

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко, Е.А. Носатова

Основы научных исследований

Учебное пособие



Белгород
2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко, Е.А. Носатова

Основы научных исследований

Под редакцией В.Ю. Радоуцкого

Утверждено ученым советом университета в качестве
учебного пособия для студентов специальности
280103 – Защита в чрезвычайных ситуациях

Белгород
2008

УДК 355(07)

ББК 68.9я7

Р 15

Авторы: В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко, Е.А. Носатова

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. Ю.В. Васильченко (БИЭИ);

канд. техн. наук, доц. В.И. Беляева (БГТУ

им. В.Г. Шухова)

Радоуцкий, В.Ю.

Р 15 Основы научных исследований: учеб. пособие / В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко, Е.А. Носатова; под ред. В.Ю. Радоуцкого. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 133 с.

В учебном пособии рассмотрены общие сведения о науке и научных исследованиях, гносеологические основы научных исследований, организация теоретических и экспериментальных исследований, обработка их результатов и цели, задачи, виды и формы научно-исследовательской работы студентов

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей 280103 – «Защита в чрезвычайных ситуациях» и 280104 – «Пожарная безопасность», изучающих дисциплину «Основы научных исследований».

Учебное пособие публикуется в авторской редакции.

УДК 355(07)

ББК 68.9я7

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Современные темпы развития экономики страны выдвигают все новые требования к содержанию и организации подготовки специалистов в вузах, включая поддержку научной работы студентов.

Перед государством стоит задача необходимости усиления и дальнейшего развития НИР студентов, создание в вузах благоприятных условий для подготовки и становления будущих преподавателей, научных и практических специалистов с высшим профессиональным образованием и высшей квалификации.

Разработка этой проблемы особо важна в связи с заметным повышением возрастного уровня работающего в вузах профессорско-преподавательского состава и научного персонала, нарушением преемственности поколений. За последние годы высшая школа из-за недостатка финансовых средств потеряла значительную часть своего преподавательского и научного состава, в первую очередь, молодых и перспективных работников.

С другой стороны, развитие рыночной экономики России, несмотря на такие негативные явления, как рост безработицы и сложности с трудоустройством, вызывает у молодежи потребность в получении высшего профессионального образования, в первую очередь потому, что современному предприятию требуется персонал с высоким уровнем квалификации, что, несомненно, является важнейшим фактором его конкурентоспособности.

Поэтому одной из важнейших задач высшей школы является выявление и обучение, поощрение и поддержка научной подготовки способной и талантливой студенческой молодежи с целью сохранения интеллектуального потенциала страны.

С этой целью в учебные планы многих специальностей вузов включена дисциплина «Основы научных исследований», широко внедряются элементы научных исследований в учебный процесс.

В предлагаемом учебном пособии кратко изложена история развития науки, рассмотрены гносеологические основы научного знания, а также этапы научно-исследовательской работы, в том числе выбор направления научного исследования, поиск, накопление и обработка научной информации, методология теоретических и экспериментальных исследований, обработка результатов экспериментальных данных и оформление результатов научной работы. В пособии также изложены основные положения научно-исследовательской и учебно-исследовательской работы студентов.

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАУКЕ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Введение в учебный процесс нового предмета «Основы научных исследований» – важный этап в развитии высшей школы. Это дисциплина, в которой рассматриваются методология и методы научных исследований, а также способы их организации. В результате изучения теоретического курса и выполнения исследований студент должен научиться отбирать и анализировать необходимую информацию по теме научного исследования; формулировать цель и задачи; разрабатывать теоретические предпосылки; планировать и проводить эксперимент, обрабатывать результаты измерений и оценивать погрешности наблюдения; сопоставлять результаты эксперимента с теоретическими предпосылками и формулировать выводы научного исследования; составлять отчет, доклад или статью.

Наше время характеризуется чрезвычайно быстрым использованием достижений науки. Все более важное значение приобретает не организация научных исследований, а использование их результатов в производстве. Сегодня в реализации производственного процесса может оказаться впереди не та страна, где впервые будет сделано открытие, а та, которая сможет лучше организовать его быстрее использование на практике. Но, разумеется, высокий уровень технического прогресса в целом возможен только в той стране, которая будет делать больше научных открытий.

Вопросы развития науки, технического прогресса стали сейчас государственными в полном смысле этого слова, в нашей стране им уделяется серьезнейшее внимание. Сейчас научные достижения все быстрее и глубже проникают в практику, коренным образом преобразуя многие отрасли народного хозяйства. Именно поэтому наука все больше и больше становится непосредственной производительной силой, а производство – технологическим воплощением научных достижений.

Как известно, в вузах работает примерно половина всех научных сотрудников страны, имеющих ученые степени. Создание в высшей школе научной атмосферы позволяет готовить специалистов на уровне современных требований, выражающихся в умении самостоятельно ставить и решать различные принципиально важные вопросы. С ними невозможно справиться без овладения студентами основ научных исследований. Таким образом, научная подготовка студентов в ВУЗах

– одна из важнейших сторон обучения. Воспитание научной смены – долг каждого настоящего ученого. Молодые ученые обогащают науку смелыми идеями и разработками. Молодежь – не только будущее нашей науки. В соединении с опытом и мудростью ученых старшего поколения она способна на покорение безграничных вершин науки.

Наше время характеризуется чрезвычайно быстрым использованием достижений науки. Все более важное значение приобретает не организация научных исследований, а использование их результатов в производстве. Сегодня в реализации производственного процесса может оказаться впереди не та страна, где впервые будет сделано открытие, а та, которая сможет лучше организовать его быстрее использование на практике. Но, разумеется, высокий уровень технического прогресса в целом возможен только в той стране, которая будет делать больше научных открытий.

Вопросы развития науки, технического прогресса стали сейчас государственными в полном смысле этого слова, в нашей стране им уделяется серьезнейшее внимание. Сейчас научные достижения все быстрее и глубже проникают в практику, коренным образом преобразуя многие отрасли народного хозяйства. Именно поэтому наука все больше и больше становится непосредственной производительной силой, а производство – технологическим воплощением научных достижений.

Как известно, в вузах работает примерно половина всех научных сотрудников страны, имеющих ученые степени. Создание в высшей школе научной атмосферы позволяет готовить специалистов на уровне современных требований, выражающихся в умении самостоятельно ставить и решать различные принципиально важные вопросы. С ними невозможно справиться без овладения студентами основ научных исследований. Таким образом, научная подготовка студентов в вузах – одна из важнейших сторон обучения. Воспитание научной смены – долг каждого настоящего ученого. Молодые ученые обогащают науку смелыми идеями и разработками. Молодежь – не только будущее нашей науки. В соединении с опытом и мудростью ученых старшего поколения она способна на покорение безграничных вершин науки.

В соответствии с правовыми основами оценки квалификации научных работников и критериями определения этой оценки, обеспечиваемыми государственной системой аттестации, устанавливаются следующие ученые, степени и ученые звания для научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации [4]:

- ученая степень доктора наук по отрасли науки согласно номенклатуре специальностей научных работников;
- ученая степень кандидата наук по отрасли науки согласно номенклатуре специальностей научных работников;
- ученое звание профессора по специальности согласно номенклатуре специальностей научных работников;
- ученое звание доцента по специальности согласно номенклатуре специальностей научных работников;
- ученое звание профессора по кафедре образовательного учреждения высшего профессионального и дополнительного профессионального образования;
- ученое звание доцента по кафедре образовательного учреждения высшего профессионального и дополнительного профессионального образования.

Ученая степень доктора наук присуждается президиумом Высшей аттестационной комиссии на основании ходатайства диссертационного совета, принятого по результатам публичной защиты диссертации соискателем, имеющим ученую степень кандидата наук, с учетом заключения соответствующего экспертного совета Высшей аттестационной комиссии.

Ученая степень кандидата наук присуждается диссертационным советом по результатам публичной защиты диссертации соискателем, имеющим высшее профессиональное образование.

Диссертация на соискание ученой степени доктора наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение, либо решена крупная научная проблема, имеющая важное социально-культурное или хозяйственное значение, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические разработки, имеющие существенное значение для экономики или обеспечения обороноспособности страны.

Соискатель ученой степени доктора наук представляет диссертацию в виде специально подготовленной рукописи, научного доклада или опубликованной монографии.

Соискатель ученой степени кандидата наук представляет диссертацию в виде специально подготовленной рукописи или опубликованной монографии.

Диссертация должна быть написана единолично, содержать совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, иметь внутреннее единство и свидетельствовать о личном вкладе автора в науку.

Предложенные автором новые решения должны быть строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными решениями.

В диссертации, имеющей прикладное значение, должны приводиться сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов, а в диссертации, имеющей теоретическое значение, – рекомендации по использованию научных выводов.

Основные научные результаты диссертации должны быть опубликованы в научных изданиях. Их перечень для докторских диссертаций определяет Высшая аттестационная комиссия.

Одной из форм поощрения и морального стимулирования работников сферы образования и науки являются знаки отличия [4]:

- медаль К.Д. Ушинского;
- нагрудный знак «Почетный работник общего образования Российской Федерации»;
- нагрудный знак «Почетный работник начального профессионального образования Российской Федерации»;
- нагрудный знак «Почетный работник среднего профессионального образования Российской Федерации» и др.

Знаки отличия присуждаются работникам сферы образования и науки за заслуги и достижения в соответствующих областях, а также иным лицам, внесшим значительный вклад в развитие образовательной, научной, научно-технической и инновационной деятельности.

Кроме того, за высокий научный вклад в развитие науки каждый работник в сфере образования и науки может быть удостоен высшего академического звания:

- действительный член Российской академии наук;
- член-корреспондент Российской академии наук.

Следует отметить, что существует большое количество отраслевых академий, членство в которых является очень престижным: Российская академия архитектуры и строительных наук, Российская академия естественных наук, Международная академия минеральных ресурсов, Российская инженерная академия, Российская академия проблем качества и др.

Глава 2. ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гносеология – теория научного познания (синоним – эпистемология), одна из составных частей философии. Она изучает закономерности и возможности познания, исследует ступени, формы, методы и средства процесса познания, условия и критерии истинности научного знания. Гносеология является частью более общей отрасли научного знания – **науковедения**, которое изучает еще вопросы организации и планирования научных исследований, социологию науки, логику науки и т.д.

В свою очередь в гносеологии выделяется как ее составная часть методология. С одной стороны, **методология** рассматривается как учение о методах познания в целом. С другой – методология выступает как совокупность методов в какой-либо конкретной области научного познания – тогда говорят, например, о методологии педагогики, методологии психологии и т.д.

Нам необходимо также еще развести понятия «**научное познание**» и «**научное исследование**». Научное познание рассматривается как общественно-исторический процесс. Исследование (научное) рассматривается как субъективный процесс получения новых научных знаний отдельным индивидом – ученым, исследователем или их группой, коллективом. Научное познание не существует вне познавательной деятельности отдельных индивидов, однако последние могут познавать (исследовать) лишь постольку, поскольку овладевают коллективно выработанной, объективизированной системой знаний, передаваемых от одного поколения ученых к другому.

2.1. Общие закономерности развития науки

В гносеологии выделяются шесть основных закономерностей развития науки [3]:

1. Обусловленность развития науки потребностями общественно-исторической практики. Это главная движущая сила, или источник развития науки. При этом подчеркнем, что обусловлена она не просто потребностями практики, например, педагогической, образовательной, а именно – общественно-исторической практики. Каждое конкретное исследование может и не обуславливаться конкретными запросами

практики, а вытекать из логики развития самой науки или, к примеру, определяться личными интересами ученого.

2. Относительная самостоятельность развития науки. Какие бы конкретные задачи ни ставила практика перед наукой, решение этих задач может быть осуществлено лишь по достижении наукой определенного соответствующего уровня, определенных ступеней развития самого процесса познания действительности. При этом от ученого нередко требуется определенное мужество, когда его научные взгляды, его научные построения идут «вразрез» с установками того или иного министерства или с действующими нормативами, документами и т.п.

3. Преемственность в развитии научных теорий, идей и понятий, методов и средств научного познания. Каждая более высокая ступень в развитии науки возникает на основе предшествующей ступени с сохранением всего ценного, что было накоплено раньше.

4. Чередование в развитии науки периодов относительно спокойного (эволюционного) развития и бурной (революционной) ломки теоретических основ науки, системы ее понятий и представлений. Эволюционное развитие науки – процесс постепенного накопления новых фактов, экспериментальных данных в рамках существующих теоретических воззрений, в связи с чем идет расширение, уточнение и доработка уже принятых ранее теорий, понятий, принципов. Революции в науке наступают, когда начинается коренная ломка и перестройка ранее установившихся воззрений, пересмотр фундаментальных положений, законов и принципов в результате накопления новых данных, открытия новых явлений, не укладывающихся в рамки прежних воззрений. Но ломке и отбрасыванию подвергается при этом не само содержание прежних знаний, а их неверное истолкование, например, неправильная универсализация законов и принципов, имеющих в действительности лишь относительный, ограниченный характер.

5. Взаимодействие и взаимосвязанность всех отраслей науки, в результате чего предмет одной отрасли науки может и должен исследоваться приемами и методами другой науки. В результате этого создаются необходимые условия для более полного и глубокого раскрытия сущности и законов качественно различных явлений. Сегодня мы наблюдаем, например, стремительное проникновение математики в экономику; экономики, юриспруденции, психологии в педагогику и т.д. Это, безусловно, положительные явления. И попытки интеграции наук можно только приветствовать.

6. Свобода критики, беспрепятственное обсуждение вопросов науки, открытое и свободное выражение различных мнений. Поскольку диалектически противоречивый характер явлений и процессов в природе, в обществе и человеке раскрывается в науке не сразу и не прямо, в борющихся мнениях и воззрениях отражаются лишь отдельные противоречивые стороны изучаемых процессов. В результате такой борьбы преодолевается первоначальная неизбежная односторонность различных взглядов на объект исследования и вырабатывается единое воззрение, на сегодняшний день наиболее адекватное отражение самой действительности.

2.2. Критерии научности знания

Существенным для любой науки, любого научного исследования является вопрос о критериях научности знания – по каким признакам выделяются научные знания из всей сферы знаний, включающей и ненаучные формы знания. Разные авторы определяют разные критерии. Здесь мы приводим минимальный набор признаков научного знания, выделяемый В.В. Ильиным и А.Т. Калинкиным [8]: **истинность, интерсубъективность и системность.**

Истинность знания. Под истинностью знания понимается соответствие его познаваемому предмету – всякое знание должно быть знанием предметным, т.к. не может быть знания «ни о чем». Однако истинность свойственна не только научному знанию. Она может быть свойственна и донаучным, практически-обыденным знаниям, мнениям, догадкам и т.п. В гносеологии различаются понятия «истина» и «знание». Понятие «истина» подразумевает соответствие знания действительности, достоверность его содержания безотносительно к познающему субъекту и существующего независимо от него в силу своей объективности. Понятие «знание» выражает форму признания истины, предполагающую наличие тех или иных оснований, в зависимости от достаточности которых имеются различные формы признания истины: либо мнение, либо вера, либо практически-обыденное знание, либо научное знание.

Интерсубъективность. Данный признак выражает свойство общезначимости, общеобязательности для всех людей, всеобщности научного знания. В отличие, например, от индивидуального мнения, характеризующегося необщезначимостью, индивидуальностью. В этом случае между истиной научного знания и истинами других его

модификаций проводится следующее разграничение. Истины практически-обыденного знания, истины веры и т.п. остаются «персональными», так как относятся к таким формам знания, которые предполагают признание истины по недостаточным на то основаниям. Что же касается истин научного знания, то они универсальны, «безличны» и принадлежат к формам знания, базирующимся на признании истины по объективно достаточным основаниям. Признак intersубъективности конкретизируется требованием воспроизводимости научного знания, т.е. одинаковостью результатов, получаемых каждым исследователем при изучении одного и того же объекта в одних и тех же условиях. Напротив, если знание не является инвариантным для всякого познающего субъекта, оно не может претендовать на научность, т.к. оно не обладает воспроизводимостью.

Системность. Системность характеризует различные формы знания. Она связана с организованностью и научного, и художественного, и обыденного знания. Системная организованность научного знания обусловлена его особенностью: такой обоснованностью, что порождает несомненность в истинности его содержания, ибо имеет строгую индуктивно-дедуктивную структуру, свойство знания рассудочного, полученного в результате связного рассуждения на основе имеющихся опытных данных.

Таким образом, как уже говорилось, специфика научного знания выражается тремя признаками: **истинности, intersубъективности и системности**. Каждый признак в отдельности не формирует науку: истину включает и не наука; intersубъективным может быть и «всеобщее заблуждение»; признак системности, реализованный обособленно от других, обуславливает лишь «наукообразность», видимость обоснованности и т.д. И только одновременная реализация этих признаков в том или ином результате познания в полной мере определяет научность знания.

2.3. Структура научного знания

Научные знания структурируются по определенным отраслям науки (математика, физика, химия и т.д.). Мы рассмотрим лишь характерные черты любой отрасли научного знания в условиях, когда различные науки сильно разнятся между собой по своему гносеологическому, методологическому уровню – на одном полюсе имеются «сильные» науки, гносеологический идеал науки –

математика, физика, отчасти другие естественные науки, теории которых строятся на строго дедуктивной основе. На другом полюсе – «слабые» в гносеологическом плане науки, в частности гуманитарные и общественные науки в силу чрезвычайной сложности их объектов, слабой предсказуемости явлений и процессов. Здесь уместно будет привести такое сравнение: великий физик А. Эйнштейн, знакомясь с опытами великого психолога Ж. Пиаже, заметил, что изучение физических проблем – это детская игра сравнительно с загадками детской игры.

А.И. Ракилов выделяет следующие общие для каждой научной отрасли характерные признаки:

1. Каждая отрасль науки относится к более или менее четко обособляемой совокупности объектов познания.

2. На данной совокупности объектов познания выделяются фиксированные отношения, взаимодействия и преобразования, которые образуют предмет данной отрасли.

3. В предмете выделяется относительно ограниченный, «понятный» для специалистов круг проблем. По мере развития познания их набор и содержание могут изменяться, сохраняя известную преемственность. При этом всегда существуют «стержневые» проблемы, идентичные для всех стадий данной отрасли познания и гарантирующие ее самоидентичность.

4. Существуют принятые внутри данной отрасли познания критерии истины.

5. Методы исследования, принятые в данной отрасли познания, подчинены решению рационально сформулированных проблем, принятым критериям истины и ориентированы на предмет и объект знания данной отрасли.

6. Существует исходный эмпирический базис знания, т.е. определенная информация, полученная в результате прямого и непосредственного чувственного наблюдения.

7. Существуют специфические для данной познавательной отрасли теоретические знания (см. ниже), которые не следует отождествлять с понятием теории, фигурирующим в определении гносеологического идеала науки (т.е. теориями в математике, физике). Теоретические знания, вообще говоря, не обязательно выступают как строгая дедуктивная система. Средством их выражения отнюдь не всегда могут быть формальные математические исчисления. Более того, в отличие от теорий в строгом смысле (см. ниже), включающих в свой состав лишь логически взаимосвязанные законы, теоретические

знания, понимаемые в широком смысле, содержат концепции, гипотезы, принципы, условия, требования и т.д., отличительная черта которых состоит в том, что они не эмпирического происхождения. Это, в частности, в полной мере относится и к общественным, гуманитарным наукам и, в том числе, к педагогике.

8. Не существует жестко обособленного формального, искусственного языка, специфичного лишь для данной отрасли знания, хотя можно говорить о частичной профессиональной концептуализации, т.е. о частичном изменении смыслов и значений терминов, их приспособлении к решению задач в системе профессиональной исследовательской деятельности. Многие отрасли познания (в том числе и педагогика) долгое время пользуются естественным языком, лишь модифицируя его лексику. Их язык отличается от обыденного своим концептуальным словарем, но не своей особой структурой, которая имеет место для отраслей, подпадающих под версию сильной науки.

2.4. Классификации и формы организации научного знания

Научные знания классифицируются по разным основаниям (см., например, [8]):

- по группам предметных областей знания делятся на математические, естественные, гуманитарные и технические;
- по способу отражения сущности знания классифицируются на феноменалистские (описательные) и эссенциалистские (объяснительные). Феноменалистские знания представляют собой качественные теории, наделяемые преимущественно описательными функциями (многие разделы биологии, географии, психология, педагогика и т.д.). В отличие от них эссенциалистские знания являются объяснительными теориями, строящимися, в основном, на количественных средствах анализа;
- по функциональному назначению научные знания классифицируются на фундаментальные и прикладные;
- и так далее.

Классификаций научных знаний существует множество.

Поскольку результат любой научной работы, выражается в научных знаниях, то эти знания должны быть выражены в определенных формах. Формами организации научного знания являются:

– факт (синоним: событие, результат). К научному факту относятся лишь такие события, явления, их свойства, связи и отношения, которые определенным образом зафиксированы, зарегистрированы. Факты составляют фундамент науки. Без определенной совокупности фактов невозможно построить эффективную научную теорию.

Известно высказывание И.П. Павлова о том, что факты – это воздух ученого;

– положение – научное утверждение, сформулированная мысль;
 – понятие – мысль, отражающая в обобщенной и абстрагированной форме предметы, явления и связи между ними посредством фиксации общих и специфических признаков – свойств предметов и явлений. Например, понятие «обучаемые» включает в себя учащихся общеобразовательных школ и учреждений профессионального образования, студентов, курсантов, слушателей и т.д.

– категория – предельно широкое понятие, в котором отражены наиболее общие и существенные свойства, признаки, связи и отношения предметов, явлений окружающего мира. Например, философские категории «материя», «движение», «пространство», «время» и т.д. Каждая отрасль науки имеет свою собственную систему категорий;

– принцип выполняет двоякую роль. С одной стороны, принцип выступает как центральное понятие, представляющее обобщение и распространение какого-либо положения на все явления, процессы той области, из которой данный принцип абстрагирован. С другой стороны, он выступает в смысле принципа действия – норматива, предписания к деятельности;

– закон – существенное, устойчивое повторяющееся отношение между явлениями, процессами. Например, закон Ома, закон Джоуля-Ленца и т.д.;

– теория. Понятие «теория» рассматривается в двух смыслах. Во-первых, в русле слабой версии науки, о чем мы говорили выше, – как комплекс взглядов, представлений, идей, направленных на объяснение явлений, процессов и связей между ними. В этом смысле слово «теория» часто заменяется словом «концепция».

