного решения важно оценить и соизмерить прогнозные величины входных и выходных денежных потоков проекта.

Другими словами, на этом этапе целесообразно рассматривать проект как «черный ящик», т. е. не вдаваясь во внутреннюю структуру проекта и механизм его реализации, оценивать и соизмерять входные денежные потоки (т. е. стоимость необходимых ресурсов

или расходы, затраты проекта) с выходными денежными потоками проекта (т. е. стоимостью произведенной продукции или выгодами, доходами проекта).

Как уже отмечалось, до эксплуатационной стадии проекта, т. е. момента выпуска продукции, проходит определенное время (предынвестиционная и инвестиционная стадии). Это означает, что время является одним из факторов (ресурсов) проекта.

Учет **фактора времени** – один из важнейших принципов оценки эффективности проекта. Этот учет базируется на понятиях теории ценности денег во времени, согласно которой одна и та же денежная сумма имеет разную ценность во времени по отношению к текущему моменту в силу, например, инфляции, возможности альтернативного использования денежных средств (например, деньги можно не вкладывать в инновационный проект, а положить в банк, и их ценность будет изменяться с течением времени), риска и неопределенности, связанной с инвестированием в данный объект, и других причин.

Существующие методы оценки финансово-экономической эффективности инновационных проектов можно разделить на следующие основные группы:

- 1) простые (или статические) методы;
- 2) методы дисконтирования (или динамические).

К **простым методам (критериям) оценки экономической эффективности** относятся: срок окупаемости, суммарная прибыль и рентабельность инвестиций.

Срок окупаемости – это продолжительность периода времени, за который поступления от деятельности по проекту покроют затраты на реализацию проекта.

Основной недостаток показателя срока окупаемости заключается в том, что он не учитывает весь период реализации инновационного проекта, а следовательно, на него не влияет вся отдача от вложений, которая лежит за пределами этого срока. Поэтому часто этот показатель служит не критерием выбора проекта, а используется в качестве ограничения (срок окупаемости должен быть не больше определенно-го периода).

Суммарная прибыль (без учета временной ценности денег) – это разность совокупных стоимостных результатов и затрат, вызванных реализацией проекта.

Рентабельность инвестиций – это показатель, называемый также простой нормой прибыли, – определяется как отношение годовой прибыли ко вложенным в проект инвестициям (обычно для расчета

этого показателя выбирается год выхода проекта на полную производственную мощность).

Дисконтированные критерии экономической эффективности учитывают разную ценность денег во времени.

Однако при разработке конкретных инвестиционных проектов проблема расчета ставки дисконта не рассматривается. Обычно она берется как экзогенная величина (т. е. данной извне) и, как правило, полагается равной кредитному проценту (альтернативной стоимости капитала). Многие фирмы определяют ставку дисконта, исходя из усредненных процентных ставок по долгосрочным банковским кредитам.

ЧДД зависит от четырех видов параметров:

- прогнозируемых величин денежных потоков конкретного проекта;
- ставки дисконта (кредитного процента). Как правило, при принятии инвестиционного решения отдается предпочтение проектам, для которых значение ЧДД положительное. При сравнении альтернативных проектов экономически более выгодным считается проект с наибольшей величиной ЧДД. Отрицательное значение этого показателя свидетельствует о неэффективности вложения денежных средств (норма доходности меньше необходимой);

- индекса доходности (ИД), т. е. индекса прибыльности, который показывает относительную доходность проекта. Несмотря на различные подходы к его вычислению, в большинстве случаев он находится как отношение чистого дисконтированного дохода (ЧДД) к стоимости первоначальных вложений. Критерием принятия инвестиционного решения является сравнение ИД с нулем (принимаются проекты, для которых $ИД > 0$);

- внутренней нормы доходности (внутренней рентабельности).

В рассмотренных выше дисконтированных критериях выбор значения ставки дисконта (экзогенная переменная) оказывает существенное влияние на итоговый результат оценки экономической эффективности инновационного проекта.

При принятии инвестиционного решения этот критерий позволяет инвестору оценить целесообразность вложения средств в данный проект. Если банковская ставка больше IRR, то положив деньги в банк, инвестор, по-видимому, может получить большую прибыль.

Сравнение проектов по их финансово-экономической эффективности. Одной из самых сложных задач при принятии инвестиционного решения является сравнение альтернативных (взаимоисключающих) проектов. При ранжировании проектов по различным критериям могут возникнуть противоречия (например, по одному

критерию предпочтительным может оказаться один проект, а по другому – второй).

Заметим, что эти противоречия могут возникнуть при сравнении двух или более альтернативных проектов. При рассмотрении же единственного проекта с традиционной схемой входных и выходных денежных потоков вышеназванные дисконтированные критерии обычно приводят к сходным непротиворечивым выводам.