– метатеория – теория, анализирующая структуры, методы, свойства и способы построения научных теорий в какой-либо определенной отрасли научного знания;

– идея (в философском смысле, как общественно-историческая идея, а не в бытовом значении «кому-то в голову пришла идея») – как высшая форма познания мира, не только отражающая объект изучения, но и направленная на его преобразование. В этом смысле идеи в науке не только подытоживают опыт предшествующего развития знания, но и служат основой для синтеза знания в некую целостную систему и поиска новых путей решения проблемы. Развитие идеи имеет два «вектора» – как развитие идеи внутри самой науки, так и развитие по направлению реализации ее в практике.

– доктрина – почти что синоним концепции, теории. Употребляется в двух смыслах: в практическом, когда говорят о взглядах с оттенком схоластичности и догматизма (отсюда выражения: «доктринер», «доктринерство»); и в смысле комплекса, системы взглядов, направлений действий, но получивших нормативный характер посредством утверждения каким-либо официальным органом – правительством, министерством и т.п. Например, военная доктрина, доктрина развития образования и т.д.

– парадигма – также выступает в двух смыслах: как пример из истории, в том числе истории той или иной науки, взятый для обоснования, сравнения; и как концепция, теория или модель постановки проблем, принятая в качестве образца решения исследовательских задач.

Необходимо также указать в этом перечне еще две специфические формы научного знания:

– проблема – как «знание о незнании», т.е. знание о том, что наука на сегодняшний день не знает, но это недостающее знание необходимо либо для самой науки, развития ее теории, либо для развития практики, либо и того и другого вместе;

– гипотеза – как «предположительное знание». В случае доказательства истинности гипотезы она становится в дальнейшем теорией, законом, принципом и т.д. В случае неподтверждения гипотеза теряет свое значение.

Проблема. Выдвижение, обоснование проблемы, поиски ее решения играют ведущую роль в творческом процессе научного познания. Под научной проблемой понимается такой вопрос, ответ на который не содержится в накопленном обществом научном знании. С гносеологической точки зрения проблема – это специфическая форма организации знания, объектом которого является не непосредственная предметная реальность, а состояние научного знания об этой реальности. Если мы знаем, что нам неизвестно что-то об объекте,

например, какие-либо его проявления или способы связи между его какими-то компонентами, то мы уже имеем определенное проблемное знание.

Например, мы четко знаем, что неизвестна природа шаровой молнии. Здесь налицо знание о незнании. Оно лежит в основе выдвижения научных проблем.

Проблема является формой знания, способствующей определению направления в организации научного исследования – она указывает на неизвестное и побуждает к его познанию. Проблема обеспечивает целенаправленную мобилизацию прежних и организацию получения новых, добываемых в ходе исследования знаний. Проблема возникает в результате фиксации учеными реально существующего или прогнозируемого противоречия, от разрешения которого зависит прогресс научного познания и практики: обобщенно говоря, проблема есть отражение противоречия между знанием и «знанием незнания».

Развитие науки невозможно без выполнения требования целенаправленности. Целенаправленность же в научном творчестве однозначно связана с проблемой. Ведь именно она, указывая на неизвестное и локализуя его, тем самым выполняет функцию целенаправляющего средства. Но это особая целенаправленность, достаточно четкая, чтобы определить область непознанного, но и совершенно нечеткая, если говорить о содержании того, что еще предстоит познать. В процессе актуализации проблем исследователь постоянно попадает в ситуации, которые характеризуются высокой степенью неопределенности. Это заставляет ученых в исследовательском процессе обращаться к структуре изучаемой проблемы и находить критерии для более или менее четкого разграничения действительных и мнимых, актуальных, ценных и менее актуальных и значимых.

Постановка научной проблемы. В процессе постановки проблемы выделяют следующие этапы: формулирование, оценка, обоснование и структурирование проблемы.

1. **Формулирование проблемы.** В процессе формулирования проблемы важное значение имеет постановка вопросов. Вопросы могут быть ясно выражены или не высказаны, четко определены или подразумеваться. Постановка проблемы есть прежде всего процесс поиска вопросов, которые, сменяя друг друга, приближают исследователя к наиболее адекватной фиксации неизвестного и способов превращения его в известное. Это важный момент постановки проблемы. Но постановка проблемы не исчерпывается

этим моментом. Во-первых, не всякий научный вопрос есть проблема – он может оказаться всего лишь уточняющим вопросом, или вопросом, вообще неразрешимым для науки на сегодняшний день.

Во-вторых, для постановки проблемы недостаточно вопроса. Требуется еще выявление оснований данного вопроса.

Это уже другая процедура в процессе постановки проблемы. Это процедура по выявлению противоречия, вызвавшего к жизни проблемный вопрос, которое нужно точно зафиксировать.

Приведем такой интересный с нашей точки зрения пример фиксации противоречия, лежащего в основе научной проблемы. Для того чтобы много знать и уметь, надо иметь хорошую память и тренированное мышление. И здесь мы встречаемся с неизбежным противоречием в учебном процессе: отдать больше времени накоплению знаний – значит меньше оставить времени на тренировку мышления, и наоборот. А раз так, следовательно, есть какой-то оптимум. Если бы его удалось установить, отпали бы многие сложности.

Важное значение для формулирования проблемы имеет построение образа, «проекта» ожидаемого конечного результата исследования на основе прогноза развития исследования и «фона» данной проблемы. Под «фоном» понимаются все обстоятельства, с которыми связана на данном этапе, а также будет связана в дальнейшем проблема и которые оказывают и будут оказывать влияние на ход и результаты исследования.

2. Оценка проблемы. В оценку проблемы входит определение всех необходимых для ее решения условий, в число которых в зависимости от характера проблемы и возможностей науки входит определение методов исследования, источников информации, состава научных работников, организационных форм, необходимых для решения проблемы, источников финансирования, видов научного обсуждения программы и методик исследования, а также промежуточных и конечных результатов, перечня необходимого научного оборудования, необходимых площадей, партнеров вероятной кооперации по проблеме и т.д.

3. Обоснование проблемы. Обоснование проблемы – это, во-первых, определение содержательных, аксиологических (ценностных) и генетических связей данной проблемы с другими – ранее решенными и решаемыми одновременно с данной, а также выяснение связей с проблемами, решение которых станет возможным в зависимости от решения данной проблемы.

Во-вторых, обоснование проблемы – это поиск аргументов в пользу необходимости ее решения, научной или практической ценности ожидаемых результатов. Это необходимость сравнивать данную проблему (или данную постановку проблемы) с другими в аспекте отбора проблем для их решения с учетом важности каждой из них для потребностей практики и внутренней логики науки.

Правильная постановка проблемы предполагает состязание аргументов «за» и «против». Именно в фокусе противоположных суждений рождается правильное представление о сути проблемы, необходимости решения и ее ценности, ее теоретической и практической значимости.

4. Структурирование проблемы. Исходным пунктом структурирования проблемы является ее расщепление, или «стратификация» проблемы. Расщепление – поиск дополнительных вопросов (подвопросов), без которых невозможно получить ответ на центральный – проблемный вопрос. В исходной позиции практически редко можно сформулировать все подвопросы проблемы. Это происходит в значительной мере в ходе самого исследования. В начале часто оказывается чрезвычайно трудным предугадать все, что потребуется для решения проблемы. Поэтому стратификация (расщепление) относится ко всему процессу решения проблемы. В исходном же пункте ее постановки речь идет о поиске и формулировании всех возможных и необходимых подвопросов, без которых нельзя начать исследование и рассчитывать на получение ожидаемого результата.

«Наука ищет пути всегда одним способом, – писал Б.И. Вернадский, – она разлагает сложную задачу на более простые, затем, оставляя в стороне сложные задачи, разрешает более простые и только тогда возвращается к оставленной сложной».

Далее, в процессе расщепления проблемы необходима ее локализация – ограничение объекта изучения реально обозримыми и посильными для исследователя или исследовательского коллектива пределами с учетом наличных условий проведения исследования.

Исследователю крайне важно уметь отказаться от того, что может быть само по себе чрезвычайно интересно, но затруднит получение ответа на тот проблемный вопрос, ради которого организуется исследование.

2.5. Принципы научного познания

Современная наука руководствуется тремя основными принципами познания: принципом детерминизма, принципом соответствия и принципом дополнительности. Принцип детерминизма имеет, можно сказать, многовековую историю, хотя он претерпел на рубеже XIX–XX веков существенные изменения и дополнения в своем толковании. Принципы соответствия и дополнительности были сформулированы в период рубежа XIX и XX веков в связи с развитием новых направлений в физике – теории относительности, квантовой механики и т.д. и в свою очередь, в числе других факторов, обусловили перерастание классической науки XVIII–XIX веков в современную науку.

Принцип детерминизма. Принцип детерминизма, будучи общенаучным, организует построение знания в конкретных науках. Детерминизм выступает прежде всего в форме **причинности** как совокупности обстоятельств, которые предшествуют во времени какому-либо данному событию и вызывают его.

То есть имеет место связь явлений и процессов, когда одно явление, процесс (причина) при определенных условиях с необходимостью порождает, производит другое явление, процесс (следствие).

Принципиальным недостатком прежнего, классического (так называемого лапласовского) детерминизма явилось то обстоятельство, что он ограничивался одной лишь непосредственно действующей причинностью, трактуемой чисто механистически: объективная природа случайности отрицалась, вероятностные связи выводились за пределы детерминизма и противопоставлялись материальной детерминации явлений.

Современное понимание принципа детерминизма предполагает наличие разнообразных объективно существующих форм взаимосвязи явлений, многие из которых выражаются в виде соотношений, не имеющих непосредственно причинного характера, то есть прямо не содержащих момента порождения одного другим. Сюда входят пространственные и временные корреляции, функциональные зависимости и т.д. В том числе в современной науке, в отличие от детерминизма классической науки, особенно важными оказываются соотношения неопределенностей, формулируемые на языке статистических законов или соотношений нечетких множеств, или соотношений интервальных величин и т.д.

Однако все формы реальных взаимосвязей явлений в конечном счете складываются на основе всеобщей действующей причинности, вне которой не существует ни одно явление действительности. В том числе и такие события, называемые случайными, в совокупности которых выявляются статистические законы.

В последнее время теория вероятностей, математическая статистика и т.д. все больше внедряются в исследования в общественных, гуманитарных науках и т.д.

Принцип соответствия. В своем первоначальном виде принцип соответствия был сформулирован как «эмпирическое правило», выражающее закономерную связь в форме предельного перехода между теорией атома, основанной на квантовых постулатах, и классической механикой; а также между специальной теорией относительности и классической механикой. Так, например, условно выделяются четыре механики: классическая механика И. Ньютона (соответствующая большим массам, т.е. массам, неизмеримо большим массы элементарных частиц и малым скоростям, т.е. скоростям, неизмеримо меньшим скорости света), релятивистская механика – теория относительности А. Эйнштейна (большие массы, большие скорости), квантовая механика (малые массы, малые скорости) и релятивистская квантовая механика (малые массы, большие скорости). Они полностью согласуются между собой «на стыках».

Принцип соответствия означает, в частности, и преемственность научных теорий. Новые теоретические построения бывают полезны для развития науки, но если они не будут соотноситься с прежними, то ученые в скором времени вообще перестанут понимать друг друга.

Принцип дополнительности. Принцип дополнительности возник в результате новых открытий в физике также на рубеже XIX и XX веков, когда выяснилось, что исследователь, изучая объект, вносит в него, в том числе посредством применяемого прибора, определенные изменения. Этот принцип был впервые сформулирован Н. Бором: воспроизведение целостности явления требует применения в дознании взаимоисключающих «дополнительных» классов понятий. В физике, в частности, это означало, что получение экспериментальных данных об одних физических величинах неизменно связано с изменением данных о других величинах, дополнительных к первым. Тем самым, с помощью дополнительности устанавливалась эквивалентность между классами понятий, описывающими противоречивые ситуации в различных сферах познания.

Принцип дополнительности существенно повернул весь строй науки. Если классическая наука функционировала как цельное образование, ориентированное на получение системы знаний в окончательном и завершенном виде; на однозначное исследование событий; исключение из контекста науки влияния деятельности исследователя и используемых им средств; на оценку входящего в наличный фонд науки знания как абсолютно достоверного; то с появлением принципа дополнительности ситуация изменилась.

2.6. Средства познания

В ходе развития науки разрабатываются и совершенствуются средства познания: материальные, математические, логические, языковые [4]. Все средства познания – это специально создаваемые средства. В этом смысле материальные, математические, логические, языковые средства познания обладают общим свойством: их конструируют, создают, разрабатывают, обосновывают для тех или иных познавательных целей.

Материальные средства познания – это, в первую очередь, приборы для научных исследований. В истории с возникновением материальных средств познания связано формирование эмпирических методов исследования – наблюдения, измерения, эксперимента.

Эти средства непосредственно направлены на изучаемые объекты, им принадлежит главная роль в эмпирической проверке гипотез и других результатов научного исследования, в открытии новых объектов, фактов. Использование материальных средств познания в науке вообще – микроскопа, телескопа, синхрофазотрона, спутников Земли и т.д. оказывает глубокое влияние на формирование понятийного аппарата наук, на способы описания изучаемых предметов, способы рассуждений и представлений, на используемые обоснования, идеализации и аргументы.

Математические средства познания. Развитие математических средств познания оказывает все большее влияние на развитие современной науки, они проникают и в гуманитарные, общественные науки.

Математика, будучи наукой о количественных отношениях и пространственных формах, абстрагированных от их конкретного содержания, разработала и применила конкретные средства отвлечения формы от содержания и сформулировала правила

рассмотрения формы как самостоятельного объекта в виде чисел, множеств и т.д., что упрощает, облегчает и ускоряет процесс познания, позволяет глубже выявить связь между объектами, от которых абстрагирована форма, вычленив исходные положения, получить точность и строгость суждений. Причем математические средства позволяют рассматривать не только непосредственно абстрагированные количественные отношения и пространственные формы, но и логически возможные, т.е. такие, которые выводятся по логическим правилам из ранее известных отношений и форм.

Под влиянием математических средств познания претерпевает существенные изменения теоретический аппарат описательных наук. Математические средства позволяют систематизировать эмпирические данные, выявлять и формулировать количественные зависимости и закономерности. Математические средства используются также как особые формы идеализации и аналогии (математическое моделирование). В описательных науках на сегодняшний день пока наибольшую роль играют средства математической статистики.

Логические средства. В любом научном исследовании ученому приходится решать логические задачи:

– каким логическим требованиям должны удовлетворять рассуждения, позволяющие делать объективно-истинные заключения; каким образом контролировать характер этих рассуждений?

– каким логическим требованиям должно удовлетворять описание эмпирически наблюдаемых характеристик?

– как логически анализировать исходные системы научных знаний, как согласовывать одни системы знаний с другими системами знаний?

– каким образом строить научную теорию, позволяющую давать научные объяснение, предсказание и т.д.?

Использование логических средств в процессе построения рассуждений и доказательств позволяет исследователю отделять контролируемые аргументы от интуитивно или некритически принимаемых, ложные от истинных, путаницу от противоречий.

Языковые средства. Важным языковым средством познания являются правила построения определений понятий (дефиниций). Во всяком научном исследовании ученому приходится уточнять введенные понятия и знаки, употреблять новые понятия и знаки. Определения всегда связаны с языком как средством познания и выражения знаний.

Правила использования языка, при помощи которого исследователь строит свои рассуждения и доказательства, формулирует гипотезы, получает выводы и т.д., являются исходным пунктом познавательных действий. Знание их оказывает большое влияние на эффективность использования языковых средств познания в научном исследовании.

2.7. Методы научного познания

Методы научного познания здесь мы рассмотрим в несколько более широком контексте, чем это обычно делается в пособиях по методологии и методам научных исследований.

Методы познания определяются как способы построения и обоснования систем научного познания, а также как совокупность приемов и операций получения нового научного знания.

Общефилософским методом познания является диалектика – реальная логика содержательного творческого мышления, отражающая объективную диалектику самой действительности. Основой диалектики как метода научного познания является восхождение от абстрактного к конкретному (Гегель) – от общих и бедных содержанием форм к расчлененным и наиболее богатым содержанием, к системе понятий, позволяющих постичь предмет в его сущностных характеристиках. В диалектике все проблемы получают исторический характер, исследование развития объекта является стратегической платформой познания. Наконец, диалектика ориентируется в познании на раскрытие и способы разрешения противоречий.

В совокупности методов научного познания важное место принадлежит **методу анализа систем знаний**. Любая научная система знаний обладает определенной самостоятельностью по отношению к отражаемой предметной области. Во-первых, знания в таких системах выражаются при помощи языка, свойства которого оказывают влияние на отношение систем знаний к изучаемым объектам – например, если какую-либо достаточно развитую педагогическую концепцию перевести на, допустим, английский, немецкий, французский языки – будет ли она однозначно воспринята и понята в Англии, Германии и Франции? Во-вторых, использование языка как носителя понятий в таких системах предполагает ту или иную логическую систематизацию и логически организованное употребление языковых единиц для выражения знания. В-третьих, ни одна система знаний не

исчерпывает всего содержания изучаемого объекта. В ней всегда получает описание и объяснение только определенная, исторически конкретная часть такого содержания.

Синтез – элементы объекта, расчлененного в процессе анализа, соединяют, между ними устанавливают связи, объект исследования познается как единое целое. *Пример:* переход от исследования напряженно-деформированного состояния отдельного стержня в сопротивлении материалов к исследованию стержневой системы в строительной механике.

Индукция – умозаключение от фактов к некоторой гипотезе. Индукция обычно начинается с анализа и сравнения данных наблюдений и эксперимента. По мере накопления этих данных может выявиться регулярная и многократно повторяемая закономерность в объекте исследования. Отсутствие исключений позволяет предположить, что обнаруженная закономерность универсальна и естественно приводит к индуктивному обобщению (гипотезе): закономерность во всех сходных условиях будет одинаковой.

Дедукция – вывод, сделанный по правилам логики. Началом дедуктивных рассуждений являются аксиомы, гипотезы, концом – теоремы. Иначе говоря, дедукция – это метод перехода от общих представлений к частным.

Индукция и дедукция два противоположных друг другу метода научного познания. Однако они всегда используются совместно – от индуктивного обобщения к дедуктивному выводу, к проверке вывода и более глубокому обобщению. И так до бесконечности.

Аналогия – знание об одних предметах или явлениях достигается на основании их сходства с другими. Знание о каком либо объекте переносится на другой менее изученный объект, но сходный с первым по существенным свойствам. *Пример:* мембранная аналогия, с помощью которой решена такая довольно сложная задача как расчет пластинок на поперечный изгиб методом конечных разностей.

Моделирование – изучаемый объект заменяется специально созданным его аналогом (моделью), исследование которого позволяет определить или уточнить характеристики оригинала. Основой для построения моделей служит теория подобия.

Абстрагирование – метод научного познания, заключающийся в мысленном выделении существенных свойств и связей предмета или явления и отвлечении от других частных их свойств и связей. При абстрагировании происходит отделение существенного от случайного,

отбрасывание несущественных признаков, затрудняющих проведение исследования.

Конкретизация – метод, позволяющий выделить существенные связи, свойства и отношения предметов или явлений. Он требует учета всех реальных условий, в которых находится исследуемый объект.

В процессе познания происходит восхождение знаний об объекте исследования от абстрактного к конкретному, поэтому можно говорить, что эти два метода познания дополняют друг друга.

Объяснение – с его помощью составляется объективная основа изучаемого явления или процесса. Оно позволяет выдвинуть гипотезу или предложить теорию исследуемого класса явлений или процессов.

Формализация – отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и другие), с помощью которого производится формальное исследование их свойств. Она осуществляется на основе абстракции, идеализации и введения искусственных символических знаков. Наиболее ярким примером использования данного метода познания являются такие науки, как математика, теоретическая механика, сопротивление материалов и так далее, в которых вывод содержательного предложения заменяется выводом выражающей его формулы.

Наблюдение – метод целенаправленного исследования объективной действительности в том виде, в каком она существует в природе и обществе и доступна непосредственному восприятию человеком. Наблюдение отличается от восприятия тем, что человек наблюдает то, что имеет для него теоретический или практический интерес. При этом он отбирает только существенные факты, характеризующие объект исследования, на основе определенной гипотезы или теории.

Наблюдение бывает качественным и количественным.

Качественное – наблюдение, в процессе которого выявляются качественные изменения в объекте или процессе.

Количественное – наблюдение, в процессе которого фиксируется изменение количественных параметров объекта или процесса, не вызывающих качественные изменения.

Эксперимент – исследование объекта происходит в точно учитываемых условиях, задаваемых экспериментатором, что позволяет следить за изучаемым объектом и управлять им. Эксперимент также может быть качественным и количественным.

Эксперимент позволяет:

– исключить влияние побочных факторов, упрощая исследуемый объект;

- изучать свойства явлений, не существующих в природе в чистом виде;
- создавать новые искусственные объекты;
- изучать свойства предметов в критических условиях (разрушение, потеря устойчивости и т.д.).

В целом процесс подготовки и проведения экспериментальных исследований можно представить в виде следующих стадий:

- выдвижения научной гипотезы;
- выбора объекта исследования, его цели и постановки конкретной задачи;
- подготовки материальной базы для выполнения эксперимента;
- выбора оптимального пути проведения эксперимента;
- наблюдения явлений при осуществлении эксперимента и их описания;
- анализа и обобщения полученных результатов.

В конечном итоге выбор того или иного метода научного познания при проведении конкретного исследования обусловлен спецификой изучаемого объекта.

2.8. Методология научно-технического творчества

Творчество – деятельность, порождающая нечто качественно новое и отличающееся неповторимостью, оригинальностью и уникальностью. Оно может проявляться в любой сфере человеческой деятельности: технической, научной, производственной и т.д.

Творческое мышление начинается тогда, когда создается проблемная ситуация, предполагающая поиск решения в условиях неопределенности и дефицита информации. При этом основными элементами творчества выступают логика и интуиция.

«Посредством логики доказывают, посредством интуиции изобретают», – говорил А. Пуанкаре.

Интуиция – способность постижения истины путем непосредственного ее усмотрения без обоснования с помощью доказательств. Считается, что интуиция – это результат накопления знаний, итог длительной подготовки.

Логика – наука о способах доказательств и опровержений, т.е. о способах рассуждений, которые от истинных суждений-посылок приводят к истинным суждениям-следствиям.

Поиск решения творческой задачи у ученого зачастую идет на подсознательном уровне, причем необязательно во время ее непосредственного анализа и обдумывания. При этом сам процесс обработки информации исследователем не осознается. В сознании лишь отражается результат.

Специфическим актом творческого процесса считается озарение – внезапное осознание чего-то, всплывшего из глубин подсознания. При этом сознание ухватывает лишь главные элементы идеи, гарантирующие решение исследуемой задачи.

Наиболее важным для творческого процесса видом мышления является *воображение* – вид психической деятельности, заключающийся в создании мысленных представлений, образов и ситуаций, никогда в целом не воспринимавшихся человеком в действительности. Различают три следующих типа воображения:

- *логическое* воображение выводит будущее из настоящего путем логических рассуждений;

- *критическое* воображение выделяет такие причины несовершенства системы, которые нуждаются в изменении, усовершенствовании;

- *творческое* воображение рождает принципиально новые идеи и представления, опирающиеся на элементы действительности, но не имеющие пока прообразов в реальном мире.

При выполнении научного исследования от ученого требуется умение доказать свои суждения и опровергнуть (если необходимо) доводы оппонентов. Решить подобную задачу можно с помощью аргументирования.

Аргументирование – логический процесс рассуждений, при котором обосновывается истинность суждения с помощью других суждений (аргументов).

К аргументам, чтобы они были убедительны, предъявляются следующие требования:

- в качестве аргументов могут выступать лишь такие положения, истинность которых была ранее доказана или они вообще не вызывают ни у кого сомнения;

- аргументы должны быть доказаны независимо от суждения, истинность которого надо аргументировать; аргументы должны быть непротиворечивы; аргументы должны быть достаточны.

Глава 3. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Выбор направления научного исследования

Научное исследование – целенаправленное познание, результаты которого выступают в виде системы понятий, законов и теорий.

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

В каждом научном исследовании выделяется объект и предмет исследования. Объект исследования – процесс или явление, порождающее проблемную ситуацию и избранное для изучения. Предмет исследования – все то, что находится в границах объекта исследования в определенном аспекте рассмотрения.

Научные исследования можно классифицировать на следующие основные виды (рис. 3.1): фундаментальные, прикладные исследования и разработки.



Рис. 3.1. Классификация научных исследований

Фундаментальные научные исследования направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы, на создание новых принципов и методов исследования с целью расширения научного знания общества и установления их практической пригодности.

Фундаментальные исследования являются базой для прикладных.

Прикладные научные исследования направлены на поиск способов использования законов природы, на создание новых и

совершенствование существующих средств и способов человеческой деятельности. В свою очередь, прикладные исследования подразделяются на поисковые, научно-исследовательские и опытно-конструкторские.

Поисковые – устанавливаются факторы, влияющие на объект, отыскиваются пути создания новых технологий и техники.

Научно-исследовательские – создаются новые технологии, опытные установки, приборы.

Опытно-конструкторские – осуществляется подбор конструктивных характеристик, составляющих логическую основу создаваемой конструкции, машины, прибора.

В результате проведения фундаментальных и прикладных исследований накапливается новая научно-техническая информация, преобразование которой в форму, пригодную для освоения в промышленности и строительстве, приводит к разработке. Разработка направлена на создание новой или совершенствование существующей техники, материалов, конструкций и технологий. Ее конечной целью является подготовка результатов прикладных исследований к внедрению.

В зависимости от источников финансирования научные работы подразделяются:

- на госбюджетные – финансирование из средств государственного бюджета;

- хоздоговорные – финансирование из средств организаций-заказчиков на основе хозяйственных договоров;

- нефинансируемые – выполняются по договорам о сотрудничестве и по личной инициативе.

Каждую научно-исследовательскую работу относят к определенному научному направлению, включающему в себя науку или комплекс наук, в области которых ведутся исследования. Различают техническое, математическое, биологическое, историческое и другие направления исследований, которые, в свою очередь, допускают более мелкую детализацию. Строительные науки относятся к техническому направлению исследований, хотя среди них имеются и такие отрасли, которые могут быть отнесены к физико-математическому направлению: строительная механика, теория упругости и пластичности.

Одним из важных этапов научного исследования является постановка проблемы.

Проблема – крупное обобщенное множество сформулированных научных вопросов, которые охватывают область будущих исследований.

Различают следующие виды проблем:

- исследовательская – комплекс родственных тем исследования в границах одной научной дисциплины и в одной области применения;
- комплексная научная – взаимосвязь научно-исследовательских тем из различных областей науки, направленных на решение важнейших народнохозяйственных задач;
- научная – совокупность тем, охватывающих всю или часть научно-исследовательской работы; предполагает решение конкретной теоретической или опытной задачи, направленной на обеспечение дальнейшего научного или технического прогресса в данной отрасли.

Проблема возникает тогда, когда практическая деятельность встречает затруднения в реализации определенных целей. В зависимости от масштаба этих целей она может быть глобальной (проблема охраны природы), национальной (проблема обеспечения населения нашей страны благоустроенным жильем), отраслевой (проблема научного и технического обеспечения строительных работ по устройству кровель зданий и сооружений) и т.д.

Кроме этого проблемы могут быть общие – направлены на удовлетворение потребностей всего человеческого сообщества в масштабе нашей планеты, отдельно взятой страны, региона; и специфические – характерны для определенных производств в различных отраслях народного хозяйства.

3.2. Постановка научно-технической проблемы

Этапы научно-исследовательской работы.

Выбор направления, проблемы, темы научного исследования и постановка научных вопросов является чрезвычайно важной задачей.

Приоритетные направления научных исследований, как правило, формулируются в директивных государственных документах, а также в документах отраслевых министерств и ведомств. Приступая к постановке научно-технической проблемы в какой-либо определенной области знаний или отрасли народного хозяйства, необходимо провести глубокий анализ состояния вопроса. Для этого изучается предшествующий опыт, что, при условии добросовестного подхода со

стороны исследователя, несомненно, ведет к приобретению соответствующих знаний в смежных областях науки и техники.

При выборе проблемы и темы научного исследования вначале на основе противоречий исследуемого направления формулируется сама проблема, и определяются в общих чертах ожидаемые результаты, а затем разрабатывается структура проблемы, выделяются темы, вопросы, устанавливается их актуальность. Данный этап планирования несет в себе определенные сложности: если научный работник недостаточно информирован, то проблема может быть выбрана ложной или мнимой. Поэтому при планировании научного исследования большую роль приобретают дискуссии, обсуждения проблем и тем, их критика.

Анализ научной и технической информации в рассматриваемой области знаний позволяет сформулировать рабочую гипотезу, наметить методы решения проблемы, выделить задачи и основные этапы исследования. Такой анализ позволяет сформулировать рабочую гипотезу, наметить методы решения проблемы, выделить задачи и основные этапы исследования. Он должен завершаться формулированием цели и объекта исследования, научной новизны и практической ценности результатов решения научно-технической проблемы, возможности и эффективности их внедрения в практику.

Целью теоретических исследований является изучение и обоснование физической сущности объекта или явления, создания абстрактной математической модели, описывающей их поведение в определенных условиях, предсказание и анализ предварительных результатов.

Если в рамках разработки темы необходимо проведение экспериментальных исследований, то формулируются их задачи, выбирается методика, приборы и средства измерения, составляется программа эксперимента в виде рабочего плана, в котором указываются объем работ, методы, техника и сроки выполнения.

После завершения теоретических и экспериментальных исследований проводится общий анализ полученных результатов, осуществляется их сопоставление с выдвинутой гипотезой. Если между ними имеются существенные расхождения, то уточняются теоретические модели и, при необходимости, проводятся дополнительные эксперименты. Затем формулируются научные и практические выводы.

Результаты исследований по теме оформляются в научно-технический отчет.

После завершения теоретических и экспериментальных исследований наступает важный этап в разрешении проблемы – внедрение результатов работы в производство и определение их действительной экономической эффективности.

3.3. Разработка рабочей гипотезы

Гипотеза – научное предположение, выдвигаемое для объяснения каких-либо явлений.

Для составления рабочей гипотезы необходимо тщательно изучить отечественные и зарубежные литературные источники, а также отчеты о проведенных аналогичных исследованиях. Вся полученная информация анализируется с целью выяснения, что уже достигнуто и разработано, какие еще остались неясности, противоречия и недоработки.

Обобщив все имеющиеся материалы, относящиеся к объекту исследования, выдвигается рабочая гипотеза, в которой устанавливаются основные факторы, воздействующие на объект исследования (чем больше, тем лучше). На основании этого делается предположительное объяснение всего процесса развития явления.

Рабочая гипотеза должна быть логически простой и во всех деталях проверяема экспериментально. Ее формулировки должны быть как можно краткими и ясными и содержать строгие, общепринятые в данной отрасли науки термины и понятия.

Рабочая гипотеза может быть изложена словесно и дополнена графическими изображениями. Часто она представляется в виде математической модели.

Математическая модель рабочей гипотезы должна быть достаточно простой и допускать возможность изменения структуры формул и граничных условий в соответствии с результатами опыта. В некоторых случаях ее целесообразно дополнять графиками, таблицами и схемами.

Математическая модель также может быть представлена системой дифференциальных уравнений.

Созданная математическая модель рабочей гипотезы подлежит логической проверке. Если выявлены какие-либо несоответствия, то в принятую модель вносятся поправки.

Таким образом, научное исследование условно можно разбить на следующие этапы:

1. Определение целей исследования.

2. Установление объекта исследования.
3. Изучение известного об объекте.
4. Постановка проблемы.
5. Определение предмета исследования.
6. Выдвижение гипотезы.
7. Построение плана исследования.
8. Осуществление намеченного плана, корректируемого по ходу исследования.
9. Проверка гипотезы.
10. Определение значения найденного решения проблемы для понимания объекта в целом.
11. Определение сферы применения найденного решения.

Глава 4. ОБРАБОТКА НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

4.1. Научные документы и издания. Первичная и вторичная информация

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

В зависимости от способа представления информации различают документы: текстовые (книги, журналы), графические (чертежи, схемы, диаграммы), аудиовизуальные (звукозаписи, кино- и видеofilмы), машиночитаемые (например, образующие базу данных на микрофотоносителях). Кроме того, научная информация может быть первичной и вторичной [8].

Первичная информация содержит непосредственные результаты научных исследований и разработок, новые научные сведения или новое виденье известных идей.

Вторичная информация содержит результаты аналитической и логической переработки одного или нескольких первичных документов.

Первичная научная информация (так же как и вторичная) делится на опубликованную (книги, журналы, учебники) и непубликуемую (диссертации, научные переводы, конструкторская документация).

В качестве первичной научной информации можно привести следующие документы:

- книга – неперидическое текстовое издание объемом свыше 48 страниц;
- брошюра – неперидическое текстовое издание объемом свыше 4, но не более 48 страниц;
- монография – содержит всестороннее исследование одним или несколькими авторами одной проблемы или темы;
- учебные издания – неперидическое издание, содержащее систематизированные сведения научного и прикладного характера, изложенные в форме, удобной для преподавания и изучения;
- газеты, журналы, сборники научных трудов вузов, институтов – перидические издания, выходящие через определенный промежуток времени;
- стандарты, инструкции и другие – нормативно-техническая документация, регламентирующая научно-технический уровень и качество выпускаемой продукции;

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

В качестве вторичной научной информации можно привести следующие документы:

– справочные издания – содержат результаты теоретических обобщений, различные величины и их значения, материалы производственного характера (справочники, словари);

– обзорные издания – содержит концентрированную информацию, полученную в результате отбора, систематизации и логического обобщения сведений из большого количества первоисточников по определенной теме за определенный промежуток времени (аналитические, реферативные, библиографические обзоры);

– реферативные издания – содержат сокращенное изложение первичного документа или его части с основными фактическими сведениями и выводами (реферативные журналы, реферативные сборники);

– библиографические издания – содержат библиографическое описание вышедших изданий.

В качестве вторичных непубликуемых документов можно привести: регистрационные карты, учетные карточки диссертаций и т.д.

4.2. Библиотечно-библиографическая классификация документальной формы

Традиционным средством упорядочения документальных фондов являются библиотечно-библиографические классификации. Наибольшее распространение получила Универсальная Десятичная Классификация (УДК), разработанная Международным библиографическим институтом в 1895-1905 гг. на основе «Десятичной классификации» американского библиотекаря М. Дьюи и используемая в более чем 50 странах мира. В России она введена с 1963 г. в качестве единой системы классификации всех публикаций по точным, естественным наукам и технике.

УДК – это иерархическая комбинационная классификация, состоящая из 3 составных частей: основных таблиц, таблиц

определителей (типовых рубрик) и алфавитно-предметного указателя. Индексация логическая, цифровая, применяются арабские цифры.

УДК – классификация, в которой все документы разбиты на 10 классов:

- 0 – Общий отдел;
- 1 – Философия;
- 2 – Религия;
- 3 – Общественные науки;
- 4 – Свободный отдел;
- 5 – Математика. Естественные науки;
- 6 – Прикладные знания. Медицина. Техника;
- 7 – Спорт. Фотография. Зрелища;
- 8 – Языкознание. Филология. Художественная литература.

Литературоведение;

- 9 – Краеведение. География. Биография. История.

Каждый из этих 10 классов делится на 10 подклассов, затем еще на десять и т.д.

Отличительными чертами УДК являются охват всех отраслей знаний, возможность неограниченного деления на подклассы, индексация арабскими цифрами, наличие развитой системы определителей и индексов. Значительная детализация основных таблиц и богатые возможности образования новых рубрик с помощью определителей позволяют считать УДК одной из наиболее разработанных универсальных классификаций.

4.3. Государственный Рубрикатор Научно-технической Информации

Государственный Рубрикатор Научно-технической Информации (ГРНТИ) представляет собой универсальную иерархическую классификационную систему областей знаний, принятую для систематизации всего потока научно-технической информации.

Рубрикатор предназначен:

- для определения тематического охвата информационных служб, систем, банков и баз данных;
- формирования информационных массивов в органах НТИ с целью обмена;
- систематизации материалов в информационных изданиях;
- индексирования документов и поиска их по рубрикам;

- адресации запросов в информационных сетях;
- выполнения нормативной функции при разработке и совершенствовании локальных рубрикаторов;
- выполнения функции языка-посредника между другими классификационными системами (УДК, МПК, ББК и др.), используемыми в автоматизированных информационных системах.

Весь универсум знаний условно разделен на 4 подкласса: общественные науки (коды от 00 до 26); естественные и точные науки (коды от 27 до 43); технические и прикладные науки; отрасли экономики (коды от 44 до 81); межотраслевые и комплексные проблемы (коды от 82 до 90).

Рубрикатор построен так, что классы одного уровня, как правило, не пересекаются и взаимно исключают друг друга. Понятия, находящиеся на одном уровне, находятся в состоянии подчинения к понятию более высокого уровня.

Пример.

73 Транспорт

73.29 Железнодорожный транспорт

73.31 Автомобильный транспорт

73.34 Водный транспорт 73.37 Воздушный транспорт 73.39 Трубопроводный транспорт

Рубрикатор имеет три уровня иерархии. Коды рубрик состоят из пар арабских цифр, разделенных точкой. В конце кода точка не ставится. Рубрикам в качестве справочной информации приписан индекс УДК. Это обеспечивает взаимосвязь между двумя классификационными системами, представленную в виде гипертекстового перехода в случаях, когда этой связи соответствует реальная рубрика УДК.

4.4. Научно-техническая патентная информация

Патентование занимается вопросами правовой охраны и защиты приоритета открытий и изобретений. Результаты умственного труда, применяемые в промышленности, называют *промышленной собственностью* [6].

Она разделяется на изобретение, полезную модель, промышленный образец и товарный знак [9].

Изобретение – техническое решение в любой области, относящееся к продукту или способу (устройство: конструкции, изделия; вещество:

химическое соединение и т. д.). Срок действия 20 лет. На изобретение выдается патент, если оно является новым, имеет изобретательский уровень и промышленно применимо [10]. Не считается изобретением:

- открытия, а также научные теории и математические методы;
- решения, касающиеся только внешнего вида изделий и направленные на удовлетворение эстетических потребностей; программы для электронных вычислительных машин;
- решения, заключающиеся только в представлении информации.

Полезная модель – техническое решение, относящееся к устройству (конструкциям или изделиям). Срок действия 5 лет. На полезную модель выдается патент, если она является новой и промышленно применимой. Не считается полезной моделью:

- решения, касающиеся только внешнего вида изделий и направленные на удовлетворение эстетических потребностей;
- решения, противоречащие общественным интересам, принципам гуманности и морали.

Промышленный образец – художественно-конструкторское решение изделия промышленного или кустарно-ремесленного производства, определяющего его внешний вид. Срок действия 10 лет. На промышленный образец выдается патент, если он является новым и оригинальным. Не считается промышленным образцом:

- решения, обусловленные исключительно технической функцией изделия;
- объекты архитектуры (кроме малых архитектурных форм), промышленных, гидротехнических и других стационарных сооружений;
- объекты неустойчивой формы из жидких, газообразных, сыпучих или им подобных веществ;
- изделия, противоречащие общественным интересам, принципам гуманности и морали.

Товарный знак – обозначение, служащее для индивидуализации товаров, выполняемых работ или оказываемых услуг юридических или физических лиц. Срок действия 10 лет. На товарный знак выдается патент, если он обладает различительной способностью и не походит на известные обозначения до степени введения в заблуждение потребителя. В качестве товарного знака могут быть зарегистрированы словесные, изобразительные, объемные и другие обозначения или их комбинации любого цвета. Не допускается регистрация в качестве товарных знаков обозначений, не обладающих различительной способностью или состоящих только из элементов:

- вошедших во всеобщее употребление для обозначения товаров определенного вида;
- являющихся общепринятыми символами и терминами;
- характеризующих товары, в том числе указывающих на их вид, качество, количество, свойство, назначение, ценность, а также на время, место, способ производства или сбыта;
- представляющих собой форму товаров, которая определяется исключительно или главным образом их свойством либо назначением.

Заявка на выдачу патента на изобретение, полезную модель или промышленный образец подается в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности лицом, обладающим правом на получение патента.

Заявка на изобретение должна содержать [11]:

- заявление о выдачи патента с указанием автора изобретения и лица, на имя которого испрашивается патент, а также их местожительства или местонахождения;
- описание изобретения, раскрывающее его с полнотой, достаточной для осуществления;
- формулу изобретения, выражающую его сущность и полностью основанную на описании;
- чертежи и иные материалы, если они необходимы для понимания сущности изобретения;
- реферат.

Заявка на полезную модель должна содержать: заявление о выдачи патента с указанием автора полезной модели и лица, на имя которого испрашивается патент, а также их местожительства или местонахождения;

- описание полезной модели, раскрывающее ее с полнотой, достаточной для осуществления;
- формулу полезной модели, выражающую ее сущность и полностью основанную на описании;
- чертежи, если они необходимы для понимания сущности полезной модели;
- реферат.

Заявка на промышленный образец должна содержать [11]:

- заявление о выдачи патента с указанием автора промышленного образца и лица, на имя которого испрашивается патент, а также их местожительства или местонахождения;
- комплект изображений изделия, дающих полное детальное представление о внешнем виде изделия;

- чертеж общего вида изделия, если это необходимо для раскрытия сущности промышленного образца;

- описание промышленного образца;

- перечень существенных признаков промышленного образца.

Заявка на товарный знак должна содержать:

- заявление о регистрации обозначения в качестве товарного знака с указанием заявителя, а также его местожительства или местонахождения;

- заявляемое обозначение;

- перечень товаров, в отношении которых испрашивается регистрация товарного знака и которые сгруппированы по классам Международной классификации товаров и услуг для регистрации знаков;

- описание заявленного обозначения.

В качестве источников информации, используемых в процессе патентных исследований, являются бюллетени и описания. *Бюллетени* – это наиболее оперативный источник патентной информации, в котором дается короткая информация для предварительного ознакомления и отбора нужных патентных материалов: формула (аннотация, реферат) изобретения с чертежом. *Описание* изобретения, полезной модели и промышленного образца содержит: индекс международной патентной классификации и название; область применения; характеристику и критику аналогов; характеристику и критику прототипов; задачу изобретения; структуру описания; уровень техники (характеристика аналогов и их критика, выделение наиболее близкого аналога и его критика, задача изобретения); раскрытие изобретения; краткое описание чертежей, если они содержатся в заявке; осуществление изобретения (т.е. пример конкретного выполнения).

4.5. Работа с научной литературой

Каждому исследователю необходимо уметь искать и отбирать нужную литературу для своей работы. Процесс ознакомления с литературными источниками по интересующей проблематике необходимо начать с ознакомления со справочной литературой (универсальные и специальные энциклопедии, словари, справочники). Затем следует изучить библиографические указатели, имеющиеся в научной библиотеке. При этом особое внимание уделяется каталогу кандидатских и докторских диссертаций. После этого можно

переходить к поиску статей в научных журналах соответствующего профиля.

В процессе изучения любой литературы обязательно выявляются из ссылок использованных работ новые источники, тем более что из них можно извлечь недостающую информацию, которой автор источника решил пренебречь. Поэтому требуется постоянная систематизация проработанного материала.

Зафиксировать изученный материал можно с помощью: аннотации, реферата, конспекта, цитат.

Аннотация – краткая характеристика содержания произведений печати или рукописи.

Реферат – краткое изложение документа с основными фактическими сведениями и выводами. Реферат содержит: тему, предмет исследования, цель, метод проведения работы, полученные результаты, выводы, область применения.

Конспект – сжатое изложение самого существенного в данном материале. Он должен быть кратким и точным в выражении мыслей автора своими словами.

Цитата – слова автора.

При изучении научного материала целесообразно составлять так называемый *научный обзор* – текст, содержащий информацию сводного характера по какому-либо вопросу, извлеченную из целого ряда первичных документов. Как правило, данные документы специально отбираются для этой цели. Научные обзоры публикуются в виде статей в журналах, статей в трудах конференций, в монографиях и др.

Глава 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1. Цель, задачи и некоторые особенности теоретических исследований

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.