При выборе из нескольких альтернативных проектов единственным непротиворечивым показателем является внутренняя норма доходности. Она позволяет осуществить надежное ранжирование рассматриваемых проектов с целью максимизации выгод от инвестиций.

Таким образом, анализ эффективности инновационной деятельности является актуальной задачей менеджмента инноваций, которая может быть решена на основе применения системного подхода к управлению инновационными проектами.

7.10. Инновационные предприятия

Организация инновационного процесса включает организацию научно-производственного цикла, организацию труда персонала и организацию управления. В общем виде научные и научно-технические организации (независимо от отраслевых и региональных особенностей, секторов науки) можно классифицировать следующим образом:

- 1) научно-исследовательские институты (НИИ);
- 2) конструкторское бюро (КБ);
- 3) проектно-технологические институты (ПТИ);
- 4) проектно-конструкторские институты (ПКИ);
- 5) государственные проектные институты (ГПИ).

При этом под *научной (научно-технической) организацией* следует понимать специализированное и обособившееся хозяйственно самостоятельное учреждение, главной целью которого является проведение научных исследований (фундаментальных, поисковых и прикладных) или научно-технических разработок (конструкторских, технологических, проектных, организационных). К научным организациям (учреждениям) относятся организации, которые систематически ведут научные исследования в определенной области знаний и отрасли наук по плану научных работ, составленному с учетом потребностей рынка в инновациях (новшествах) и государственных интересов, и имеют источники финансирования на проведение исследований.

В рамках интегрированной системы менеджмента подсистема планирования инноваций выполняет следующие семь частных функций:

- целевая ориентация всех участников;
- перспективная ориентация и раннее распознавание проблем развития;
- координация деятельности всех участников инноваций;
- подготовка управленческих решений;
- создание объективной базы для эффективного контроля;
- информационное обеспечение участников инновационного процесса;
- мотивация участников.

В процессе планирования инноваций осуществляются: обоснованный выбор основных направлений инновационной деятельности для организаций в целом и для каждой структурной единицы; формирование программ исследований, разработок и производства инновационной продукции; распределение программ отдельных заданий по отдельным отрезкам времени и закрепление за исполнителями; установление календарных сроков проведения работ по программам; расчет потребности в ресурсах и распределение их по исполнителям на основе бюджетных расчетов.

Создание малого предприятия, занимающегося инновационной деятельностью, проходит, как правило, несколько этапов. Среди них нужно выделить следующие:

- 1) возникновение идеи;
- 2) подбор учредителей;
- 3) создание предприятия, проводящего НИОКР и осуществляющего производство научно-технической продукции, товаров (работ, услуг), изучение и определение возможностей использования новой технологии, средств и предметов труда;
- 4) изучение рынка, для удовлетворения потребностей которого должно работать предприятие;
- 5) подбор поставщиков необходимых факторов производства;
- 6) определение финансовых источников, требующихся для формирования уставного капитала (уставного фонда), который нужен для первоначального этапа функционирования предприятия;
- 7) разработка учредительных документов и бизнес-плана;
- 8) осуществление государственной регистрации предприятия.

Учредителями предприятия в зависимости от форм собственности могут быть:

- государственные органы или органы местного самоуправления – при создании (учреждении) государственного или муниципального предприятия;
- дееспособные граждане (физические лица), индивидуальные предприниматели – при создании хозяйственных товариществ и обществ;
- индивидуальные предприниматели и (или) коммерческие организации – при создании хозяйственных товариществ и обществ;
- юридические лица (коммерческие организации) – при формировании сложных объединений и организаций (концернов, холдинг-компаний, консорциумов и др.);
- хозяйственные общества, государственные и муниципальные предприятия – при создании дочерних обществ и предприятий;
- иностранные граждане и (или) юридические лица и российские граждане и (или) юридические лица – при создании совместных предприятий (предприятий с иностранными инвестициями);
- добровольные объединения граждан на основе членства для совместной производственной деятельности или иного участия и объединения имущественных паевых взносов – при учреждении производственных кооперативов;
- фонды – при создании хозяйственных обществ для осуществления предпринимательской деятельности.