Основными задачами теоретического исследования являются [7]:

- обобщение результатов ранее проведенных исследований, нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации этих результатов и опытных данных;
- распространение результатов ранее проведенных исследований на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований;
- изучение объекта, недоступного непосредственному исследованию;
- повышение надежности экспериментального исследования объекта.

Как уже отмечалось ранее, теоретические исследования начинаются с разработки рабочей гипотезы и моделирования объекта исследования и завершаются формированием теории.

В основе создания любой модели лежат допущения, которые позволяют пренебречь незначительными факторами, не оказывающими существенного влияния на условие задачи. При этом принятая исследователем модель должна четко соответствовать реальному объекту. Но это палка о двух концах: с одной стороны, необоснованно принятые допущения могут повлечь за собой грубейшие ошибки при проведении исследований, с другой – учет большого числа факторов, действующих на объект, может привести к сложным аналитическим зависимостям, неподдающимся анализу. Поэтому всякое теоретическое исследование приближенно.

Для упрощения исследуемого объекта его расчленяют на отдельные элементы, рассматривают и описывают их взаимосвязи, а затем соединяют в модель сложного объекта. Допустим, необходимо выбрать расчетную схему здания или сооружения сложного вида. Наиболее простым в этом случае решением будет расчленить все здание на плоские рамы, которые, в свою очередь, тоже делим на отдельные элементы (ригели, колонны) и рассчитывать каждый

элемент в отдельности на внешние воздействия, приложенные к ним в реальном сооружении. Поскольку реализация данной расчетной схемы не учитывает многих факторов, полученный проект будет обладать повышенной материалоемкостью, что обычно идет в запас прочности сооружения и не ухудшает его характеристик прочности и жесткости в условиях эксплуатации. Однако он не является оптимальным, поскольку ведет к значительному перерасходу материалов. Поэтому расчет сложных систем должен производиться с учетом многих факторов, например таких, как действительная жесткость узлов соединения колонн и ригелей, совместная работа элементов рамы, пространственная работа рам, учет возможности перераспределения усилий в элементах рамы при достижении в части из них предельного состояния и т.д.

Теоретические исследования включают в себя несколько характерных этапов:

- анализ физической сущности процессов и явлений;
- формулирование гипотезы исследования;
- построение физической модели; математическое исследование;
- анализ и обобщение теоретических исследований;
- формулирование выводов.

Любая задача содержит:

- исходные условия – условия, определенные информационной системой;
- требования – цель, к которой нужно стремиться при ее решении.

Условия и требования задачи постоянно находятся в противоречии, и в процессе ее решения их приходится неоднократно сопоставлять и уточнять до тех пор, пока не будет получено решение задачи.

Процесс проведения теоретических исследований состоит из следующих 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.

Синтетическая стадия включает определение влияния изменения одной части объекта на построение других его частей, определение необходимых изменений других объектов, работающих совместно с данными, оценку возможности применения измененного объекта по-новому.

Стадия постановки задачи включает определение конечной цели решения задачи, проверку возможности достижения той же цели

другими средствами, выбор наиболее эффективного пути решения задачи, определение требуемых количественных показателей.

Аналитическая стадия включает определение идеального конечного результата, выявляет помехи, мешающие получению идеального результата и их причины, определяет условия, обеспечивающие получение идеального результата.

5.2. Математические методы исследования

В технических науках при проведении теоретических исследований, как правило, стремятся к математической формализации выдвинутых гипотез и полученных выводов, используя при этом различные математические методы. Процесс математической формализации задачи включает несколько стадий [12]:

- математическую формулировку задачи;
- математическое моделирование;
- метод решения;
- анализ полученного результата.

Математическая формулировка задачи дается в виде чисел, геометрических образов, функций, систем уравнений и т. п.

Математическая модель представляет собой систему математических соотношений (формул, функций, уравнений, систем уравнений), описывающих те или иные стороны изучаемого объекта.

Первый этап математического моделирования включает в себя постановку задачи, определение объекта и целей исследования, задание критериев изучения объекта и управления им.

На следующем этапе математического моделирования осуществляется выбор типа модели. Иногда строят несколько моделей одного и того же объекта и, сравнивая результаты их исследования с реальным объектом, выбирают лучшую.

При выборе типа математической модели объекта по экспериментальным данным устанавливают степень его детерминированности (линейность или нелинейность, статичность или динамичность, стационарность или нестационарность).

Линейность или нелинейность объекта определяют по его реакции на внешнее воздействие. Например, связь между напряжениями и деформациями образца из мягкой стали на участке до предела пропорциональности носит линейный характер. При появлении же пластических деформаций (за пределом упругости) эта зависимость

уже становится нелинейной. В этом случае говорят о физической нелинейности объекта.

Статичность или динамичность объекта устанавливают по изменению во времени его исследуемых параметров. Если среднее арифметическое значение полученных результатов на разных интервалах времени не выходит за допустимые пределы, определяемые точностью методики получения исследуемого показателя, то объект считают статичным.

Например, задача определения собственных частот колебаний упругих стержневых систем, несмотря на динамический характер процесса затухающих свободных колебаний, относится к статическим, так как частота колебаний в начальной стадии установившегося колебательного процесса незначительно отличается от частоты колебаний в завершающей его стадии.

Цель и задачи, которые ставятся при математическом моделировании, играют немаловажную роль при выборе типа модели. Если речь идет о практической задаче, то применяется простой математический аппарат. В случае фундаментальных задач математический аппарат намного сложнее.

На выбор модели также оказывает большое влияние информационный массив, получаемый в результате аналитического обзора результатов исследования других авторов или поискового эксперимента.

Существенное влияние на выбор типа математической модели оказывает необходимость определенного отображения гипотезы.

Учет целей и задач математического моделирования, характер гипотезы и анализа информационного массива позволяют в выбранном типе моделей определить их вид – это третий этап математического моделирования.

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. Если объект является динамическим, то выбор вида модели сводится к составлению дифференциальных уравнений.

Процесс выбора математической модели объекта заканчивается ее предварительным контролем:

Контроль размерностей – проверка выполнения правила, согласно которому приравняться и складываться могут только величины одинаковой размерности.

Контроль порядков – определяется порядок складываемых величин, а малозначительные слагаемые отбрасываются.

Контроль характера зависимостей – проверка направления и скорости изменения одних величин при изменении других.

Контроль экстремальных ситуаций – проверка наглядного смысла решения при приближении параметров модели к нулю или бесконечности.

Контроль граничных условий – проверка соответствия математической модели граничным условиям, вытекающим из смысла задачи.

Контроль математической замкнутости – проверка однозначности решения математической модели.

Контроль устойчивости модели – проверка возможности варьирования исходных данных в рамках уже имеющихся о реальном объекте (данное варьирование не должно привести к существенному изменению объекта).

5.3. Аналитические методы исследования

Третьим этапом решения практических задач математическими методами является выбор метода исследования модели. Выбор метода исследования математической модели непосредственно связан с такими понятиями, как внешнее и внутреннее правдоподобие исследования.

Внешнее правдоподобие – ожидаемая степень адекватности математической модели реальному объекту по интересующим исследователя свойствам.

Внутреннее правдоподобие – ожидаемая степень точности решения полученных уравнений, которые приняты за математическую модель объекта.

Чем больше сведений о конечном решении задачи, тем эффективнее выбор метода исследования. Эти сведения можно получить путем предварительных (ориентировочных) исследований модели или ее элемента. Зачастую даже грубое решение может быть достаточным.

Пример: при определении точки экстремума в случае, если она является стационарной, даже грубая ошибка мало скажется на подсчете этого значения. Налицо нерациональность использования высокоточных методов поиска.

Выбор метода исследования математической модели во многом предопределен ее видом. Статические системы, представленные при помощи алгебраических уравнений, исследуются с помощью метода итераций, метода Гаусса и т.д. Если аналитическое решение затруднено, то используются приближенные методы: графический метод, метод касательных и т.д.

Если в результате решения алгебраических уравнений получаются числа, то при решении дифференциальных уравнений получаются функции. Для решения дифференциальных уравнений используются метод разделения переменных, метод подстановки и др. Для получения приближенных решений используются метод последовательных приближений, численные методы интегрирования и т.д.

Если возникает необходимость использования сложных дифференциальных уравнений со сложными начальными и граничными условиями (часто нелинейными), то прибегают к приближенным вычислениям с помощью численных методов (метод конечных разностей, метод конечных элементов).

Использование аналитических методов решения математических задач является основным методом современного научного исследования. Однако громоздкость моделей и прямых методов решения уравнений затрудняет получение конечных решений. Поэтому в решении практических задач нашли широкое применение методы преобразования исходных данных (логарифмирование, методы преобразования Лапласа, Фурье и т.д.).

5.4. Вероятностно-статистические методы исследования

Любые технологические процессы, как правило, выполняются в условиях непрерывно меняющейся обстановки: вынужденные простои машин; неравномерная работа транспорта и т.д. Те или иные события могут произойти или не произойти. Поэтому часто появляется необходимость исследовать случайные или вероятностные процессы, которые зачастую имеют вполне определенные закономерности, рассматриваемые в теории вероятностей [13].

В основе вероятностно-статистических методов исследования лежит математическая теория вероятностей и математическая статистика.

Теория вероятностей изучает закономерности массовых событий, имеющих случайный характер. Например, результат отдельного измерения тоже событие.

Математическая статистика занимается способами систематизации, обработки и использования статистических данных. Эти две родственные науки составляют единую математическую теорию массовых случайных процессов, широко применяемую в научных исследованиях.

Теория вероятностей является фундаментом всех методов и приемов математической статистики.

Одним из исходных понятий, которое используется в теории вероятностей, является частота случайного события. *Случайным* называется событие, появление которого не может быть точно предсказано.

Случайные события разделяются на два типа:

– *дискретные* – могут принимать конечное или бесконечное счетное множество значений (количество хрупких разрушений материала при механических испытаниях);

– *непрерывные* – могут принимать бесконечное множество значений в пределах любого интервала (результаты измерения физической величины, например удлинения, перемещения).

К статистическим методам анализа относятся:

– *дисперсионный анализ* – метод анализа результатов наблюдений, зависящих от различных, одновременно действующих факторов. При этом выделяются доминирующие факторы и оценивается степень их влияния на конечные результаты эксперимента;

– *корреляционный анализ* – метод анализа, рассматривающий вероятностную связь между двумя случайными величинами;

– *регрессионный анализ* – изучение зависимостей между результативным признаком и наблюдавшимся признаком.

Глава 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1. Общие сведения об экспериментальных исследованиях

Эксперимент – это важнейшая составная часть научных исследований. Его основой является научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями.

Основной целью эксперимента являются выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования. Они различаются [14]:

- по способу формирования условий (естественный и искусственный);
- по целям исследования (преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие);
- по организации проведения (лабораторные, натурные и т.д.);
- по структуре изучаемых объектов и явлений (простые, сложные) и т.д.

Естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования.

Искусственный эксперимент предполагает формирование искусственных условий.

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. Исследователь преднамеренно создает условия, которые должны способствовать формированию новых свойств и качеств объекта.

Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений.

Контролирующий эксперимент сводится к контролю за результатами внешних воздействий над объектом исследования с учетом его состояния, характера воздействия и ожидаемого эффекта.

Поисковый эксперимент проводится в том случае, если затруднена классификация факторов, влияющих на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных данных. По результатам поискового эксперимента устанавливаются значимость факторов, осуществляется отсеивание незначимых.

Решающий эксперимент ставится для проверки справедливости основных положений фундаментальных теорий в том случае, когда две или несколько гипотез одинаково согласуются со многими явлениями. Это согласие приводит к затруднению, какую именно из гипотез считать правильной. Решающий эксперимент дает такие факты, которые согласуются с одной из гипотез и противоречат другой.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов и т.д. Чаще всего в лабораторном эксперименте изучается не сам объект, а его образец (модель).

Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. В зависимости от места проведения испытаний он делится на производственный, полевой, полигонный и т.д.

Простой эксперимент используется для изучения объектов, не имеющих разветвленной структуры, с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих простейшие функции.

Сложный эксперимент изучает явления или объекты с разветвленной структурой и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции.

Особое значение имеет правильная разработка методики эксперимента. *Методика* – это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования. При разработке методики проведения эксперимента необходимо предусматривать:

- проведение предварительного целенаправленного наблюдения над изучаемым объектом или явлением с целью определения исходных данных (гипотез, выбора варьирующих факторов);
- создание условий, в которых возможно экспериментирование (подбор объектов для экспериментального воздействия, устранение влияния случайных факторов);
- определение пределов измерений;
- систематическое наблюдение за ходом развития изучаемого явления и точные описания фактов;
- проведение систематической регистрации измерений и оценок фактов различными средствами и способами;
- создание повторяющихся ситуаций, перекрестных воздействий, изменение их характера и условий;

- создание усложненных ситуаций с целью подтверждения или опровержения ранее полученных данных;
- переход от эмпирического изучения к логическим обобщениям, к анализу и теоретической обработке полученного фактического материала.

Перед каждым экспериментом составляется его план, который включает:

- цель и задачи эксперимента;
- выбор варьируемых факторов;
- обоснование объема эксперимента, числа опытов; порядок реализации опытов;
- определение последовательности изменения факторов;
- выбор шага изменения факторов, задание интервалов между будущими экспериментальными точками;
- обоснование средств измерений;
- описание проведения эксперимента;
- обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

Рассмотрим представленный план более подробно.

Важным этапом подготовки эксперимента является определение его целей и задач. Количество задач не должно быть слишком большим (лучше 3-4, максимально 8-10) [14].

Перед экспериментом надо выбрать варьируемые факторы, т.е. установить основные и второстепенные характеристики, влияющие на исследуемый процесс, проанализировать расчетные схемы процесса. Правильный выбор основных и второстепенных факторов играет важную роль в эффективности эксперимента, поскольку он сводится к нахождению зависимостей между этими факторами. Необходимо также обосновать набор средств измерений, оборудования, машин и аппаратов. Поэтому важно быть хорошо знакомым с выпускаемой в стране измерительной аппаратурой. Нередко возникает потребность в создании уникальных приборов, установок, стендов для выполнения эксперимента. При этом их разработка и конструирование должны быть тщательно обоснованы теоретическими расчетами.

Одним из самых ответственных моментов в эксперименте является установление точности измерений и погрешности. Методы измерений должны базироваться на законах специальной науки – *метрологии*, изучающей средства и методы измерений.

При экспериментальном исследовании одного и того же процесса повторные отсчеты на приборах, как правило, неодинаковы.

Отклонения возможны по ряду причин: несовершенство приборов, неоднородность свойств изучаемого материала и др. Поэтому эксперимент никогда не обходится одним измерением, а следовательно, нужно знать их минимальное количество, которое смогло бы обеспечить устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющей заданной степени точности.

В методике эксперимента подробно разрабатывается процесс его проведения; составляется последовательность операций измерений и наблюдений; детально описывается каждая операция в отдельности с учетом выбранных средств для проведения эксперимента; обосновываются методы контроля качества операций, обеспечивающие при минимальном количестве измерений высокую надежность и заданную точность; разрабатываются формы журналов для записи результатов наблюдений и измерений.

Важным разделом методики является выбор методов обработки и анализа экспериментальных данных. Обычно результаты экспериментов сводятся в следующие формы записи: таблицы, графики, формулы, что позволяет быстро анализировать полученную информацию.

Особое внимание в методике должно быть уделено математическим методам обработки и анализу опытных данных, например, установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между варьирующими характеристиками, установлению критериев и доверительных интервалов и др.

На объем и трудоемкость проведения экспериментальных работ существенно влияет вид эксперимента. Например, натурные и полевые эксперименты, как правило, имеют большую трудоемкость, что следует учитывать при планировании.

После установления объема экспериментальных работ составляется перечень необходимых средств измерений, объем материалов, список исполнителей, календарный план и смета расходов.

Программу эксперимента рассматривает научный руководитель, обсуждают в научном коллективе (например, на заседании кафедры или научно-технического совета) и утверждают в установленном порядке.

6.2. Метрология в экспериментальных исследованиях

Важное место в экспериментальных исследованиях занимают измерения. *Измерение* – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Суть измерения составляет сравнение измеряемой величины с известной величиной, принятой за единицу (эталон) [1].

Теорией и практикой измерений занимается *метрология* – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. К основным проблемам метрологии относятся:

- общая теория измерений;
- единицы физических величин и их системы;
- методы и средства измерений;
- методы определения точности измерений;
- основы обеспечения единства измерений.

Важнейшее значение в метрологии отводятся эталонам и образцовым средствам измерений. К *эталонам* относятся средства измерений, обеспечивающих воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим средствам измерения. Эталоны выполнены по особой спецификации. Эталонная база России содержит более 120 государственных эталонов, в том числе, например: единицы длины, массы и др.

Образцовые средства измерений служат для проверки по ним рабочих средств измерения, постоянно используемых непосредственно в исследованиях.

Различают несколько основных методов измерения [1].

Метод непосредственной оценки – определение значения величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение массы на циферблатных весах).

Метод сравнения с мерой – измеряемая величина сравнивается с величиной, воспроизводимой мерой (например, измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями).

Дифференциальный метод – на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой (например, измерения, выполняемые при проверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторах).

Нулевой метод – результирующий эффект воздействия величины на прибор доводят до нуля (например, измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием).

Метод замещения – измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гири на одну и ту же чашку весов).

Метод совпадений – разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряется с использованием совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Неотъемлемой частью экспериментальных исследований являются *средства измерения* – совокупность технических средств, имеющих нормированные погрешности, которые дают необходимую информацию для экспериментатора.

В настоящее время в России выпускается большое количество средств измерений и наблюдений для измерения показателей физических, механических, химических свойств, а также структуры материала и изделия и т.д. К средствам измерений относят меры, измерительные приборы, установки и системы. Одна из важнейших характеристик средства измерения является *погрешность*. Она возникает вследствие недоброкачественных материалов, комплектующих изделий, применяемых для изготовления приборов; плохого качества изготовления приборов; неудовлетворительной эксплуатации и др.

Рассмотрим основные характеристики прибора.

Чувствительность – способность отсчитывающего устройства реагировать на изменения измеряемой величины.

Точность – характеристика, связанная с суммарной погрешностью.

Стабильность – свойство отсчетного устройства обеспечивать постоянство показаний одной и той же величины.

Любое средство измерения должно подвергаться поверке на точность.

Рабочая поверка проводится в низовых звеньях организации каждым экспериментатором непосредственно перед началом измерений и наблюдений.

Государственная поверка за обеспечением в стране единства мер проводится государственными метрологическими институтами и лабораториями по надзору за стандартами и измерительной техникой.

Ведомственная поверка осуществляется в периоды между государственными по специальному графику, разработанному для

данной организации. Она мало чем отличается от государственных поверок, но, как правило, проводится по сокращенной программе.

6.3. Организация рабочего места экспериментатора

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 и обслуживаемая одним или группой исследователей.

Рабочее пространство может быть:

- стационарным (в лабораториях, научно-исследовательских учреждениях, полигонах);
- условно-стационарным (в передвижных лабораториях, временных полигонах);
- мобильным (в ходовых лабораториях).

Лаборатория представляет собой специально оборудованное помещение, в котором производятся экспериментальные исследования. В соответствии с особенностями рабочего пространства можно выделять два типа исследовательских лабораторий: стационарные и передвижные.

Рабочее место *стационарной* лаборатории комплектуется специальным рабочим столом. В зависимости от назначения лаборатории каждый лабораторный стол может обеспечиваться водой, электричеством, газом, паром, сжатым воздухом и общим вакуумом. На столах размещаются также штепселя для включения электроприборов, настольных ламп, вычислительных машинок, нагревательных приборов (паяльники, плитки), размещаемых на кусках толстого листового асбеста. Особое внимание следует уделять освещенности рабочего места.

Оборудование *передвижных* лабораторий близко к стационарным, но несколько уступает им из-за нехватки площадей. Передвижные лаборатории вместо лабораторных столов оснащаются откидными столиками для ведения необходимых записей в процессе проведения эксперимента.

Все анализы, определения и наблюдения необходимо записывать в специальный журнал, даже если результаты одного статистического

ряда резко отличаются от соседних измерений. В дальнейшем это позволит установить причины отклонений. Кроме того, в журнал вносятся простейшие расчеты, необходимые в течение эксперимента.

При проведении эксперимента необходимо непрерывно следить за средствами измерений, правильностью их показаний, периодически проводить их поверку, не допускать посторонних лиц в рабочую зону. Следует также не забывать о технике безопасности во время проведения эксперимента.

Особое место при проведении экспериментальных исследований принадлежит анализу результатов эксперимента. Это завершающая часть, на основе которой делают вывод о подтверждении гипотезы научного исследования. Предварительную обработку результатов эксперимента и их анализ необходимо проводить перед каждым последующим измерением, что позволит контролировать исследуемый процесс, корректировать эксперимент и повышать его эффективность.

Результаты экспериментов оформляются протоколом, который подписывается экспериментатором и, если эксперимент был производственным, руководителем производства.

6.4. Влияние различных факторов на ход и качество эксперимента

В процессе проведения эксперимента измерения различных показателей не могут быть выполнены абсолютно точно, поскольку сами измерительные приборы имеют определенную погрешность, которая помимо указанных выше причин, может возникать вследствие недостаточно тщательного проведения опыта, влияния различных неучтенных факторов в процессе опыта, субъективных особенностей экспериментатора. В качестве примера можно привести следующие факторы.

Систематические погрешности – при повторных экспериментах остаются постоянными (или изменяются по известному закону). Они могут быть постоянными или переменными, увеличивающимися или уменьшающимися в процессе эксперимента. Их обязательно нужно исключать путем регулировки или ремонта средств измерения, тщательной проверки их установки, устранения нежелательных воздействий внешней среды.

Случайные погрешности – возникают случайно при повторном измерении. Их разновидность – грубые погрешности или промахи, существенно превышающие систематические или случайные

погрешности. В большинстве случаев они вызваны ошибками экспериментатора.

Субъективная погрешность – вызвана психологическими (психологические барьеры и инерционность мышления) или психофизическими причинами (дефект зрения экспериментатора).

Иногда исследователь в процессе анализа результатов эксперимента бессознательно подгоняет экспериментальные данные для подтверждения ранее выдвинутой гипотезы.