7.11. Инновационный менеджмент

Инновационный менеджмент как наука о стратегическом планировании нововведений являлся составной частью стратегического менеджмента и существует самостоятельно начиная с середины XX в. Основы инновационного менеджмента закладывались одновременно в разных странах, но наиболее широкое распространение его принципы получили в последней четверти XX в. в странах с развивающейся экономикой. На ранней стадии развития практика определяла сущность инновационного менеджмента. Например, в 30-х гг. прошлого века в США возникла проблема полной оценки эффективности инвестиций при реализации инновационных проектов в области водохозяйственного строительства. В тот период использование инновационного менеджмента было связано с распространением законов квазирынка на те сферы, где не могли быть применены инструменты конкурентного

рынка. С начала 50-х гг. XX в. инновационный менеджмент служил целям оценки как социально значимых, так и чисто коммерческих проектов. Распространение использования принципов и инструментария инновационного менеджмента было вызвано ростом общественного сектора и расширением экономической роли государства. Возможность привлечения финансовых ресурсов для новых инвестиций, осуществляемых крупными финансовыми институтами в поддержку правительственных программ, стала зависеть от того, насколько с точки зрения общества жизнеспособным окажется проект, оценка эффективности которого проводилась с использованием подходов инновационного менеджмента. Инновационный менеджмент стал средством контроля над инвестициями в общественный сектор, предприятия которого должны были продемонстрировать способность обеспечить хотя бы минимальную отдачу для экономики [11].

Этапы эволюции стратегического управления промышленными инновациями представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Эволюция концепций управления инновациями и НИОКР

Этапы управления инновациями	Механизмы управления НИОКР
1. Этап текущего финансового планирования (1900–1950-е гг.)	Управление новаторами
2. Этап долгосрочного планирования развития (1950–1970-е гг.)	Управление в рамках корпоративного менеджмента
3. Этап стратегического планирования развития (1970–1980-е гг.)	Управление портфелем инноваций в корпорациях
4. Этап стратегического управления развитием (с 1980-х гг. по настоящее время)	Управление портфелем инноваций в корпорациях на основе комплексного согласования интересов

1. *Этап текущего финансового планирования развития* (1900–1950-е гг.), когда управление инновациями осуществлялось на основе контроля за исполнением смет расходов (*управление издержками*). Реакция предприятий на инновации определялась после их реализации. Соответствующие механизмы управления научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами (НИОКР) принято относить к *первому поколению*. На этом этапе непосредственно *сами ученые* осуществляли управление научно-исследовательской работой, отбор и выполнение исследовательских проектов.

2. *Этап долгосрочного планирования развития* (1950–1970-е гг.), когда прогнозы возможностей и соответствующее *развитие воспро-*

изводственного процесса оценивались исходя из существующих тенденций. Горизонт прогнозирования принимался равным 10–15 годам, причем на этот период предполагалась стабильная система целей и располагаемых ресурсов. Механизмы управления НИОКР в этот период относятся ко *второму поколению* и предусматривали *корпоративный менеджмент*, т. е. непосредственно в структуре корпораций создавались отделы НИОКР.

3. *Этап стратегического планирования развития* (1970–1980-е гг.), когда происходила *постепенная переоценка характеристик долгосрочных тенденций* развития для прогнозирования будущих возможностей. Горизонт прогнозирования также принимался равным 10–15 годам, однако допускалась возможность коррекции системы целей и объема располагаемых ресурсов. Возрастающая динамика инновационных изменений привела к возникновению адекватных методов разработки инновационных проектов, например, программно-целевых методов с итеративной последовательностью фаз процесса стратегического управления (по цепочке «*прогнозы – цели – концепции – программы*») с последующей их увязкой с системой планирования и управления. На этом этапе механизмы управления НИОКР относятся к *третьему поколению* и включают в себя *формирование сбалансированного портфеля* новшеств и распределение прибыли и риска между выпускаемой продукцией и перспективными инновациями.

4. *Этап стратегического управления развитием* (с 1980-х гг. по настоящее время), при котором прогноз возможностей и развитие воспроизводственного процесса предприятия должны предусматривать *закономерное возникновение дискретности развития* (прерывности условий инновационных процессов, инновационных скачков). Концепция развития становится комплексной, учитывающей ограничения по ресурсному обеспечению и фазе сбыта, а также ограничения, накладываемые взаимосвязью внутренних и внешних факторов инновационного развития. Обязательным условием применяемых методов социально-экономического планирования становится *наличие адаптивных рычагов регулирования программ*, т. е. при длительном временном горизонте (до 10 лет) стратегического планирования выбираются скользящие интервалы тактического планирования. На этом этапе механизмы управления НИОКР относятся к *четвертому поколению* и предусматривают *организацию совместного участия в разработке новой продукции как ученых и производителей, так и покупателей, поставщиков*, а также других заинтересованных лиц уже

на стадии возникновения идей новшества. Такой подход позволяет учесть скрытые потребности всех участников рынка и создавать новшества, на которые гарантированно имеется спрос.

В литературных источниках и в практической деятельности используются различные систематизации функций инновационного менеджмента. Выделяются в основном две группы функций: предметные (специальные) и обеспечивающие.