Иногда ошибки эксперимента связаны с тем, что исследователь не представляет себе четко, что он собирается получить. В результате могут быть не учтены важнейшие факторы, что существенно затруднит анализ экспериментальных данных.

Все вышеизложенное показывает, что любой результат эксперимента должен восприниматься критически и многократно проверяться. Перепроверку результатов эксперимента целесообразнее осуществлять в другое время дня или, если есть возможность, по истечении нескольких дней.

После завершения всех серий эксперимента исследователь принимает то или иное решение:

- признать основную часть работы законченной;
- провести дополнительный сбор информации и отбор материала с целью подтверждения гипотезы;
- признать работу неудавшейся и т.д.

Если самостоятельные опыты продолжают длительное время, рекомендуется периодически проводить их обсуждение в научном коллективе. Это позволяет своевременно скорректировать ход эксперимента и направить его в требуемое русло.

Глава 7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФАКТОРНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

7.1. Особенности экспериментальных факторных моделей

Наряду с теоретическими математическими моделями при функциональном проектировании технических систем широко применяются экспериментальные факторные математические модели [17].

Теоретические модели имеют то преимущество, что они непосредственно описывают физические свойства технической системы. Коэффициенты уравнений теоретических моделей представляют собой параметры элементов технической системы (внутренние параметры системы) или некоторые комбинации этих параметров, а зависимые переменные – фазовые координаты системы. Они позволяют осуществлять имитационное моделирование процессов функционирования технической системы во времени, детально изучать изменение фазовых координат в зависимости от внешних воздействий (возмущающих и управляющих), анализировать устойчивость системы, качество переходных процессов, эффективность функционирования в условиях случайных внешних воздействий, близких к реальным, т.е. оценивать ее функциональную работоспособность и выполнение технических требований к системе.

Но функциональные теоретические модели сложных технических объектов представляют собой системы нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка (обычно не ниже 30-го порядка). Однократное решение такой системы уравнений на самых современных ЭВМ требует значительной затраты машинного времени (десятки и даже сотни минут). Следует при этом учитывать, что задачи проектирования носят ярко выраженный оптимизационный характер. Целью функционального проектирования является выбор структуры на основе некоторого множества вариантов и определение оптимальных параметров технического объекта. Процедуры выбора структуры и оптимизационные алгоритмы требуют выполнения множества итераций, количество которых может достигать чисел второго и третьего порядков, причем, на каждой итерации решается исходная система дифференциальных уравнений. Поэтому решение одной проектной задачи характеризуется огромными затратами машинного времени. Этим объясняется медленное внедрение методов функционального проектирования в конструкторских организациях.

Вместе с тем без выполнения работ по функциональному проектированию невозможно обеспечить высокий технический уровень и конкурентоспособность создаваемых сложных технических объектов.

Затраты машинного времени можно значительно сократить, если на этапе оптимизации параметров использовать экспериментальную факторную математическую модель. *Экспериментальные факторные модели*, в отличие от теоретических, не используют физических законов, описывающих происходящие в объектах процессы, а представляют собой некоторые формальные зависимости выходных параметров от внутренних и внешних параметров объектов проектирования.

Экспериментальная факторная модель может быть построена на основе проведения экспериментов непосредственно на самом техническом объекте (*физические эксперименты*), либо *вычислительных экспериментов* на ЭВМ с теоретической моделью. При создании новых технических объектов физический эксперимент проводится на прототипах или аналогах, а иногда на макетных образцах. Однако физические эксперименты требуют огромных затрат материальных и временных ресурсов, поэтому их выполняют обычно в тех случаях, когда возникает необходимость поиска путей совершенствования существующих технических систем, когда сложность этих систем и условий их функционирования не позволяет надеяться на требуемую точность их математического описания теоретическими методами.

При функциональном проектировании факторные модели наиболее часто получают на основе вычислительных экспериментов на ЭВМ с теоретической моделью.

При построении экспериментальной факторной модели объект моделирования (проектируемая техническая система) представляется в виде «черного ящика», на вход которого подаются некоторые переменные \vec{X} и \vec{Z} , а на выходе можно наблюдать и регистрировать переменные \vec{Y} (рис. 7.1) [17]. В число входных переменных \vec{X} и \vec{Z} входят внутренние и внешние параметры объекта проектирования, подлежащие оптимизации, а выходными переменными «черного ящика» являются выходные параметры объекта, характеризующие его эффективность и качество процессов функционирования, выбираемые в качестве критериев оптимальности.

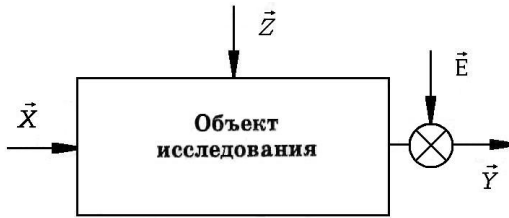


Рис. 7.1. Схема объекта исследования при построении экспериментальной факторной модели

В процессе проведения эксперимента изменение переменных \vec{X} и \vec{Z} приводит к изменениям выходных переменных \vec{Y} . Для построения факторной модели необходимо регистрировать эти изменения и осуществить необходимую их статистическую обработку для определения параметров модели.

При проведении физического эксперимента переменными \vec{X} можно управлять, изменяя их величину по заданному закону. Переменные \vec{Z} – неуправляемые, принимающие случайные значения. При этом значения переменных \vec{X} и \vec{Z} можно контролировать и регистрировать с помощью соответствующих измерительных приборов. Кроме того, на объект воздействуют некоторые переменные \vec{E} , которые нельзя наблюдать и контролировать. Переменные $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ называют *контролируемыми и управляемыми*; переменные $\vec{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ – *контролируемыми, но неуправляемыми*, а переменные $\vec{E} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_l)$ – *неконтролируемыми и неуправляемыми*.

Переменные \vec{X} и \vec{Z} называют *факторами*. Факторы \vec{X} являются управляемыми и изменяются как *детерминированные переменные*, а факторы \vec{Z} неуправляемые, изменяемые во времени случайным образом, т.е. \vec{Z} представляют собой *случайные процессы*. Пространство контролируемых переменных – факторов \vec{X} и \vec{Z} – образует *факторное пространство*.

Выходная переменная \vec{Y} представляет собой вектор зависимых переменных моделируемого объекта. Ее называют *откликом*, а

зависимость \bar{Y} от факторов \bar{X} и \bar{Z} – *функцией отклика*. Геометрическое представление функции отклика называют *поверхностью отклика*.

Переменная \bar{E} действует в процессе эксперимента бесконтрольно. Если предположить, что факторы \bar{X} и \bar{Z} стабилизированы во времени, и сохраняют постоянные значения, то под влиянием переменных \bar{E} функция отклика \bar{Y} может меняться как систематическим, так и случайным образом. В первом случае говорят о *систематической помехе*, а во втором – о *случайной помехе*. При этом полагают, что случайная помеха обладает вероятностными свойствами, не изменяемыми во времени.

Возникновение помех обусловлено ошибками методик проведения физических экспериментов, ошибками измерительных приборов, неконтролируемыми изменениями параметров и характеристик объекта и внешней среды, включая воздействия тех переменных, которые в принципе могли бы контролироваться экспериментатором, но не включены им в число исследуемых факторов (вследствие трудностей их измерения, по ошибке или незнанию). Помехи могут быть также обусловлены неточностью физического или математического моделирования объектов.

В вычислительных экспериментах объектом исследования является теоретическая математическая модель, на основе которой необходимо получить экспериментальную факторную модель. Для ее получения необходимо определить структуру и численные значения параметров модели.

Под *структурой модели* понимается вид математических соотношений между факторами \bar{X} , \bar{Z} и откликом \bar{Y} . *Параметры* представляют собой коэффициенты уравнений факторной модели. Структуру модели обычно выбирают на основе априорной информации об объекте с учетом назначения и последующего использования модели. Задача определения параметров модели полностью формализована. Она решается методами *регрессионного анализа*. *Экспериментальные факторные модели* называют также *регрессионными моделями*.

Регрессионную модель можно представить выражением

$$\bar{Y} = \bar{\varphi}(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$$

где \vec{b} – вектор параметров факторной модели.

Вид вектор-функции $\vec{\phi}$ определяется выбранной структурой модели и при выполнении регрессионного анализа считается заданным, а параметры \vec{b} подлежат определению на основе результатов эксперимента, проводимого в условиях действия помехи \vec{E} , представляемой в виде аддитивной составляющей функции отклика \vec{Y} (рис. 7.1).

Эксперимент – это система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях.

Опыт – воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов. Опыт – отдельная элементарная часть эксперимента.

Различают эксперименты пассивные и активные [17].

Пассивным называется такой эксперимент, когда значения факторов управлять нельзя, и они принимают случайные значения. Это характерно для многих технических объектов при проведении на них физических экспериментов. В таком эксперименте существуют только факторы \vec{Z} . В процессе эксперимента в определенные моменты времени измеряются значения факторов \vec{Z} и функций откликов \vec{Y} . После проведения N опытов полученная информация обрабатывается статистическими методами, позволяющими определить параметры факторной модели. Такой подход к построению математической модели лежит в основе *метода статистических испытаний (Монте-Карло)*.

Активным называется такой эксперимент, когда значениями факторов задаются и поддерживают их неизменными на заданных уровнях в каждом опыте в соответствии с планом эксперимента. Следовательно, в этом случае существуют только управляемые факторы \vec{X} . Однако в связи с тем, что в активном эксперименте также действует аддитивная помеха \vec{E} , реализации функций отклика \vec{Y} представляют собой случайные величины, несмотря на то, что варьируемые факторы \vec{X} детерминированы. Поэтому здесь так же, как и в пассивном эксперименте, построение экспериментальной факторной модели требует статистической обработки получаемых результатов опытов.

Основные особенности экспериментальных факторных моделей следующие: они статистические; представляют собой сравнительно простые функциональные зависимости между оценками математических ожиданий выходных параметров объекта от его внутренних и внешних параметров; дают адекватное описание установленных зависимостей лишь в области факторного пространства, в которой реализован эксперимент. Статистическая регрессионная модель описывает поведение объекта в среднем, характеризуя его неслучайные свойства, которые в полной мере проявляются лишь при многократном повторении опытов в неизменных условиях.

7.2. Основные принципы планирования эксперимента

Для получения адекватной математической модели необходимо обеспечить выполнение определенных условий проведения эксперимента. Модель называют *адекватной*, если в оговоренной области варьирования факторов \bar{X} полученные с помощью модели значения функций отклика \bar{Y} отличаются от истинных не более чем на заданную величину.

Методы построения экспериментальных факторных моделей рассматриваются в *теории планирования эксперимента*.

Цель планирования эксперимента – получение максимума информации о свойствах исследуемого объекта при минимуме опытов. Такой подход обусловлен высокой стоимостью экспериментов, как физических, так и вычислительных, и вместе с тем необходимостью построения адекватной модели.

Планирование осуществляют как активного, так и пассивного эксперимента. Планируемый активный эксперимент при прочих равных условиях точнее и информативнее, а иногда и дешевле пассивного. Это следует учитывать при выборе вида эксперимента. В вычислительном эксперименте, в отличие от физического, нет никаких ограничений на выбор управляемых факторов и характер их изменения. Поэтому вычислительные эксперименты обычно всегда реализуются как активные. В дальнейшем будут рассматриваться в основном вопросы, связанные с планированием активных экспериментов.

При планировании активных экспериментов используются следующие принципы [1, 17]:

- отказ от полного перебора всех возможных состояний объекта;
- постепенное усложнение структуры математической модели;
- сопоставление результатов эксперимента с величиной случайных помех;
- рандомизация опытов;
- оптимальное планирование эксперимента.

Детальное представление о свойствах поверхности отклика может быть получено лишь при условии использования густой дискретной сетки значений факторов, покрывающей все факторное пространство. В узлах этой многомерной сетки находятся точки плана, в которых проводятся опыты. В этом случае в принципе можно получить факторную модель, которая будет практически почти полностью соответствовать исходной теоретической модели. Однако в большинстве случаев при решении практических задач, для которых используется факторная модель, такого детального описания не требуется. Выбор структуры факторной модели основан на постулировании определенной степени гладкости поверхности отклика. Поэтому с целью уменьшения количества опытов принимают небольшое число точек плана, для которых осуществляется реализация эксперимента.

В отсутствие априорной информации о свойствах функции отклика нет смысла сразу строить сложную математическую модель объекта. Если проверка этой модели на адекватность не дает удовлетворительного результата, ее постепенно усложняют путем изменения структуры (например, повышая степень полинома, принятого в качестве факторной модели, или вводя в модель дополнительные факторы и т.п.). При этом используются результаты опытов, выполненных при построении простой модели, и проводится некоторое количество дополнительных опытов.

При большом уровне случайной помехи получается большой разброс значений функции отклика \bar{Y} в опытах, проведенных в одной и той же точке плана. В этом случае оказывается, что чем выше уровень помехи, тем с большей вероятностью простая модель окажется работоспособной. Чем меньше уровень помехи, тем точнее должна быть факторная модель.

Кроме случайной помехи при проведении эксперимента может иметь место систематическая помеха. Наличие этой помехи

практически никак не обнаруживается и результат ее воздействия на функцию не поддается контролю. Однако если путем соответствующей организации проведения опытов искусственно создать случайную ситуацию, то систематическую помеху можно перевести в разряд случайных. Такой принцип организации эксперимента называют *рандомизацией* систематически действующих помех.

Наличие помех приводит к ошибкам эксперимента. *Ошибки* подразделяют на *систематические* и *случайные*, соответственно наименованиям вызывающих их факторов – помех.

В вычислительных активных экспериментах ошибки характерны только для определяемых значений функций отклика. Если исходить из целей построения факторных моделей на основе теоретических моделей, полагая, что теоретические модели дают точное описание физических свойств технического объекта, а регрессионная модель является ее аппроксимацией, то значения функций отклика будут содержать только случайную ошибку. В этом случае необходимости в рандомизации опытов не возникает.

Рандомизацию опытов осуществляют только в физических экспериментах. Следует отметить, что в этих экспериментах систематическую ошибку может порождать наряду с отмеченными в предыдущем параграфе факторами также неточное задание значений управляемых факторов, обусловленное некачественной калибровкой приборов для их измерения (инструментальная ошибка), конструктивными или технологическими факторами.

К факторам в активном эксперименте предъявляются определенные требования. Они должны быть:

- 1) *управляемыми* (установка заданных значений и поддержание постоянными в процессе опыта);
- 2) *совместными* (их взаимное влияние не должно нарушать процесс функционирования объекта);
- 3) *независимыми* (уровень любого фактора должен устанавливаться независимо от уровней остальных);
- 4) *однозначными* (одни факторы не должны быть функцией других);
- 5) *непосредственно влияющими на выходные параметры*.

В вычислительном эксперименте реализация трех первых требований не создает никаких затруднений, а в физическом эксперименте могут возникнуть сложности и даже невозможность их

осуществления, что приведет к необходимости замены активного эксперимента пассивным.

Функции отклика должны быть:

- 1) численно измеряемыми;
- 2) иметь четкий физический смысл;
- 3) однозначными (характеризовать только одно свойство объекта);
- 4) информативными (полностью характеризовать определенное свойство объекта);
- 5) статистически эффективными (измеряться с достаточной точностью с целью сокращения дублирования опытов).

7.3. План эксперимента

При проведении активного эксперимента задается определенный план варьирования факторов, т.е. эксперимент заранее планируется [17].

План эксперимента – совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов.

Планирование эксперимента – выбор плана эксперимента, удовлетворяющего заданным требованиям.

Точка плана – упорядоченная совокупность численных значений факторов, соответствующая условиям проведения опыта, т.е. точка факторного пространства, в которой проводится эксперимент. Точке плана с номером i соответствует вектор-строка

$$\vec{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}).$$

Общая совокупность таких векторов $\vec{X}_i, i = \overline{1, L}$, образует план эксперимента, а совокупность различающихся векторов, число которых обозначим N – *спектр плана*.

В активном эксперименте факторы могут принимать только фиксированные значения. Фиксированное значение фактора называют *уровнем фактора*. Количество принимаемых уровней факторов зависит от выбранной структуры факторной модели и принятого плана эксперимента. Минимальный $X_{j \min}$ и максимальный $X_{j \max}, j = \overline{1, n}$ (n – число факторов), уровни всех факторов выделяют в факторном пространстве некоторый гиперпараллелепипед, представляющий

собой *область планирования*. В области планирования находятся все возможные значения факторов, используемые в эксперименте.

Вектор $\bar{X}^0 = (X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0)$ задает точку центра области планирования. Координаты этой точки X_j^0 обычно выбирают из соотношения

$$X_j^0 = (X_{j \max} + X_{j \min}) / 2. \quad (7.1)$$

Точку \bar{X}^0 называют *центром эксперимента*. Она определяет основной уровень факторов $X_j^0, j = \overline{1, n}$. Центр эксперимента стремятся выбрать как можно ближе к точке, которая соответствует искомым оптимальным значениям факторов. Для этого используется априорная информация об объекте.

Интервалом (или *шагом*) *варьирования фактора* X_j называют величину, вычисляемую по формуле

$$\Delta X_j = (X_{j \max} + X_{j \min}) / 2, j = \overline{1, n}. \quad (7.2)$$

Факторы нормируют, а их уровни кодируют. В кодированном виде верхний уровень обозначают +1, нижний -1, а основной 0. Нормирование факторов осуществляют на основе соотношения

$$x_j = (X_j - X_j^0) / \Delta X_j, j = \overline{1, n}. \quad (7.3)$$

Для переменных x_j начало координат совмещено с центром эксперимента, а в качестве единиц измерения используются интервалы варьирования факторов. Геометрическое представление области планирования при двух факторах показано на рис. 7.2.

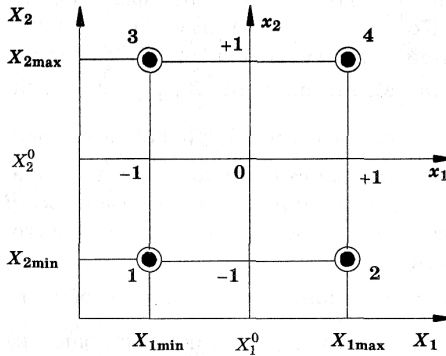


Рис. 7.2. Геометрическое представление области планирования при двух факторах: X_1 и X_2

Центр эксперимента находится в точке 0 с координатами X_1^0 , X_2^0 . Точки 1, 2, 3, 4 являются точками плана эксперимента. Например, значения факторов X_1 и X_2 в точке 1 равны соответственно $X_{1\min}$ и $X_{2\min}$, а нормированные их значения $x_{1\min} = -1$, $x_{2\min} = -1$.

В дальнейшем будем предполагать, что в планах активных экспериментов факторы нормированы.

План эксперимента удобно представлять в матричной форме. План эксперимента задается либо матрицей плана, либо матрицей спектра плана в совокупности с матрицей дублирования.

Матрица плана представляет собой прямоугольную таблицу, содержащую информацию о количестве и условиях проведения опытов. Строки матрицы плана соответствуют опытам, а столбцы – факторам. Размерность матрицы плана $L \times n$, где L – число опытов, n – число факторов. При проведении повторных (дублирующих) опытов в одних и тех же точках плана матрица плана содержит ряд совпадающих строк.

Матрица спектра плана – это матрица, в которую входят только различающиеся между собой строки матрицы плана. Размерность матрицы спектра плана $N \times n$, где N – число точек плана, различающихся между собой хотя бы одной координатой X_{ij} , $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, n}$.

Матрица спектра плана имеет вид

$$X = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \dots \\ \bar{X}_i \\ \dots \\ \bar{X}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{N1} & X_{N2} & \dots & X_{Nj} & \dots & X_{Nn} \end{bmatrix}, \quad (7.4)$$

где \bar{X}_i – вектор, определяющий нормированные значения координат точки плана в i -м опыте; X_{ij} – нормированное значение j -го фактора в i -м опыте.

Матрица дублирования – квадратная диагональная матрица m , диагональные элементы которой равны числам параллельных опытов в соответствующих точках спектра плана:

$$m = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & m_N \end{bmatrix}. \quad (7.5)$$

Опыты при выполнении эксперимента проводятся в последовательности, предусмотренной матрицей плана. Эта матрица составляется лишь при необходимости рандомизации опытов, когда в результатах эксперимента можно ожидать наличие систематических ошибок. Для выбора случайной последовательности опытов используется таблица равномерно распределенных случайных чисел. Первое число таблицы выбирают произвольно, желательно случайным образом, а затем, начиная с этого числа, выписывают L чисел таблицы, где L – число опытов (с учетом их дублирования). При этом числа, большие L , а также уже выписанные, отбрасываются.

В вычислительных экспериментах опыты проводят в соответствии с матрицей спектра плана, так как предполагается отсутствие систематических ошибок и поэтому нет необходимости в рандомизации опытов.

7.4. Регрессионный анализ

Регрессионный анализ проводится с целью получения по экспериментальным данным регрессионных моделей, представляющих собой экспериментальные факторные модели. Задачей регрессионного анализа является определение параметров экспериментальных факторных моделей объектов проектирования или исследования, т.е. определение коэффициентов уравнений моделей при выбранной их структуре.

Регрессионный анализ включает три основных этапа [15]:

- 1) статистический анализ результатов эксперимента;
- 2) получение коэффициентов регрессионной модели;
- 3) оценку адекватности и работоспособности полученной экспериментальной факторной модели технической системы.

Поскольку параметры фактических моделей \vec{b} определяют по результатам ограниченного количества опытов, то получаемые их значения являются оценками истинных коэффициентов регрессии $\vec{\beta}$.

Под структурой экспериментальной факторной математической модели понимается вид математических соотношений между факторами \vec{X} , \vec{Z} и откликом \vec{Y} . В качестве факторов принимают внутренние и внешние параметры технической системы, подлежащие оптимизации в процессе ее проектирования. Внутренние параметры системы – это параметры ее элементов, внешние – это параметры внешней среды, в условиях воздействий которой осуществляется функционирование системы. Функциями отклика \vec{Y} являются выходные параметры технической системы, характеризующие ее эффективность и качество процессов функционирования. Выходные параметры системы принимаются в качестве критериев оптимальности.

Как уже отмечалось, структура факторной модели выбирается на основе априорной информации, используя принцип постепенного ее усложнения. Параметры факторной математической модели определяются методами регрессионного анализа. При определении параметров этими методами нет необходимости различать виды факторов, т.е. подразделять факторы на управляемые \vec{X} и неуправляемые \vec{Z} . Поэтому в дальнейшем все они будут обозначаться буквой \vec{X} . Тогда факторную модель можно представить векторным уравнением регрессии вида

$$\vec{Y} = \vec{\varphi}(\vec{X}, \vec{b}). \quad (7.6)$$

Определение параметров \vec{b} этой модели будем рассматривать на примере одного уравнения $Y = \varphi(\vec{X}, \vec{b})$. Для определения параметров используются результаты эксперимента. Результаты эксперимента можно представить функцией вида

$$Y = \varphi(\vec{X}) + \varepsilon, \quad (7.7)$$

где ε – аддитивная помеха случайного характера с нормальным законом распределения.

Так как каждый опыт проводится при определенном сочетании уровней факторов \vec{X} , то функцию $\varphi(\vec{X})$ представим выражением:

$$\varphi(\vec{X}) = \sum_{j=0}^d \beta_j f_j(\vec{X}), \quad (7.8)$$

где β_j – j -й элемент вектора искомых коэффициентов уравнения регрессии: $\vec{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_d)^T$; $f_j(\vec{X})$ – j -я базисная функция – элемент вектора базисных функций $\vec{f}(\vec{X}) = [f_0(\vec{X}), f_1(\vec{X}), \dots, f_d(\vec{X})]^T$.

В качестве базисных функций используют переменные простейших полиномов, системы ортогональных полиномов (Эрмита, Лежандра, Лаггера и др.), тригонометрические функции. Наиболее часто пользуются простейшими полиномами первой и второй степеней. Например, полином первой степени, описывающий функцию отклика у при двух факторах x_1 и x_2 , может иметь вид

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (7.9)$$

или

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2, \quad (7.10)$$

а полином второй степени

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2. \quad (7.11)$$

Базисные функции в случае использования последнего выражения имеют вид: $f_0(\vec{X})=1$, $f_1(\vec{X})=x_1$; $f_2(\vec{X})=x_2$; $f_3(\vec{X})=x_1x_2$; $f_4(\vec{X})=x_1^2$; $f_5(\vec{X})=x_2^2$.

Если уравнение регрессии имеет вид выражений (7.9), (7.10), его называют уравнением *линейной регрессии* (линейной регрессией или регрессией первого порядка), а если содержит факторы во второй и более высокой степени – *нелинейной регрессией* (регрессией соответствующего порядка).

Линейная регрессия может представлять как линейную математическую модель, так и нелинейную, в зависимости от того, содержит ли она *линейные эффекты* (как в выражении (7.9)), или наряду с ними также *эффекты взаимодействия* (как в выражении (7.10)). Линейным называют эффект, характеризующий линейную зависимость выходного параметра y от соответствующего фактора x_i . Эффектом взаимодействия называют эффект, характеризующий совместное влияние нескольких факторов на y (например, в выражении (7.10) x_1x_2). Эффекты взаимодействия двух факторов называют парным взаимодействием, трех факторов – тройным взаимодействием и т.д.

Как всякий статистический метод, регрессионный анализ применим при определенных предположениях (постулатах).

1. Аддитивная помеха ε – случайная нормально распределенная величина с параметрами $m_\varepsilon = 0$ и $\sigma_\varepsilon^2 = \text{const}$. В этом случае функция отклика Y также случайная величина с нормальным законом распределения. Гипотезу о нормальном распределении Y можно проверить по критерию Пирсона.

2. Постоянство дисперсии помехи означает, что интенсивность ошибки определения Y не меняется при изменении уровня факторов в процессе эксперимента. Выполнение этого постулата проверяется по критерию однородности дисперсии в разных точках спектра плана.

3. Значения факторов в активном эксперименте – неслучайные величины. Это означает, что установление каждого фактора на заданном уровне и удерживание его на этом уровне во время опыта точнее, чем ошибка воспроизводимости. В вычислительном эксперименте это выполняется однозначно, а в физическом вклад, вносимый ошибками измерения факторов \vec{X} , должен быть пренебрежимо малым в сравнении с действием других

неконтролируемых факторов, образующих ошибку ε определения функции Y .

4. Значения помехи ε в различных точках опыта некоррелированы. Для обеспечения этого требования используется рандомизация опытов.

В пассивном эксперименте условие некоррелированности помехи обеспечиваются путем соответствующего выбора временного интервала съема информации об условиях и результатах опытов.

5. Векторы-столбцы базисных функций должны быть линейно независимыми. Выполнение этого требования необходимо для получения отдельных оценок \vec{b} всех коэффициентов регрессии $\vec{\beta}$. В активном эксперименте оно обеспечивается соответствующим выбором спектра плана эксперимента. При этом число опытов N (без учета дублирования) должно быть не меньше, чем число оцениваемых коэффициентов N_B , т.е. $N \geq N_B$.

В пассивном эксперименте линейная зависимость между столбцами практически исключается, так как факторы неуправляемы и принимают случайные значения в разных опытах, но может наблюдаться сильная коррелированность столбцов, что повлечет за собой большие ошибки вычисления коэффициентов регрессии. Для выявления коррелированности столбцов проводят корреляционный анализ результатов пассивного эксперимента.

7.5. Оценка параметров регрессионной модели

Исходными данными для получения оценок параметров регрессионной модели технической системы (т.е. оценок \vec{b} искомых коэффициентов регрессии $\vec{\beta}$) является информация о значениях управляемых факторов \vec{X} (или неуправляемых – при проведении пассивного эксперимента) и функции отклика Y . Эту информацию можно представить в виде матрицы X значений факторов во всех N опытах, предусмотренных спектром плана эксперимента, и вектора-столбца \vec{Y} полученных в этих опытах значений функции отклика Y :

$$X = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \dots \\ \bar{X}_i \\ \dots \\ \bar{X}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{N1} & X_{N2} & \dots & X_{Nj} & \dots & X_{Nn} \end{bmatrix}, \quad (7.12)$$

$$\bar{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_N)^T, \quad (7.13)$$

где $\bar{X}_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$ – вектор-строка значений факторов в i -м опыте; X_{ij} – значение j -го фактора в i -м опыте; n – количество факторов; N – количество опытов; y_i – значение функции отклика Y в i -м опыте (если проводились параллельные опыты, т.е. осуществлялось дублирование опытов, то вместо y_i используются оценки их математических ожиданий, т.е. выборочные средние \bar{y}_i).

Значения базисных функций во всех опытах представляют собой матрицу F , называемую *матрицей базисных функций*

$$F = \begin{bmatrix} \bar{f}_1(\bar{X}_1) \\ \bar{f}_2(\bar{X}_2) \\ \dots \\ \bar{f}_i(\bar{X}_i) \\ \dots \\ \bar{f}_N(\bar{X}_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{10} & f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1k} & \dots & f_{1d} \\ f_{20} & f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2k} & \dots & f_{2d} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{i0} & f_{i1} & f_{i2} & \dots & f_{ik} & \dots & f_{id} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{N0} & f_{N1} & f_{N2} & \dots & f_{Nk} & \dots & f_{Nd} \end{bmatrix}, \quad (7.14)$$

где f_{ik} – значение k -й базисной функции в i -м опыте;

$\bar{f}_i(\bar{X}_i) = (f_{i0}, f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{ik}, \dots, f_{id})$ – вектор-строка значений базисных функций в i -м опыте.

Используя информацию об X , \bar{Y} и F , необходимо найти оценки коэффициентов регрессии, представляемые вектором-столбцом

$$\bar{b}^T = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_d), \quad (7.15)$$

где b_k – значение оценки коэффициента регрессии при базисной функции $f_k(\vec{X})$.

Так как функция отклика Y – случайная величина, поскольку на ее значения в различных опытах оказывает влияние случайная помеха ε , то оценки коэффициентов регрессии будут случайными величинами.

Уравнение регрессии устанавливает зависимость между оценкой математического ожидания функции отклика \bar{y} и факторами $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Общий вид этой зависимости

$$\bar{y} = \sum_{k=0}^d b_k f_k(\vec{X}). \quad (7.16)$$

В связи с наличием помехи значение функции отклика в i -м опыте y_i будет отличаться от \bar{y}_i . Для определения y_i можно составить выражение:

$$y_i = b_0 f_{i0} + b_1 f_{i1} + \dots + b_k f_{ik} + \dots + b_d f_{id} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (7.17)$$

где ε_i – невязка уравнения регрессии в i -м опыте.

Невязка характеризует отклонение значений функции отклика в опытах от получаемых с помощью регрессионной модели (7.16). Она возникает по двум причинам: из-за ошибки эксперимента и из-за непригодности (приближенности) выбранной структуры факторной математической модели. Причем эти причины смешаны и нельзя сказать, какая из них преобладает.

Если постулировать, что модель пригодна, то невязка будет порождаться только ошибкой опыта. Тогда для определения коэффициентов уравнения (7.16) невязку надо минимизировать. Для этого в регрессионном анализе используется *метод наименьших квадратов* (МНК). Составляется функция, представляющая собой сумму квадратов невязок, и осуществляется ее минимизация:

$$E = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \rightarrow \min. \quad (7.18)$$

Подставим значение ε_i из выражения (7.17):

$$E = \sum_{i=1}^N [y_i - (b_0 f_{i0} + b_1 f_{i1} + \dots + b_k f_{ik} + \dots + b_d f_{id})]^2 \rightarrow \min. \quad (7.19)$$

В выражении (7.19) коэффициенты b_k рассматриваются как неизвестные переменные, которые наилучшим образом соответствуют полученным результатам эксперимента. Значения этих коэффициентов, при которых достигается минимум функции E , принимаются в качестве оценок коэффициентов регрессии. Минимум функции E имеет место при равенстве нулю частных производных этой функции по переменным b_0, b_1, \dots, b_d :

$$\frac{\partial E}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^N [y_i - (b_0 f_{i0} + b_1 f_{i1} + \dots + b_d f_{id})] f_{i0} = 0;$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_1} = -2 \sum_{i=1}^N [y_i - (b_0 f_{i0} + b_1 f_{i1} + \dots + b_d f_{id})] f_{i1} = 0;$$

.....

$$\frac{\partial E}{\partial b_d} = -2 \sum_{i=1}^N [y_i - (b_0 f_{i0} + b_1 f_{i1} + \dots + b_d f_{id})] f_{id} = 0.$$

После преобразований получим систему линейных неоднородных алгебраических уравнений относительно искомым оценок коэффициентов регрессии b_0, b_1, \dots, b_d :

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 \sum_{i=1}^N f_{i0}^2 + b_1 \sum_{i=1}^N f_{i1} f_{i0} + \dots + b_d \sum_{i=1}^N f_{id} f_{i0} = \sum_{i=1}^N y_i f_{i0}; \\ b_0 \sum_{i=1}^N f_{i0} f_{i1} + b_1 \sum_{i=1}^N f_{i1}^2 + \dots + b_d \sum_{i=1}^N f_{id} f_{i1} = \sum_{i=1}^N y_i f_{i1}; \\ \dots \\ b_0 \sum_{i=1}^N f_{i0} f_{id} + b_1 \sum_{i=1}^N f_{i1} f_{id} + \dots + b_d \sum_{i=1}^N f_{id}^2 = \sum_{i=1}^N y_i f_{id}. \end{array} \right. \quad (7.20)$$

Очевидно, что коэффициенты при неизвестных переменных \vec{b} этой системы уравнений являются элементами матрицы Φ , определяемой из выражения

$$\Phi = F^T F, \quad (7.21)$$

в котором F представляет собой матрицу базисных функций (7.14). Значения элементов матрицы F известны из проведенного эксперимента. Следовательно, элементы матрицы Φ оказываются известными коэффициентами системы уравнений (7.20). Выпишем матрицу Φ

$$\Phi = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N f_{i0}^2 & \sum_{i=1}^N f_{i1} f_{i0} & \dots & \sum_{i=1}^N f_{id} f_{i0} \\ \sum_{i=1}^N f_{i0} f_{i1} & \sum_{i=1}^N f_{i1}^2 & \dots & \sum_{i=1}^N f_{id} f_{i1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^N f_{i0} f_{id} & \sum_{i=1}^N f_{i1} f_{id} & \dots & \sum_{i=1}^N f_{id}^2 \end{bmatrix}. \quad (7.22)$$

Матрицу Φ называют *информационной матрицей Фишера*. Она содержит $(d + 1)$ строк и $(d + 1)$ столбцов, причем элемент j -й строки k -го столбца представляет собой сумму $\sum_{i=1}^N f_{ij} f_{ik}$. Матрица Φ симметрична относительно главной диагонали, что упрощает составление системы алгебраических уравнений (7.20) для регрессионной модели.

Систему уравнений (7.20) можно также записать в матричной форме

$$\Phi \vec{b} = F^T \vec{Y}. \quad (7.23)$$

Система уравнений (7.20) имеет единственное решение, если определитель матрицы Φ не равен нулю. В этом случае матрица Φ будет не вырожденной. Выполнение пятой предпосылки регрессионного анализа, изложенной в предыдущем параграфе, исключает возникновение вырожденности.

Решение системы уравнений (7.20) обычно осуществляют методом Гаусса. При небольшом числе определяемых коэффициентов b_k можно использовать правило Крамера.

Полученные методом наименьших квадратов оценки b_0, b_1, \dots, b_d действительных значений коэффициентов регрессии $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_d$ обладают следующими свойствами:

- 1) математические ожидания оценок $M[b_j] = \beta_j$, $j = \overline{0, d}$, т.е. оценки b_j несмещенные;
- 2) дисперсии оценок коэффициентов регрессии минимальны и равны

$$\sigma_{b_j}^2 = M\{(b_j - M[b_j])^2\} = M\{(b_j - \beta_j)^2\} = \sigma_\varepsilon^2 C_{jj}, \quad (7.24)$$

а корреляционный момент

$$\begin{aligned} \mu_{11}(b_j, b_k) &= M\{(b_j - M[b_j])(b_k - M[b_k])\} = \\ &= M\{(b_j - \beta_j)(b_k - \beta_k)\} = \sigma_\varepsilon^2 C_{jk}, \end{aligned} \quad (7.25)$$

где C_{jj}, C_{jk} – элементы матрицы Φ^{-1} , обратной к информационной; σ_ε^2 – дисперсия случайной помехи;

3) оценки b_0, b_1, \dots, b_d подчиняются совместному $(d + 1)$ -мерному нормальному распределению.

Глава 8. ПЛАНЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ СВОЙСТВА

Для проведения активных экспериментов разработано множество различных планов. Планы учитывают как особенности структуры регрессионных моделей, так и требования их эффективности с позиций повышения точности получаемых моделей и снижения затрат на проведение эксперимента.

При построении линейных моделей или нелинейных, содержащих только взаимодействия факторов, но без квадратов этих факторов (регрессий первого порядка), каждый фактор можно варьировать только на двух уровнях. Для получения таких моделей используют *планы первого порядка*.

Известно несколько разновидностей планов первого порядка. Эти планы различаются в зависимости от структуры регрессионной модели [12]. Они предназначены для планирования следующих видов экспериментов:

- *однофакторного (классического) эксперимента;*
- *полного факторного эксперимента;*
- *дробного факторного эксперимента.*

Если в регрессионную модель входят факторы в квадрате или с более высокими степенями, то необходимо не менее трех уровней варьирования факторов. При построении квадратичных моделей применяют *планы второго порядка*. Эти планы часто используют в качестве своего ядра какой-либо план первого порядка, который дополняется так называемыми *звездными точками*.

Планы различают по степени насыщенности и композиционности. *План называют насыщенным*, если общее число точек плана равно числу неизвестных параметров регрессионной модели. Такой план позволяет получить экспериментальную факторную модель при минимальных затратах, так как обеспечивает минимум числа опытов.

План называется композиционным, если в его спектр в качестве составной части входят точки спектра плана, который был реализован при построении более простой модели. Композиционность плана позволяет реализовать принцип постепенного усложнения модели при минимальных затратах, так как при этом используются результаты опытов, выполненных для получения простой модели. Многие планы второго порядка являются композиционными.

Важным свойством плана является его *ортогональность*. У ортогональных планов информационная матрица Фишера F диагональная, а столбцы матрицы базисных функций F попарно

ортогональны. Для ортогонального плана при заданных значениях диагональных элементов матрицы Φ дисперсии $\sigma_{b_k}^2$ оценок коэффициентов регрессии b_k минимальны. Причем, эти оценки получаются независимыми, что существенно облегчает их вычисление и анализ.

При изменении вида плана изменяется матрица Φ , что влияет на дисперсии оценок коэффициентов регрессии. Различают D -, A - и E -оптимальные планы. Они обеспечивают различные формы эллипсоидов рассеивания оценок. D -оптимальный план минимизирует обобщенную дисперсию оценок коэффициентов регрессии и обеспечивает минимальный объем эллипсоида их рассеивания. A -оптимальный план минимизирует среднюю дисперсию всех оценок, а эллипсоид имеет наименьшую сумму квадратов длин осей. Эллипсоид рассеивания у E -оптимального плана имеет минимальную длину своей наибольшей оси.

В зависимости от возможностей предсказания отклика по уравнению регрессии различают планы *ротатабельные* и *униформные*. План называется ротатабельным, если дисперсия предсказания отклика постоянна на фиксированном расстоянии от центра эксперимента. Униформный план обеспечивает практически постоянное ее значение в некоторой области факторного пространства. Свойства ротатабельности или униформности обеспечиваются соответствующим выбором точек матрицы спектра плана. Задача выбора оптимального плана довольно сложная и в большинстве случаев не имеет аналитического решения. Поэтому поиск оптимальных планов обычно осуществляется численными методами на ЭВМ.

Рассмотрим основы построения и основные свойства планов первого порядка.

8.1. План однофакторного эксперимента

Однофакторный (классический) эксперимент предназначен для получения линейной экспериментальной факторной модели вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n. \quad (8.1)$$

Однофакторный эксперимент предусматривает поочередное варьирование каждого из факторов при фиксированных на некотором уровне значениях остальных факторов. Фактор X_i варьируют на двух уровнях $X_{iв}$ и $X_{iн}$, а все остальные при этом должны находиться в точке центра эксперимента X_j^0 , $j \neq i$. Для нормированных факторов $x_{iв} = +1$, $x_{iн} = -1$, $x_j = 0$. С учетом этого составим матрицу спектра плана однофакторного эксперимента

$$X = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 \\ +1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 \\ 0 & +1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -1 \\ 0 & 0 & \dots & +1 \end{bmatrix}. \quad (8.2)$$

Число точек плана в этом случае $N = 2n$, где n – количество факторов. Точки спектра плана располагаются в центрах граней гиперкуба. На рис. 8.1, *a* показано расположение точек для двумерного случая, а на рис. 8.1, *б* – для трехмерного.

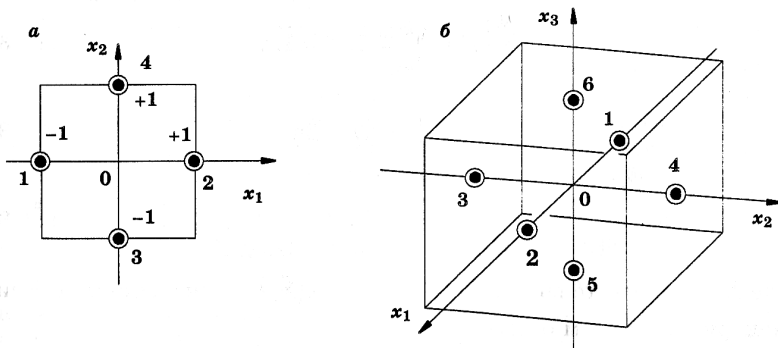


Рис. 8.1. Расположение точек спектра плана однофакторного эксперимента:
a – при двух факторах; *б* – при трех факторах

Вектор базисных функций имеет вид

$$\vec{f}(\vec{X}) = (1, x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (8.3)$$

а матрица F численных значений базисных функций отличается от матрицы спектра плана X только одним дополнительным столбцом, соответствующим базисной функции $f_0 = (\vec{X}) = 1$,

$$F = \begin{bmatrix} +1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ +1 & +1 & 0 & \dots & 0 \\ +1 & 0 & -1 & \dots & 0 \\ +1 & 0 & +1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ +1 & 0 & 0 & \dots & -1 \\ +1 & 0 & 0 & \dots & +1 \end{bmatrix}. \quad (8.4)$$

Матрица базисных функций F обладает очевидными свойствами:

1)

$$\sum_{i=1}^N f_k(\vec{X}_i) = 0, \quad k = \overline{1, n}; \quad (8.5)$$

$$\sum_{i=1}^N f_0(\vec{X}_i) = N = 2n; \quad (8.6)$$

2)

$$\sum_{i=1}^N [f_k(\vec{X}_i)]^2 = 2, \quad k = \overline{1, n}; \quad (8.7)$$

$$\sum_{i=1}^N [f_0(\vec{X}_i)]^2 = N = 2n; \quad (8.8)$$

3)

$$\sum_{i=1}^N f_j(\vec{X}_i) f_k(\vec{X}_i) = 0, \quad j \neq k, \quad j, k = \overline{0, n}; \quad (8.9)$$

где N – число точек спектра плана; $f_k(\vec{X}_i)$ – значение k -й базисной функции в i -м опыте.

Согласно выражению (8.9) векторы-столбцы всех базисных функций попарно ортогональны.

Используя свойства (8.7) – (8.9) и выражение (7.22), легко составить информационную матрицу Фишера $\Phi = F^T F$:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 2n & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2 \end{bmatrix}. \quad (8.10)$$

Так как матрица Φ диагональная, то план однофакторного эксперимента ортогональный и коэффициенты регрессии некоррелированы друг с другом. Для определения дисперсии оценок коэффициентов регрессии (8.1) вычислим обращенную матрицу Фишера

$$\Phi^{-1} = \begin{bmatrix} 1/2n & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1/2 \end{bmatrix}. \quad (8.11)$$

Искомые дисперсии оценок коэффициентов регрессии определяются произведениями дисперсии помехи σ_ε^2 на соответствующие диагональные элементы матрицы Φ^{-1} :

$$\sigma_{b_0}^2 = \sigma_\varepsilon^2 / (2n); \quad \sigma_{b_k}^2 = \sigma_\varepsilon^2 / 2, \quad k = \overline{1, n}. \quad (8.12)$$

Очевидно, что точность получаемой модели в этом случае невысокая, так как коэффициенты регрессии b_k , $k = \overline{1, n}$ (кроме коэффициента b_0), имеют высокое значение дисперсии. Поэтому однофакторный эксперимент следует признать явно неудовлетворительным для построения модели технической системы. В связи с этим в настоящее время он практически не применяется.