Специальные функции отражают содержание основных стадий процесса управления инновационной деятельностью:

– *научные функции* обеспечивают управление разработкой научно-исследовательских работ по созданию новшеств для различных видов деятельности;

– *технические функции* предусматривают решения комплекса задач, связанных с техническим и технологическим обеспечением инновационной деятельности;

– *экономические функции* управления инновациями сводятся к проведению маркетинговых исследований, определению необходимых инвестиций, доходов и прибыли, оплаты труда и других работ, связанных с реализацией новшеств;

– *организационные функции* направлены на решение вопросов организации труда и управления по производству и реализации новшеств;

– *социальные функции* обеспечивают повышение квалификации кадров, создание хорошего социально-психологического климата в коллективе, улучшение условий труда и быта, снятие психологических барьеров к новшествам.

Обеспечивающие функции инновационного менеджмента объединяют управленческие процессы и инструменты, способствующие эффективному осуществлению предметных функций управления.

Основной обеспечивающей функцией инновационного менеджмента является *функция планирования*, включающая управление системой мероприятий по анализу факторов внешней и внутренней среды, по прогнозированию деятельности организации и по планированию реализации стратегии фирмы и достижению поставленных целей.

Функция процесса организации обозначает формирование структур менеджмента, распределение материальных, информационных и инновационных потоков между исполнителями, распределение ответственности, риска и полномочий.

Функцию мотивации можно представить как намеренное воздействие на личность с целью решения задач и достижения целей

организации. Для эффективного руководства в процессе управления менеджер должен использовать знания потребностей, побуждений и мотивов работника для формирования нужного типа поведения.

Координация как функция инновационного менеджмента обуславливает организацию взаимодействия и согласованности всех звеньев большой иерархической системы предприятия.

Контроль в инновационном менеджменте связан с учетом количественной и качественной оценки результатов работы.

Основной формой конкуренции в инновационной сфере является научно-техническое превосходство новой продукции, которое определяется превосходством научных достижений инженерно-технических работников (интеллектуальной собственности). Конкурентоспособность продукции можно оценить уровнем новейших изобретений и результатом научного поиска.

7.12. Базовые элементы инновационной инфраструктуры

В качестве ключевых элементов инновационной инфраструктуры выступают технопарковые структуры и информационно-технологические системы. Можно выделить основные три группы технопарковых структур: инкубаторы, технопарки и технополисы.

Инкубаторы – многофункциональные комплексы, предоставляющие разнообразные услуги новым инновационным фирмам, находящимся на стадии возникновения и становления. Другими словами, инкубаторы предназначены для «высживания» новых инновационных предприятий, оказания им помощи на самых ранних стадиях их развития путем предоставления информационных, консультационных услуг, аренды помещения и оборудования, других услуг. Инкубатор занимает, как правило, одно или несколько зданий. Инкубационный период фирмы-клиента длится обычно от 2 до 5 лет, после чего инновационная фирма покидает инкубатор и начинает самостоятельную деятельность.

Конкретный перечень услуг, которые приобретает новая инновационная фирма у инкубатора, во многом определяется технологическим профилем фирмы, но в этот набор, как правило, входит аренда помещения в инкубаторе. Таким образом, важно, что инкубаторы предоставляют начинающим предпринимателям в области инновационного бизнеса, которые, как правило, испытывают финансовые

трудности, «крышу над головой» на льготных условиях, возможность контактировать с себе подобными и пользоваться услугами, позволяющими зарождающейся инновационной компании выжить в сложной, быстро меняющейся инновационной среде с высоким уровнем рисков.

Инкубатор как форма и элемент инновационной инфраструктуры находится в постоянном развитии, логику которого во многом помогает понять история возникновения и распространения инкубаторов.

Прародителем инкубаторов в сфере инновационной деятельности можно считать так называемые «творческие коммуны» архитекторов, дизайнеров, художников или мастеров народных промыслов. Эти коммуны, как правило, перестраивали занимаемые ими здания так, чтобы создать наиболее благоприятную для творчества и общения среду.

Все инкубаторы, созданные и функционирующие с целью поддержки новых инновационных компаний, содействия инновационному предпринимательству, можно разделить на два основных вида. К первому относятся те, которые действуют как самостоятельные организации. Ко второму – инкубаторы, входящие в состав технопарка.

В настоящее время в мире насчитывается более двух тысяч самостоятельных (т. е. не входящих в структуру технопарков) инкубаторов. Развитие идеи инкубатора как элемента инновационной инфраструктуры находит отражение в такой более сложной и комплексной форме, как технопарк.

Технопарки. Под технопарком подразумевается научно-производственный территориальный комплекс, главная задача которого состоит в формировании максимально благоприятной среды для развития малых и средних наукоемких инновационных фирм-клиентов.

Спектр фирм-клиентов технопарков в отличие от инкубаторов не ограничивается только вновь создаваемыми и находящимися на самой ранней стадии развития инновационными компаниями. Услугами технопарков пользуются малые и средние инновационные предприятия, находящиеся на различных стадиях коммерческого освоения научных знаний, ноу-хау и наукоемких технологий.

Если технопарки предназначены для поддержки только инновационной деятельности, то инкубаторы могут создаваться и для так называемых нетехнологических, т. е. традиционных, отраслей и видов деятельности (например, искусства, сельскохозяйственной деятельности).

Кроме того, комплексы инкубаторов располагаются, как правило, в одном или нескольких зданиях. Технопарки же обычно имеют и участки земли, которые они могут сдавать в аренду клиентским фирмам под строительство теми офисов или других производственных помещений.

Следовательно, технопарки по сравнению с инкубаторами подразумевают создание более разнообразной инновационной среды, позволяющей предоставлять более широкий спектр услуг по поддержке инновационного предпринимательства путем развития материально-технической, социально-культурной, информационной и финансовой базы становления и развития деятельности малых и средних инновационных предприятий.

Технополисы. Развитие идеи технопарков привело к появлению во многих странах наиболее интегрированного и комплексного элемента инновационной инфраструктуры – технополисов.

Технополис, который нередко называют также научным городом, или наукоградом, «городом мозгов», представляет собой крупный современный научно-промышленный комплекс, включающий университет или другие вузы, научно-исследовательские институты, а также жилые районы, оснащенные культурной и рекреационной инфраструктурой.

Цель строительства технополисов – сосредоточение научных исследований в передовых и пионерных отраслях, создание благоприятной среды для развития новых наукоемких производств в этих отраслях. Как правило, одним из критериев, которым должен удовлетворять технополис, является его расположение в живописных районах, гармония с природными условиями и местными традициями.

Информационно-технологические системы. Эти системы основаны на базах данных, содержащих самую разнообразную информацию о субъектах и результатах инновационной деятельности, включая информацию об инновационных продуктах, услугах, технологиях, научных и инновационных организациях, объектах интеллектуальной собственности и т. п.

Примерами являются информационно-технологические системы ARIST, CORDIS, EPIPOS, поддерживаемые странами ЕС.

CORDIS – это система баз данных (в настоящее время восемь баз данных), в которой аккумулируется информация об исследовательской деятельности в странах ЕС.

Европейская система патентной информации и документации EPIPOS (European Patent Information and Documentation Systems)

представляет собой информационно-технологическую систему, которую разрабатывает и поддерживает Европейское патентное бюро (European Patent Office). Эта система содержит информацию о патентах, полученную из более чем 50 стран. EPIPOS предоставляет информацию из таких баз данных, как PATOLIS (уникальный источник данных о японских патентах).

Среди российских организаций, развивающих информационно-технологические системы с целью предоставления информации об инновационных технологиях, необходимо отметить Всероссийский институт научно-технической информации (ВИНТИ), Всероссийский научно-технический информационный центр (ВНТИЦ), Научно-технический институт межотраслевой информации (НТИМИ).

7.13. Национальная инновационная система Республики Беларусь

Национальная инновационная система Республики Беларусь представляет собой совокупность законодательных, структурных и функциональных компонентов, обеспечивающих развитие инновационной деятельности в Республике Беларусь.

Управление Национальной инновационной системой Республики Беларусь осуществляется Президентом Республики Беларусь, Советом Министров Республики Беларусь, республиканскими органами государственного управления, НАН Беларуси, иными государственными организациями, органами местного управления и самоуправления в пределах и в соответствии с их полномочиями.

Президент Республики Беларусь:

1) утверждает приоритетные направления научно-технической деятельности в Республике Беларусь;

2) утверждает приоритетные направления инновационной политики;

3) утверждает важнейшие инновационные проекты;

4) утверждает (согласовывает) инновационные программы;

5) принимает решения о создании научно-практических (производственных) центров;

6) регулирует иные важнейшие вопросы, связанные с управлением Национальной инновационной системой Республики Беларусь.

Совет Министров Республики Беларусь:

– утверждает приоритетные направления фундаментальных и прикладных научных исследований в Республике Беларусь;

– утверждает приоритетные направления создания и развития новых и высоких технологий;

– утверждает перечни государственных программ: комплексных целевых научно-технических, фундаментальных и прикладных научных исследований, научно-технических (региональных, отраслевых);

– обеспечивает проведение (реализацию) государственной инновационной политики [12].

Республиканские органы государственного управления, НАН Беларуси, иные государственные организации:

1) разрабатывают предложения о приоритетах государственной инновационной политики;

2) участвуют в формировании и реализации программ различных уровней и инновационных проектов;

3) выступают государственными заказчиками государственных, научно-технических программ и программ фундаментальных и прикладных научных исследований;

4) создают научные, конструкторско-технологические и проектные организации;

5) осуществляют контроль за выполнением программ и инновационных проектов, финансируемых за счет средств республиканского бюджета, и за целевым использованием этих средств;

6) участвуют в создании и развитии инновационной инфраструктуры.