Следует отметить, что рассмотренный план обладает свойством ротатабельности.

8.2. План полного факторного эксперимента

Спектр плана полного факторного эксперимента (ПФЭ) содержит все возможные комбинации значений факторов на всех уровнях их изменения. Число точек N спектра плана определяется по формуле

$$N = U^n, \quad (8.13)$$

где U – число уровней варьирования факторов; n – количество факторов.

Рассмотрим особенности и свойства ПФЭ, применяемых при построении линейных регрессий вида

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^n b_j x_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=j+1}^n b_{j,k} x_j x_k + \sum_{j=1}^n \sum_{k=j+1}^n \sum_{l=k+1}^n b_{j,k,l} x_j x_k x_l + \dots + b_{1,2,\dots,n} x_1 x_2 \dots x_n. \quad (8.14)$$

Для получения линейной регрессии достаточно варьировать факторы на двух уровнях, т.е. $U = 2$. Тогда число точек спектра плана

$$N = 2^n. \quad (8.15)$$

Такой план принято обозначать ПФЭ 2^n .

Рассмотрим порядок составления матрицы спектра плана, полагая, что факторы нормированы и, следовательно, могут принимать значения только либо $+1$, либо -1 . Напомним, что столбцы матрицы X соответствуют значениям факторов x_1, x_2, \dots, x_n .

Для составления матрицы спектра плана используется следующее простое правило: в первой строке матрицы все факторы равны -1 , в первом столбце знаки единиц меняются поочередно; во втором столбце они чередуются через два; в третьем – через 4; в четвертом – через 8 и т.д. по степеням двойки. Следовательно, для каждого последующего столбца частота изменения знака в 2 раза меньше, чем для предыдущего.

Используя изложенное правило чередования знаков, составим матрицы спектров планов для случаев $n = 2$ и $n = 3$, т.е. для двух и трех факторов.

При $n = 2$ число точек плана $N = 2^2 = 4$, а матрица спектра плана имеет вид

$$X = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ +1 & -1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \end{bmatrix}, \quad (8.16)$$

при $n = 3$ $N = 2^3 = 8$, а матрица X

$$X = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 \\ -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 \\ -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix}. \quad (8.17)$$

Спектры планов можно изобразить в привычной для экспериментатора табличной форме. В табл. 8.1 приведен спектр плана ПФЭ 2^2 , а в табл. 8.2 – спектр плана ПФЭ 2^3 .

Таблица 8.1

| i | Факторы | |
|-----|---------|-------|
| | x_1 | x_2 |
| 1 | -1 | -1 |
| 2 | +1 | -1 |
| 3 | -1 | +1 |
| 4 | +1 | +1 |

Таблица 8.2

Спектры планов

| i | Факторы | | | i | Факторы | | |
|-----|---------|-------|-------|-----|---------|-------|-------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | | 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 |

В табл. 8.1, 8.2 и в последующем буквой i обозначен номер точки спектра плана.

Точки плана ПФЭ 2^n располагаются в вершинах n -мерного гиперкуба. На рис. 8.2, a показано расположение точек для двумерного случая, а на рис. 8.2, b – для трехмерного.

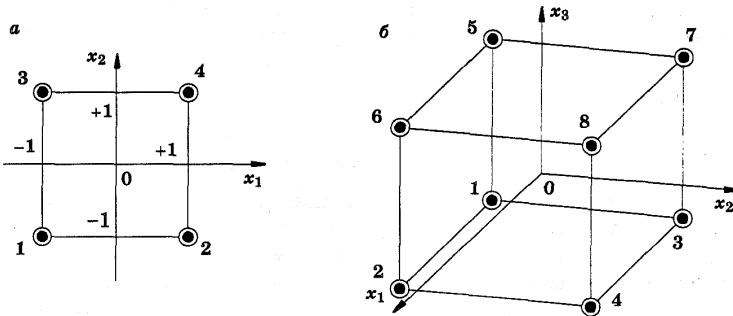


Рис. 8.2. Расположение точек спектра плана ПФЭ 2^n :
 a – при $n = 2$; b – при $n = 3$

Посредством ПФЭ можно построить как простейшую линейную модель технической системы вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n, \quad (8.18)$$

так и нелинейную.

Для модели вида (8.18) система базисных функций очевидна: $f_0(\vec{X}) = 1$; $f_1(\vec{X}) = x_1$; $f_2(\vec{X}) = x_2$; ...; $f_n(\vec{X}) = x_n$. Число базисных функций в этом случае равно $n + 1$.

Выясним, какие базисные функции могут входить в регрессионную модель, получаемую посредством ПФЭ 2^n , чтобы выполнялось требование о линейной независимости векторов-столбцов этих функций, изложенное в разделе 7.4. При выполнении этого требования получают раздельные оценки всех коэффициентов регрессии. Линейная независимость столбцов матрицы F достигается, если в ней отсутствуют полностью совпадающие или полностью противоположные (по знакам) столбцы.

В общем случае в полиномиальную модель могут входить факторы в любой степени и различные комбинации из их произведений. Так как

при нормированных факторах их значения равны +1 или -1, а в качестве показателей степеней факторов принимаются целые числа, то при четных показателях степеней вектор-столбец базисной функции состоит только из +1 и совпадает с вектором-столбцом функции $f_0(\bar{X})$, а векторы-столбцы всех базисных функций, соответствующих одним и тем же факторам x_j , возведенным в любые нечетные степени, будут совпадающими. Вместе с тем легко убедиться, что любые комбинации произведений факторов x_1, x_2, \dots, x_n могут быть в числе базисных функций.

Выпишем выражения линейных регрессий при $n = 2$ с учетом всех возможных сочетаний взаимодействия факторов

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2. \quad (8.19)$$

При $n = 3$ получаем

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3. \quad (8.20)$$

В табл. 8.3 приведены базисные функции плана ПФЭ², используемого для построения регрессионной модели (8.19), а в табл. 8.4 – плана ПФЭ³, используемого для модели (8.20). Прямоугольниками в этих таблицах обведены спектры планов.

Таблица 8.3

Базисные функции плана ПФЭ²

| i | $f_0 = 1$ | $f_1 = x_1$ | $f_2 = x_2$ | $f_3 = x_1x_2$ |
|-----|-----------|-------------|-------------|----------------|
| 1 | +1 | -1 | -1 | +1 |
| 2 | +1 | +1 | -1 | -1 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 |
| 4 | +1 | +1 | +1 | +1 |

Уравнение линейной регрессии, как это видно из (8.14) и (8.20), может содержать следующее предельное количество коэффициентов при различных видах базисных функций:

один коэффициент b_0 – свободный член уравнения регрессии;

n коэффициентов b_j – линейных членов уравнения регрессии;

C_n^2 коэффициентов $b_{j,k}$ при парных взаимодействиях факторов;

C_n^3 коэффициентов $b_{j,k,l}$ при тройных взаимодействиях факторов и

т.д.;

один коэффициент $b_{1,2,\dots,n}$ взаимодействию факторов максимального, n -го порядка.

Таблица 8.4

Базисные функции плана ПФЭ²³

| i | $f_0 = 1$ | $f_1 = x_1$ | $f_2 = x_2$ | $f_3 = x_3$ | $f_4 = x_1x_2$ | $f_5 = x_1x_3$ | $f_6 = x_2x_3$ | $f_7 = x_1x_2x_3$ |
|-----|-----------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 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 |
| 5 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 |
| 6 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 |
| 7 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 |

Выражение для определения общего числа коэффициентов регрессии имеет вид

$$N_B = 1 + n + C_n^2 + C_n^3 + \dots + C_n^n = 2^n. \quad (8.21)$$

Так как при использовании всех возможных сочетаний факторов в уравнении регрессии число определяемых коэффициентов N_B равно числу точек N спектра плана ПФЭ²ⁿ, то такой план является насыщенным.

Численные значения $f_j(\bar{X}_i)$, приведенные в таблице базисных функций, являются элементами матрицы F . Матрица F плана ПФЭ²ⁿ обладает следующими свойствами [16]:

1. *Свойством симметричности относительно центра эксперимента* – алгебраическая сумма элементов каждого столбца матрицы базисных функций, кроме столбца $f_0(\bar{X})$, равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N f_j(\vec{X}_i) = 0, \quad j = \overline{1, d}, \quad d = N_b - 1, \quad (8.22)$$

где $f_j(\vec{X}_i)$ – значение j -й базисной функции, соответствующее i -й строке матрицы F ; i – номер точки спектра плана; N – число точек спектра плана; N_b – количество базисных функций.

2. *Свойством ортогональности столбцов* – сумма построчных произведений элементов любых двух столбцов равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N f_j(\vec{X}_i) f_k(\vec{X}_i) = 0, \quad j \neq k; \quad j, k = \overline{0, d}. \quad (8.23)$$

3. *Свойством нормировки* – сумма квадратов элементов каждого столбца матрицы базисных функций равна числу точек N спектра плана:

$$\sum_{i=1}^N [f_j(\vec{X}_i)]^2 = N, \quad j = \overline{0, d}. \quad (8.24)$$

4. Для столбца базисной функции $f_0(\vec{X})$ сумма элементов также равна N :

$$\sum_{i=1}^N f_0(\vec{X}_i) = N. \quad (8.25)$$

Выражения (8.22–8.25) записаны в предположении, что дублирование опытов не производится.

Составим информационную матрицу Фишера Φ , определяемую выражением (7.22). Выражения (8.23) и (8.24) позволяют определить элементы матрицы Φ . Очевидно, что для ПФЭ 2^n матрица Φ диагональная с постоянными диагональными элементами:

$$\Phi = \begin{bmatrix} N & 0 & \dots & 0 \\ 0 & N & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & N \end{bmatrix}. \quad (8.26)$$

Следовательно, ПФЭ 2^n относится к классу *ортогональных планов*.

Так как матрица Φ диагональная, то корреляционные моменты оценок коэффициентов регрессии $\mu_{11}(b_j, b_k) = 0$ и оценки всех коэффициентов регрессии $b_j, j = \overline{1, N_b}$, некоррелированы друг с другом. Кроме того, все коэффициенты регрессии оцениваются с одинаковой точностью, так как диагональные элементы матрицы Φ одинаковы. Дисперсия оценок коэффициентов

$$\sigma_{b_j}^2 = \sigma_\varepsilon^2 / N. \quad (8.27)$$

Для линейной модели вида (8.18) план ПФЭ 2^n является *A*- и *E*-оптимальным и ротатабельным, а для модели (8.14) – *D*-оптимальным.

8.3. План дробного факторного эксперимента

Наряду с отмеченными положительными качествами полного факторного эксперимента он имеет существенный недостаток: увеличение количества факторов приводит к быстрому росту числа опытов, что обусловлено степенной зависимостью (8.13). Например, при $n = 10$ спектр плана содержит $N = 2^{10} = 1024$ опыта. Кроме того, необходимо дублирование опытов.

ПФЭ позволяет построить регрессионную модель, которая учитывает влияние на функцию отклика выбранных факторов и всех возможных сочетаний взаимодействий этих факторов. Но поскольку структура модели выбирается на основе априорной информации о физических свойствах исследуемого объекта, то весьма сложно представить себе влияние на характеристики его функционирования эффектов взаимодействий выше второго или третьего порядка. Обычно при построении многофакторной регрессионной модели ограничиваются парными или, в крайнем случае, отдельными тройными взаимодействиями факторов. В этом случае ПФЭ

оказывается избыточным, так как число точек спектра плана N значительно больше количества коэффициентов регрессии N_b . В результате возникает возможность сокращения числа опытов. Но при этом, естественно, должно соблюдаться условие возможности оценки коэффициентов регрессии по результатам опытов, которое выражается соотношением $N \geq N_b$.

Во многих случаях на начальной стадии моделирования технической системы в связи с отсутствием необходимой информации о влиянии на ее выходные параметры различных факторов (внутренних или внешних параметров) строят линейную модель вида (8.18). Например, при трех факторах выбирают модель в виде

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3. \quad (8.28)$$

В этом уравнении четыре коэффициента регрессии, а при $n = 3$ спектр плана ПФЭ, согласно выражению (8.15), содержит 8 точек, т.е. предусматривает 8 опытов в различных точках факторного пространства. Следовательно, четыре опыта оказываются избыточными и их можно было бы исключить, естественно, при условии выполнения принятых предпосылок регрессионного анализа, прежде всего ортогональности столбцов матрицы базисных функций F .

При построении математических моделей, использующих упрощенные уравнения регрессий, когда $N > N_b$, применяют *дробные факторные эксперименты* (ДФЭ). Наибольшее распространение имеют регулярные планы ДФЭ типа 2^{n-p} , т.е. ДФЭ 2^{n-p} , где n – число факторов, p – степень дробности ДФЭ. Планы ДФЭ принято называть *репликами* с указанием их степени дробности. Так, план ДФЭ 2^{n-1} называют полуреplikой ПФЭ 2^n (1/2-реплика); ДФЭ 2^{n-2} – 1/4-реплика ПФЭ 2^n ; ДФЭ 2^{n-3} – 1/8-реплика ПФЭ 2^n и т.д. Полуреплика сокращает число опытов в два раза по сравнению с ПФЭ, 1/4-реплика – в четыре раза и т.д.

При построении матрицы спектра плана ДФЭ 2^{n-p} необходимо обеспечить выполнение условий, описываемых выражениями (8.22) – (8.25), принимая во внимание, что число точек спектра этого плана определяется по формуле

$$N = 2^{n-p}. \quad (8.29)$$

Условия (8.22) – (8.25) удовлетворяются, если в матрице базисных функций F отсутствуют полностью совпадающие или полностью противоположные столбцы, что позволяет получить раздельное оценивание всех коэффициентов регрессии.

При выборе степени дробности ДФЭ должно выполняться условие

$$N \geq N_b. \quad (8.30)$$

Выбранные базисные функции для ДФЭ составляют лишь некоторую часть базисных функций соответствующего ПФЭ. Назовем эти функции *существенными переменными*, характеризующими в наибольшей мере физические свойства технического объекта.

Процедура построения спектра плана ДФЭ 2^{n-p} содержит четыре этапа.

Этап 1. Выбор структуры уравнения регрессии и определение степени дробности ДФЭ. При этом исходят из условия выполнения соотношения (8.30).

Этап 2. Выбор ведущих факторов и построение для них матрицы спектра плана, определяющего программу их изменения в ходе эксперимента.

Число k ведущих факторов принимают равным разности между количеством факторов n и степенью дробности ДФЭ:

$$k = n - p. \quad (8.31)$$

Для выбранных ведущих факторов x_1, x_2, \dots, x_k строят план ПФЭ 2^k , используя изложенное в предыдущем параграфе правило чередования знаков.

Этап 3. Построение матрицы X спектра плана ДФЭ 2^{n-p} . Часть этой матрицы составляет матрица спектра плана ПФЭ 2^k , а во вторую часть должны войти столбцы матрицы для остальных факторов $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$, количество которых равно

$$p = n - k. \quad (8.32)$$

Столбцы матрицы X , соответствующие этим факторам, определяют путем перемножения соответствующих столбцов ведущих факторов. Для этого используют генерирующие соотношения. *Генерирующим соотношением* называется алгебраическое выражение,

устанавливающее связь между одним из факторов $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ и произведением какой-либо комбинации ведущих факторов x_1, x_2, \dots, x_k .

Чтобы получаемые столбцы были ортогональными, для каждого из них задается отдельное генерирующее соотношение (количество этих соотношений равно p). Выбор генерирующих соотношений, вообще говоря, произволен. Однако в качестве генерирующих нельзя использовать те произведения ведущих факторов, которые входят в состав существенных переменных, так как в этом случае в матрице базисных функций F окажутся совпадающие столбцы: для одного из факторов $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ и одного из взаимодействий факторов из числа существенных переменных.

Генерирующее соотношение имеет вид

$$x_{k+i} = x_j x_l x_m \dots, \quad i = \overline{1, p}, \quad (8.33)$$

где x_{k+i} – фактор, не включенный в число ведущих (для него определяется столбец матрицы X спектра плана ДФЭ 2^{n-p}); x_j, x_l, x_m, \dots – ведущие факторы.

Количество ведущих факторов, входящих в генерирующее соотношение (8.33), может быть произвольным, но соотношения (8.33) для всех x_{k+i} должны быть разными.

Этап 4. Проверка пригодности полученного спектра плана.

Для этого необходимо построить матрицу базисных функций F и проверить, нет ли в ней совпадающих или полностью противоположных столбцов, т.е. выяснить, обладает ли матрица F свойством ортогональности столбцов, определяемым выражением (8.23). Если в матрице F нет совпадающих или противоположных столбцов, полученный спектр плана ДФЭ 2^{n-p} пригоден для решения поставленной задачи. В противном случае выполняются последовательно следующие процедуры до тех пор, пока не будет обеспечена ортогональность:

- выбираются иные генерирующие соотношения;
- изменяется набор ведущих факторов;
- уменьшается степень дробности плана p .

При ограниченных возможностях проведения опытов степень дробности плана сохраняют, а изменяют структуру уравнения регрессии (например, используют иные взаимодействия факторов или исключают какую-либо базисную функцию, соответствующую одному из взаимодействий высшего порядка).

Таким образом, регулярные планы $ДФЭ2^{n-p}$ обладают теми же свойствами, что и планы $ДФЭ2^n$. Матрица F удовлетворяет выражениям (8.22) – (8.25). Информационная матрица Фишера Φ диагональная и имеет вид (8.26). Дисперсию оценок коэффициентов регрессии определяют по формуле (8.27). Планы $ДФЭ2^{n-p}$ ортогональны. Для линейных моделей они ротатабельны, A - и E -оптимальны, а насыщенные планы D -оптимальны. Поскольку планы $ДФЭ$ значительно экономичнее планов $ДФЭ$, они получили широкое практическое применение. В частности, их используют для анализа чувствительности целевой функции к вариации параметров технических объектов в процессе их отсеивания и отбора для осуществления оптимизации.

Глава 9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

9.1. Статистический анализ результатов активного эксперимента

Прежде чем определять коэффициенты регрессии, необходимо выполнить статистический анализ результатов эксперимента с целью оценки их качества и пригодности для построения регрессионной модели. Статистический анализ включает оценку ошибок параллельных опытов, отсеивание грубых ошибок, проверку однородности дисперсий опытов и определение дисперсии воспроизводимости эксперимента.

Ошибки параллельных опытов. В условиях наличия случайных помех с целью уменьшения случайных погрешностей эксперимента и повышения точности получаемой регрессионной модели осуществляется дублирование опытов, т.е. проведение параллельных опытов. Каждый опыт, предусмотренный матрицей спектра плана, повторяется $m = 2 \dots 5$ раз. Рекомендуется число m принимать одинаковым для всех N точек плана. В результате проводится $L = Nm$ опытов в соответствии с матрицей плана, предусматривающей при этом рандомизацию опытов.

Повторные опыты в одной и той же точке плана при наличии помехи дают различные результаты при определении функции отклика. Разброс результатов относительно оценки математического ожидания функции отклика называют *ошибкой воспроизводимости опыта*. Эту ошибку надо оценить.

Для каждой точки плана по результатам параллельных опытов находят *выборочное среднее* \bar{y}_i , равное среднему арифметическому полученных опытных значений функции отклика

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{u=1}^m y_{iu}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (9.1)$$

где u – номер параллельного опыта; y_{iu} – значение функции отклика в u -м параллельном опыте i -й точки спектра плана.

Для оценки отклонения функции отклика от ее среднего значения \bar{y}_i вычисляется *дисперсия воспроизводимости* опыта по данным m параллельных опытов в каждой i -й точке спектра плана

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{u=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_i)^2, \quad i = \overline{1, N}. \quad (9.2)$$

При вычислении S_i^2 принимают число степеней свободы k на единицу меньше, чем число параллельных опытов, т.е. $k = m - 1$, так как одна степень свободы уже использована для вычисления \bar{y}_i . Это обеспечивает несмещенность оценки дисперсии воспроизводимости опыта S_i^2 .

Отсевивание грубых ошибок. Формула (9.1) справедлива лишь при нормальном распределении случайной величины y . При наличии грубых ошибок опыта распределение y отклоняется от нормального, положенным в основу регрессионного анализа. Поэтому грубые ошибки надо вначале исключить, а затем определять \bar{y}_i и S_i^2 . Грубые ошибки – это брак повторных опытов. Для обнаружения брака используют t -критерий Стьюдента

$$t_{iu} = (y_{iu} - \bar{y}_i^*) / S_i^*, \quad (9.3)$$

где S_i^* – среднее квадратическое отклонение.

Значения \bar{y}_i^* и S_i^* определяются по формулам (9.1) и (9.2), но без учета оцениваемого результата опыта y_{iu} .

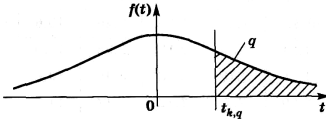
Полученное значение t -критерия сравнивается с табличным t_r при выбранном уровне значимости $q = P[t > t_{k,q}]$ и числе степеней свободы k . Уровень значимости q характеризует вероятность ошибки. Если $t > t_r$, то это соответствует браку данного опыта и результат его не может быть использован. В этом случае опыт подлежит повторному проведению.

Значения t -критерия Стьюдента в зависимости от числа степеней свободы k и уровня значимости q приведены в табл. 9.1.

Проверка однородности дисперсий. Принимается нулевая гипотеза об однородности дисперсий воспроизводимости опытов. Однородность дисперсий означает, что среди всех дисперсий S_i^2 нет таких, которые бы значительно превышали все остальные.