Органы местного управления и самоуправления:

– осуществляют формирование и реализацию научно-технических программ и инновационных проектов;

– выступают государственными заказчиками региональных научно-технических и иных программ инновационного развития областей;

– осуществляют контроль за выполнением региональных научно-технических программ и инновационных проектов;

– создают и содействуют созданию и развитию субъектов инновационной инфраструктуры.

Законодательство Республики Беларусь в сфере создания и функционирования субъектов инновационной инфраструктуры представлено следующими нормативными правовыми актами:

1) Законом Республики Беларусь от 19.01.1993 № 2105-ХІІ «Об основах государственной научно-технической политики» в части установления принципа поддержки развития инновационной инфраструктуры как принципа формирования и реализации государственной научно-технической политики Республики Беларусь;

2) Указом Президента Республики Беларусь от 03.01.2007 № 1 «Об утверждении Положения о порядке создания субъектов инновационной инфраструктуры и внесении изменения и дополнений в Указ Президента Республики Беларусь от 30.09.2002 № 495» в части определения порядка создания и деятельности субъектов инновационной инфраструктуры;

3) Законом Республики Беларусь от 16.10.1996 № 685-ХІІІ «О государственной поддержке малого предпринимательства в Республике Беларусь» в части определения необходимости формирования инфраструктуры поддержки и развития малого предпринимательства, в том числе развития инновационных центров, как одного из направлений государственной поддержки последнего;

4) Указом Президента Республики Беларусь от 30.09.2002 № 495 «О совершенствовании порядка определения размеров арендной платы и передачи в безвозмездное пользование общественных, административных и переоборудованных производственных зданий, сооружений и помещений» в части установления понижающего коэффициента к базовой ставке арендной платы в отношении площадей, арендуемых отдельными субъектами инновационной инфраструктуры;

5) постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10.04.2007 № 459 «О мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 03.01.2007 № 1» в части утверждения форм документов, необходимых для регистрации юридических лиц в качестве субъектов инновационной инфраструктуры, продления такой регистрации, их учета и др.;

6) приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 23.04.2007 № 93 «Об организации работ по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 03.01.2007 № 1» в части организации порядка работы Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь по регистрации субъектов инновационной инфраструктуры, лишению юридических лиц названного статуса, контролю их деятельности.

Инновация изначально нацелена на практический коммерческий результат. В практической направленности инновационной идеи и состоит ее притягательная сила для капиталистических компаний.

Государственная инновационная политика в промышленно развитых странах направлена на создание благоприятного экономического климата для осуществления инновационных процессов и является связующим звеном между сферой «чистой» (академической) науки и задачами производства.

В целом роль государства в области поддержки инноваций можно свести к следующим моментам:

– государство способствует развитию науки, в том числе прикладной, и подготовке научных и инженерных кадров (основной источник инновационных идей);

– в рамках большинства правительственных ведомств существуют разнообразные программы, направленные на повышение инновационной активности бизнеса;

– государственные заказы, преимущественно в форме контрактов, на проведение НИОКР обеспечивают начальный спрос на многие новшества, которые затем находят широкое применение в экономике страны;

– фискальные и прочие элементы государственного регулирования формируют стимулирующее воздействие внешней среды, которые обуславливают эффективность и необходимость инновационных решений отдельных фирм;

– государство выступает в роли посредника в деле организации эффективного взаимодействия академической и прикладной науки, стимулирует кооперацию в области НИОКР промышленных корпораций и университетов.

Меры воздействия государства в области инноваций можно подразделить на прямые и косвенные. Соотношение их определяется экономической ситуацией в стране и избранной в связи с этим концепцией государственного регулирования – с упором на рынок или на централизованное воздействие.

Как правило, в период экономического спада характерно преобладание «кейнсианского» подхода к государственной экономической политике, предполагающего чрезвычайно активное вмешательство государства в экономическую жизнь общества; в период подъема экономики берет верх философия консерватизма, отдающего предпочтение игре рыночных сил [12].

В настоящее время экономисты по степени активности вмешательства государства в экономику выделяют три группы стран:

1) в первой преобладает концепция необходимости активного вмешательства государства в управление экономикой (Япония и Франция);

2) вторая характеризуется преобладающим упором на рыночные отношения (США, Великобритания);

3) третья придерживается «промежуточного» варианта в экономической, в том числе и инновационной, политике. Государственное

регулирование сочетается с низкой степенью централизации государственного аппарата, используются косвенные методы воздействия при развитой системе согласования интересов правительства и бизнеса.

Субъектами инновационной деятельности могут быть любые субъекты предпринимательской деятельности. По выполняемым в процессе инновационной деятельности функциям субъекты могут выступать в роли заказчика, исполнителя инновационной программы, потребителей инноваций.

Объектом инновационной деятельности являются все виды новшеств, которые могут быть воплощены в товарах, работах, услугах с тем, чтобы эти продукты могли считаться новыми или усовершенствованными, т. е. приобрели статус инноваций. Объектами инновационной деятельности могут быть: объекты интеллектуальной собственности (изобретения, полезные модели, промышленные образцы и др.); средства индивидуализации лиц и товаров (фирменное наименование, товарный знак, знак обслуживания, наименование места происхождения товаров); результаты законченных научно-исследовательских, опытно-конструкторских, технологических работ и экспериментальных разработок и др.



ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

**Квантили u_q стандартного нормального распределения
при некоторых уровнях q**

q	0,950	0,975	0,995
u_q	1,645	1,960	2,576

Таблица П2

**Квантили $t_{q, n-1}$ распределения Стьюдента с $n - 1$ степенью свободы
при некоторых уровнях q**

$n - 1$	q		
	0,950	0,975	0,995
1	6,314	12,706	63,657
2	2,920	4,303	9,925
3	2,353	3,182	5,841
4	2,132	2,776	4,604
5	2,015	2,571	4,032
6	1,943	2,447	3,707
7	1,895	2,365	3,499
8	1,860	2,306	3,355
9	1,833	2,262	3,250
10	1,812	2,228	3,169
∞	1,645	1,960	2,576

Таблица П3

**Квантили $\chi^2_{q, n-1}$ распределения χ^2 с $n - 1$ степенью свободы
при некоторых уровнях q**

$n - 1$	q					
	0,05	0,95	0,025	0,975	0,005	0,995
1	$3,93 \cdot 10^{-3}$	3,84	$9,82 \cdot 10^{-4}$	5,02	$3,93 \cdot 10^{-5}$	7,88
2	0,103	5,99	0,0506	7,38	0,0100	10,6
3	0,352	7,81	0,216	9,35	0,0717	12,8
4	0,711	9,49	0,484	11,1	0,207	14,9

$n - 1$	q					
	0,05	0,95	0,025	0,975	0,005	0,995
5	1,15	11,1	0,831	12,8	0,412	16,7
6	1,64	12,6	1,24	14,4	0,676	18,5
7	2,17	14,1	1,69	16,0	0,989	20,3
8	2,73	15,5	2,18	17,5	1,34	22,0
9	3,33	16,9	2,70	19,0	1,73	23,6
10	3,94	18,3	3,25	20,5	2,16	25,2

Таблица П4

Максимальные значения критерия грубых ошибок β_{\max} при разных уровнях значимости α и в зависимости от объема выборки n

n	α			n	α		
	0,1	0,05	0,01		0,1	0,05	0,01
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Таблица П5

Критические значения критерия Фишера при уровне значимости 0,05 и различных числах степеней свободы f_1 и f_2

f_2	f_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,55	199,50	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88	240,54	241,88
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,39	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,97	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98

Таблица П6

Критические значения критерия Кохрена при уровне значимости 0,05
и различных числах степеней свободы f_1 и f_2

f_2	f_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8772	0,8534	0,8332	0,8159	0,8010	0,7880
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7457	0,7071	0,6771	0,6530	0,6333	0,6167	0,6025
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5365	0,5175	0,5017	0,4884
5	0,8412	0,6838	0,5981	0,5440	0,5063	0,4783	0,4564	0,4387	0,4241	0,4118
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4184	0,3980	0,3817	0,3682	0,3568
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3974	0,3729	0,3535	0,3384	0,3259	0,3154
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185	0,3043	0,2926	0,2829
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286	0,3067	0,2901	0,2768	0,2659	0,2568
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2666	0,2541	0,2439	0,2353
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299	0,2187	0,2098	0,2020
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1911	0,1815	0,1736	0,1671
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735	0,1602	0,1501	0,1422	0,1357	0,1303
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1286	0,1216	0,1160	0,1113
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1061	0,1002	0,0958	0,0921
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0827	0,0780	0,0745	0,0713
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0765	0,0682	0,0623	0,0583	0,0552	0,0520	0,0497
120	0,0998	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0312	0,0292	0,0279	0,0266



ЛИТЕРАТУРА

1. Кураев, А. А. Теория и практика научных исследований: текст лекций / А. А. Кураев. – Минск: БГУИР, 2005. – 103 с.
2. Ставров, В. П. Основы научной и инновационной деятельности: пособие / В. П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2010. – 310 с.
3. Основы научных исследований: учебник / В. И. Крутов [и др.]; под общ. ред. В. И. Крутова, В. В. Попова. – М.: Высш. шк., 1989. – 399 с.
4. Жарский, И. М. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие / И. М. Жарский, Б. А. Коледин, И. Ф. Кузьмицкий. – Минск: БГТУ, 2003. – 179 с.
5. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск: БГУ, 1982. – 302 с.
6. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 278 с.
7. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высш. шк., 1985. – 327 с.
8. Потапов, В. М. Химическая информация: где и как искать химику нужные сведения / В. М. Потапов, Э. К. Кочетова. – М.: Химия, 1988. – 223 с.
9. Кудашов, В. И. Управление интеллектуальной собственностью: учеб. пособие / В. И. Кудашов. – 2-е изд. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 359 с.
10. Практикум по электрохимии: учеб. пособие / Б. Б. Дамаскин [и др.]; под общ. ред. Б. Б. Дамаскина. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с.
11. Ильенкова, С. Д. Инновационный менеджмент: учебник / С. Д. Ильенкова, Л. М. Гохберг, С. Ю. Ягудин; под общ. ред. С. Д. Ильенкова. – М.: Банки и биржи: ЮНИТИ, 1997. – 328 с.
12. Мясникович, М. В. Государственное регулирование инновационной деятельности: учеб. пособие / М. В. Мясникович, Н. Б. Антонова, Л. Н. Нехорошева. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2005. – 235 с.



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ И ТВОРЧЕСТВА.....	5
1.1. Понятие о науке. Закономерности и тенденции развития науки.....	5
1.2. Элементы теории и структура научного познания.....	7
1.3. Научно-техническое творчество.....	12
1.4. Классификация научных исследований.....	15
1.5. Выбор направления исследований: актуальность, новизна и значимость исследований.....	18
1.6. Основные направления фундаментальных и прикладных исследований в области электрохимии	19
1.7. Научные учреждения. Государственное управление научной деятельностью	21
2. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК	25
2.1. Первичные и вторичные документы и издания	25
2.2. Государственная система научно-технической информации ...	28
2.3. Организация работы с научной литературой	32
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	38
3.1. Цели и методы теоретического исследования	38
3.2. Математические методы в исследованиях. Модели.....	40
3.3. Типы, задачи и классификация экспериментов	41
3.4. Методологические основы эксперимента	45
3.5. Метрологическое обеспечение эксперимента.....	46
3.6. Общая характеристика измерений и средств измерений.....	48
3.7. Организация рабочего места и погрешности результатов эксперимента	51

4. АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	53
4.1. Основные понятия математической статистики.....	53
4.2. Первичная обработка выборки.....	55
4.3. Доверительные интервалы для параметров нормального распределения.....	56
4.4. Определение минимального числа повторных опытов для достижения требуемой точности измерения величины.....	67
4.5. Исключение грубых ошибок.....	68
4.6. Оценка случайных ошибок косвенных измерений.....	68
4.7. Оценка однородности дисперсий.....	69
4.8. Проверка нормальности распределения.....	71
4.9. Пример статистической обработки экспериментальных результатов.....	72
5. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	74
5.1. Основные понятия теории планирования эксперимента.....	74
5.2. Требования к объекту исследования.....	77
5.3. Параметры оптимизации.....	77
5.4. Требования к параметру оптимизации.....	78
5.5. Обобщенный параметр оптимизации.....	78
5.6. Факторы.....	82
5.7. Выбор функции отклика.....	83
5.8. Принятие решений перед планированием эксперимента.....	88
5.9. Выбор интервалов варьирования факторов.....	90
5.10. Полный факторный эксперимент 2^k	93
5.11. Дробный факторный эксперимент.....	101
6. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ.....	104
6.1. Письменное представление результатов научной работы.....	104
6.2. Устное представление результатов научной работы.....	107
7. ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	108
7.1. Технологические уклады в экономике.....	108
7.2. Теории инновационного развития экономики.....	111
7.3. Определения инноваций.....	113
7.4. Классификация инноваций.....	115

7.5. Инновационный процесс	118
7.6. Инновационный проект как основа инновационного развития	120
7.7. Порядок разработки инновационного проекта	124
7.8. Финансирование инновационных проектов.....	133
7.9. Анализ эффективности инновационного проекта	136
7.10. Инновационные предприятия	140
7.11. Инновационный менеджмент	142
7.12. Базовые элементы инновационной инфраструктуры.....	146
7.13. Национальная инновационная система Республики Беларусь	149
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	154
ЛИТЕРАТУРА	157

Учебное издание

Матыс Владимир Генрихович
Жилинский Валерий Викторович

**ОСНОВЫ НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Тексты лекций

Редактор *А. С. Аристова*
Компьютерная верстка *Е. С. Ватеичкина*
Корректор *Е. С. Ватеичкина*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.