Таблица 9.1

***t*-распределение Стюдента. Значения $t_{k,q}$ в зависимости от числа степеней свободы k и уровня значимости $q = P[t > t_{k,q}]$**

| Число степеней свободы k |  | | | | | | | | |
|----------------------------|---|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--|
| | уровень значимости q | | | | | | | | |
| | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,005 | 0,001 | |
| 1 | 1,38 | 3,08 | 6,31 | 12,71 | 31,82 | 63,66 | 318,31 | 636,62 | |
| 2 | 1,06 | 1,89 | 2,92 | 4,30 | 6,97 | 9,93 | 22,33 | 31,60 | |
| 3 | 0,98 | 1,64 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 | 10,21 | 12,94 | |
| 4 | 0,94 | 1,53 | 2,13 | 2,78 | 3,75 | 4,60 | 7,17 | 8,61 | |
| 5 | 0,92 | 1,48 | 2,02 | 2,57 | 3,37 | 4,03 | 5,89 | 6,86 | |
| 6 | 0,91 | 1,44 | 1,94 | 2,45 | 3,14 | 3,71 | 5,21 | 5,96 | |
| 7 | 0,90 | 1,42 | 1,90 | 2,37 | 3,00 | 3,50 | 4,78 | 5,41 | |
| 8 | 0,89 | 1,40 | 1,86 | 2,31 | 2,90 | 3,36 | 4,50 | 5,04 | |
| 9 | 0,88 | 1,38 | 1,83 | 2,26 | 2,82 | 3,25 | 4,30 | 4,78 | |
| 10 | 0,88 | 1,37 | 1,81 | 2,23 | 2,76 | 3,17 | 4,14 | 4,59 | |
| 11 | 0,88 | 1,36 | 1,80 | 2,20 | 2,72 | 3,11 | 4,02 | 4,44 | |
| 12 | 0,87 | 1,36 | 1,78 | 2,18 | 2,68 | 3,06 | 3,93 | 4,32 | |
| 13 | 0,87 | 1,35 | 1,77 | 2,16 | 2,65 | 3,01 | 3,85 | 4,22 | |
| 14 | 0,87 | 1,34 | 1,76 | 2,15 | 2,62 | 2,98 | 3,79 | 4,14 | |
| 15 | 0,87 | 1,34 | 1,75 | 2,13 | 2,60 | 2,95 | 3,73 | 4,07 | |
| 16 | 0,86 | 1,34 | 1,75 | 2,12 | 2,58 | 2,92 | 3,69 | 4,02 | |
| 17 | 0,86 | 1,33 | 1,74 | 2,11 | 2,57 | 2,90 | 3,65 | 3,97 | |
| 18 | 0,86 | 1,33 | 1,73 | 2,10 | 2,55 | 2,88 | 3,61 | 3,92 | |
| 19 | 0,86 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,54 | 2,86 | 3,58 | 3,88 | |
| 20 | 0,86 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,53 | 2,85 | 3,55 | 3,85 | |
| 21 | 0,86 | 1,32 | 1,72 | 2,08 | 2,52 | 2,83 | 3,53 | 3,82 | |
| 22 | 0,86 | 1,32 | 1,72 | 2,07 | 2,51 | 2,82 | 3,50 | 3,79 | |
| 23 | 0,86 | 1,32 | 1,71 | 2,07 | 2,50 | 2,81 | 3,48 | 3,77 | |
| 24 | 0,86 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,49 | 2,80 | 3,47 | 3,75 | |
| 25 | 0,86 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,79 | 3,45 | 3,73 | |
| 30 | 0,85 | 1,31 | 1,70 | 2,04 | 2,46 | 2,75 | 3,39 | 3,65 | |
| 40 | 0,85 | 1,30 | 1,68 | 2,02 | 2,42 | 2,70 | 3,31 | 3,55 | |
| 60 | 0,85 | 1,30 | 1,67 | 2,00 | 2,39 | 2,66 | 3,23 | 3,46 | |
| 120 | 0,84 | 1,29 | 1,66 | 1,98 | 2,36 | 2,62 | 3,16 | 3,37 | |
| ∞ | 0,84 | 1,28 | 1,64 | 1,96 | 2,33 | 2,58 | 3,09 | 3,29 | |

Для проверки однородности дисперсий во всех точках спектра плана используется либо критерий Кохрена G (табл. 9.2), либо критерий Фишера F [17, прил. 5].

Таблица 9.2

G -распределение Кохрена. Значения $G_{k_1, k_2, q}$ в зависимости от числа степеней свободы k_1, k_2 при уровне значимости $q = P[G > G_{k_1, k_2, q}] = 0,05$

| | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| $k_1 \backslash k_2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | 0,9985 | 0,9750 | 0,9392 | 0,9057 | 0,8772 | 0,8534 | 0,8332 |
| 3 | 0,9669 | 0,8709 | 0,7977 | 0,7457 | 0,7071 | 0,6771 | 0,6530 |
| 4 | 0,9065 | 0,7679 | 0,6841 | 0,6287 | 0,5895 | 0,5598 | 0,5365 |
| 5 | 0,8412 | 0,6838 | 0,5981 | 0,5440 | 0,5063 | 0,4783 | 0,4564 |
| 6 | 0,7808 | 0,6161 | 0,5321 | 0,4803 | 0,4447 | 0,4184 | 0,3980 |
| 7 | 0,7271 | 0,5612 | 0,4800 | 0,4307 | 0,3974 | 0,3726 | 0,3535 |
| 8 | 0,6798 | 0,5157 | 0,4377 | 0,3910 | 0,3595 | 0,3362 | 0,3185 |
| 9 | 0,6385 | 0,4775 | 0,4027 | 0,3584 | 0,3286 | 0,3067 | 0,2901 |
| 10 | 0,6020 | 0,4450 | 0,3733 | 0,3311 | 0,3029 | 0,2823 | 0,2666 |
| 12 | 0,5410 | 0,3924 | 0,3264 | 0,2880 | 0,2624 | 0,2439 | 0,2299 |
| 15 | 0,4709 | 0,3346 | 0,2758 | 0,2419 | 0,2195 | 0,2034 | 0,1911 |
| 20 | 0,3894 | 0,2705 | 0,2205 | 0,1921 | 0,1735 | 0,1602 | 0,1501 |
| 24 | 0,3434 | 0,2354 | 0,1907 | 0,1656 | 0,1493 | 0,1374 | 0,1286 |
| 30 | 0,2929 | 0,1980 | 0,1593 | 0,1377 | 0,1237 | 0,1137 | 0,1061 |
| 40 | 0,2370 | 0,1576 | 0,1259 | 0,1082 | 0,0968 | 0,0887 | 0,0827 |
| 60 | 0,1737 | 0,1131 | 0,0895 | 0,0766 | 0,0682 | 0,0623 | 0,0583 |
| 120 | 0,0998 | 0,0632 | 0,0495 | 0,0419 | 0,0371 | 0,0337 | 0,0312 |
| $k_1 \backslash k_2$ | 8 | 9 | 10 | 16 | 36 | 144 | ∞ |
| 2 | 0,8159 | 0,8010 | 0,7880 | 0,7341 | 0,6602 | 0,5813 | 0,5000 |
| 3 | 0,6333 | 0,6167 | 0,6025 | 0,5466 | 0,4748 | 0,4031 | 0,3333 |
| 4 | 0,5175 | 0,5017 | 0,4884 | 0,4366 | 0,3720 | 0,3093 | 0,2500 |
| 5 | 0,4387 | 0,4241 | 0,4118 | 0,3645 | 0,3066 | 0,2513 | 0,2000 |
| 6 | 0,3817 | 0,3682 | 0,3568 | 0,3135 | 0,2612 | 0,2119 | 0,1667 |
| 7 | 0,3384 | 0,3259 | 0,3154 | 0,2756 | 0,2278 | 0,1833 | 0,1429 |
| 8 | 0,3043 | 0,2926 | 0,2829 | 0,2462 | 0,2022 | 0,1616 | 0,1250 |
| 9 | 0,2768 | 0,2659 | 0,2568 | 0,2226 | 0,1820 | 0,1446 | 0,1111 |
| 10 | 0,2541 | 0,2439 | 0,2353 | 0,2032 | 0,1655 | 0,1308 | 0,1000 |
| 12 | 0,2187 | 0,2098 | 0,2020 | 0,1737 | 0,1403 | 0,1100 | 0,0833 |
| 15 | 0,1815 | 0,1736 | 0,1671 | 0,1429 | 0,1144 | 0,0889 | 0,0667 |
| 20 | 0,1422 | 0,1357 | 0,1303 | 0,1108 | 0,0879 | 0,0675 | 0,0500 |
| 24 | 0,1216 | 0,1160 | 0,1113 | 0,0942 | 0,0743 | 0,0567 | 0,0417 |
| 30 | 0,1002 | 0,0958 | 0,0921 | 0,0771 | 0,0604 | 0,0457 | 0,0333 |
| 40 | 0,0780 | 0,0745 | 0,0713 | 0,0595 | 0,0462 | 0,0347 | 0,0250 |
| 60 | 0,0552 | 0,0520 | 0,0497 | 0,0411 | 0,0316 | 0,0234 | 0,0167 |
| 120 | 0,0292 | 0,0279 | 0,0266 | 0,0218 | 0,0165 | 0,0120 | 0,0083 |

Критерий Кохрена основан на распределении отношения максимальной дисперсии $S_{i\max}^2$ к сумме всех дисперсий:

$$G = S_{i\max}^2 / \sum_{i=1}^N S_i^2 . \quad (9.4)$$

Критерий Кохрена применяется, если количество сравниваемых дисперсий больше двух, а число повторных опытов во всех точках плана одинаково. Определив число степеней свободы $k_1 = m - 1$ и $k_2 = N$ (N – число точек спектра плана, m – количество повторных опытов в каждой точке плана), находят табличное значение критерия Кохрена G_T . Если $G < G_T$, гипотеза об однородности дисперсий и воспроизводимости результатов принимается. Это означает, что предпосылки 1 и 2, положенные в основу регрессионного анализа, выполняются. В этом случае каждая из дисперсий S_i^2 оценивает одну и ту же дисперсию помехи σ_ε^2 . Следовательно, полученные результаты эксперимента качественные и могут быть использованы для построения регрессионной модели. В противном случае следует увеличить число параллельных опытов или повторить эксперимент при строгом соблюдении методики и схемы проведения опытов, предприняв необходимые меры для исключения грубых ошибок.

Если выяснится, что непостоянство дисперсии помехи σ_ε^2 обусловлено внутренними свойствами объекта, то необходимы более сложные способы обработки результатов эксперимента. Можно, например, вводить некоторую функцию от y : $\ln y$, \sqrt{y} и др.

Критерий Фишера позволяет сравнивать две дисперсии и определяется из соотношения

$$F = S_{\max}^2 / S_{\min}^2 . \quad (9.5)$$

Дисперсии однородны, если $F < F_T$, где F_T – табличное значение критерия Фишера, определяемое при числах степеней свободы k_1 и k_2 и принятом уровне значимости q .

Следует отметить, что уровень значимости q по всем критериям, применяемым в процессе статистического анализа и обработки результатов эксперимента (Кохрена, Стьюдента, Фишера), должен

быть одинаков. Для технических систем рекомендуется принимать $q = 0,05$.

Дисперсия воспроизводимости эксперимента. Если дисперсии S_i^2 однородны, то их усредняют и находят *дисперсию воспроизводимости эксперимента*

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2. \quad (9.6)$$

Дисперсия S_y^2 представляет собой оценку дисперсии помехи σ_ε^2 . Так как число степеней свободы при определении дисперсии S_i^2 равно $k = m - 1$, то число степеней свободы, связанное с оценкой S_y^2 , вычисляется по формуле

$$k = N(m - 1). \quad (9.7)$$

Формула (9.6) годится, если число повторных опытов во всех точках спектра плана одинаково. Если число опытов различно, используют формулу

$$S_y^2 = \frac{S_1^2 k_1 + S_2^2 k_2 + \dots + S_N^2 k_N}{k_1 + k_2 + \dots + k_N} = \left(\sum_{i=1}^N S_i^2 k_i \right) / \left(\sum_{i=1}^N k_i \right), \quad (9.8)$$

где k_i – число степеней свободы в i -й точке спектра плана; $k_i = m_i - 1$; m_i – число параллельных опытов в этой точке.

9.2. Определение коэффициентов регрессионной модели и проверка их значимости

Параметрами регрессионной модели являются коэффициенты регрессии b_j , $j = \overline{0, N_b - 1}$, где N_b – количество базисных функций. Значения коэффициентов регрессии можно получить, решив систему алгебраических уравнений (7.20). В этих уравнениях величина индекса d в обозначении базисных функций f_{id} и коэффициента регрессии b_d равна $d = N_b - 1$. Так как информационная матрица Фишера Φ для

ПФЭ иДФЭ диагональная (8.26) и все диагональные элементы ее одинаковы и равны N , то выражение для определения всех коэффициентов уравнения регрессии одинаково и имеет простой вид:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_j(\bar{X}_i) \bar{y}_i, \quad (9.9)$$

где N – число точек спектра плана; $f_j = (\bar{X}_i)$ – значение j -й базисной функции в i -й точке спектра плана; \bar{y}_i – выборочное среднее функции отклика в той же точке, определяемое по формуле (9.1).

Значения базисных функций $f_j = (\bar{X}_i)$ для отдельных факторов равны X_{ij} , а для взаимодействия факторов – $X_{ik}X_{il}X_{im}...$. С учетом этого на основе выражения (9.9) можно записать следующие формулы для вычисления значений коэффициентов уравнения регрессии:

– для коэффициентов при факторах x_j , включая также свободный член уравнения,

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ij} \bar{y}_i, \quad j = \overline{0, n}; \quad (9.10)$$

– для коэффициентов при взаимодействиях факторов

$$b_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ik} X_{il} X_{im} \dots \bar{y}_i, \quad g = \overline{n+1, d}; \quad (9.11)$$

$$k, l, m = \overline{1, n}; k \neq l \neq m,$$

где n – количество факторов.

Формулы (9.10) и (9.11) применяются для планов первого порядка. Для плана ПФЭ $N = 2^n$, а дляДФЭ $N = 2^{n-p}$. При определении коэффициента b_0 (свободного члена уравнения регрессии) $X_{i0} = 1$, $i = \overline{1, N}$.

Поскольку полученные значения коэффициентов регрессии b_j , $j = \overline{0, N_a - 1}$, – случайные числа, в связи с действием случайной помехи в процессе эксперимента, то они являются оценками истинных

значений коэффициентов регрессии β_j . Погрешность определения b_j оценивают дисперсией $S_{b_j}^2$.

Дисперсии $S_{b_j}^2$ оценок всех коэффициентов регрессии одинаковы. Величина дисперсии $S_{b_j}^2$ зависит только от ошибки воспроизводимости эксперимента S_y^2 и числа опытов:

$$S_{b_j}^2 = S_y^2 / (Nm), \quad (9.12)$$

где m – число повторных опытов (значение m должно быть одинаковым для всех точек N спектра плана).

После определения коэффициентов регрессии b_j проверяют их значимость. Принимается нулевая гипотеза о незначимости полученных коэффициентов и отсутствии влияния соответствующих им базисных функций на функцию отклика y . Проверка гипотезы осуществляется с использованием t -критерия Стьюдента, значение которого находят из соотношения

$$t_j = |b_j| / S_{b_j}, \quad j = \overline{0, N_b - 1}, \quad (9.13)$$

где S_{b_j} – среднее квадратическое отклонение погрешности оценки b_j ; N_b – общее число коэффициентов уравнения регрессии, равное количеству используемых базисных функций для построения регрессии.

Полученное значение t_j для каждого коэффициента регрессии b_j сравнивают с табличным t_τ , определяемым при принятом уровне значимости q и числе степеней свободы $k = N(m - 1)$, с которым определялась дисперсия воспроизводимости S_y^2 . Если $t_j < t_\tau$, нулевая гипотеза о незначимости коэффициента b_j принимается и член уравнения регрессии, включающий этот коэффициент, исключается из математической модели. Если же $t_j > t_\tau$, полагают, что данный коэффициент значимо (неслучайно) отличается от нуля и его следует сохранить в регрессионной модели. В этом случае значение коэффициента b_j больше ошибки опыта, которую можно оценить

величиной доверительного интервала ε_{b_j} . Доверительный интервал находят по формуле

$$\varepsilon_{b_j} = \pm t_{\tau} S_{b_j}. \quad (9.14)$$

Следует, однако, отметить, что дисперсия воспроизводимости эксперимента S_y^2 зависит от очень многих факторов: выбора центра эксперимента, интервалов варьирования факторов, наличия экстремумов функции отклика в области планирования, соотношения величины отклика и помехи (так называемое отношение сигнал – шум) и др. В этой связи при небольшом различии между t_j и t_{τ} следует весьма осторожно относиться к оценке значимости коэффициентов регрессии. Лучше такие коэффициенты сохранить в модели, а влияние соответствующего фактора (или взаимодействия факторов) проверить в дальнейшем на более сложной модели или в иных условиях планирования эксперимента.

После исключения незначимых коэффициентов уравнение регрессии приобретает вид

$$\hat{y} = \sum_{j=0}^{N_b^*-1} b_j f_j(\vec{X}), \quad (9.15)$$

где N_b^* – количество значимых коэффициентов регрессии.

Так как часть коэффициентов регрессии исключена из модели, то $N_b^* < N_b \leq N$.

Если все коэффициенты оказались значимыми, суммирование в формуле (9.15) осуществляется до $N_b - 1$.

9.3. Проверка адекватности и работоспособности регрессионной модели

По уравнению регрессии (9.15) можно вычислить предсказанные значения функции отклика \hat{y} во всех точках спектра плана: $\vec{X}_1, \vec{X}_2, \dots, \vec{X}_N$. В результате будет получено N значений

$\hat{y} : \hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_N$. Если регрессионная модель получена на основе ПФЭ и все коэффициенты регрессии признаны значимыми, то в формуле (9.15) $N_B^* = N_B = N$. Тогда значения \hat{y}_i должны совпадать со средними выборочными значениями \bar{y}_i , полученными в результате эксперимента для каждой точки спектра плана. Следовательно, поверхность отклика $Y = \varphi(\bar{X})$ проходит через все точки $\bar{y}_i, i = 1, N$, и полученная модель адекватна. Значения \hat{y}_i в этом случае используют для проверки правильности вычислений коэффициентов регрессии.

Если же незначимые коэффициенты b_i исключены из регрессионной модели, то $N_B^* < N$. Тогда $\hat{y}_i \neq \bar{y}_i$. Это же характерно для моделей, полученных на основе ДФЭ. Разности $(\bar{y}_i - \hat{y}_i)$ несут информацию об ошибках предсказания по уравнению регрессии и их можно использовать для последующего анализа свойств полученной модели – ее адекватности и работоспособности.

Для оценки рассеяния эмпирических значений \bar{y}_i относительно расчетных \hat{y}_i , полученных по уравнению регрессии, используют дисперсию адекватности

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N - N_B^*} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, \quad (9.16)$$

где m – число параллельных опытов; N – число точек спектра плана; N_B^* – количество значимых коэффициентов регрессии.

Если число параллельных опытов в различных точках спектра плана неодинаково, то для вычисления $S_{\text{ад}}^2$ используют формулу

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{N - N_B^*} \sum_{i=1}^N m_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, \quad (9.17)$$

где m_i – число параллельных опытов в i -й точке спектра плана.

При оценке регрессионной модели принимается нулевая гипотеза о том, что полученная модель обеспечивает адекватное описание результатов эксперимента. Проверка адекватности осуществляется

путем сопоставления дисперсии адекватности $S_{ад}^2$ и дисперсии воспроизводимости эксперимента S_y^2 . У адекватной модели значение $S_{ад}^2$ обусловлено в основном действием случайной помехи, поэтому различие между $S_{ад}^2$ и S_y^2 должно быть небольшим, так как они оценивают одну и ту же дисперсию помехи σ_ε^2 .

Проверку гипотезы об адекватности модели (гипотезы о равенстве дисперсий $S_{ад}^2$ и S_y^2) выполняют по критерию Фишера

$$F = S_{ад}^2 / S_y^2. \quad (9.18)$$

В формулах (9.16) и (9.17) учтено, что чем больше число m параллельных опытов, тем с большей достоверностью оцениваются средние значения функции отклика y . Поэтому требования к различиям между экспериментальными \bar{y}_i и расчетными \hat{y}_i значениями становятся более жесткими, что отражается в увеличении F -критерия.

Полученные значения статистики F сравнивают с табличным значением критерия Фишера F_T , определяемым в зависимости от уровня значимости q и чисел степеней свободы k_1 и k_2 , с которыми определялись дисперсии $S_{ад}^2$ и S_y^2 :

$$k_1 = N - N_b^* ; \quad (9.19)$$

$$k_2 = N(m-1). \quad (9.20)$$

Если $F < F_T$, регрессионная модель считается адекватной.

Различие между дисперсиями $S_{ад}^2$ и S_y^2 обусловлено систематической ошибкой при определении функции отклика по уравнению регрессии из-за его приближенности. Если модель описывает физические свойства исследуемого объекта неудовлетворительно, систематическая ошибка приводит к значительному возрастанию дисперсии адекватности и, следовательно, к увеличению статистики F .

При $F > F_T$ гипотеза адекватности модели отвергается.

В таком случае нужно либо изменить структуру математической модели, либо уменьшить интервалы варьирования факторов и провести повторно эксперимент с моделью прежней структуры.

В первом варианте реализуется принцип постепенного усложнения структуры математической модели. Если использовалось упрощенное уравнение регрессии первого порядка, учитывающее влияние на функцию отклика только факторов, или факторов и некоторого количества эффектов их взаимодействий низших порядков, что характерно для ДФЭ, то в модель можно дополнительно ввести новые члены, содержащие другие эффекты взаимодействия тех же порядков или более высоких порядков. Однако во многих случаях такой путь оказывается неэффективным, так как, согласно выражению (9.16), при увеличении количества членов уравнения регрессии и неизменном числе точек спектра плана N дисперсия адекватности может возрасти, несмотря на снижение разности $(\bar{y}_i - \hat{y}_i)$, поскольку при этом увеличивается N_b^* и, следовательно, уменьшается знаменатель выражения (9.16). Кроме того, следует иметь в виду, что с увеличением порядка эффекта взаимодействия возрастает вероятность незначимости коэффициента регрессии b_i при этом эффекте. В этой связи наиболее целесообразно перейти к планированию второго порядка, используя регрессионное уравнение в виде полного квадратного полинома.

После обеспечения адекватности регрессионной модели осуществляют проверку ее работоспособности.

Адекватность регрессионной модели еще не гарантирует ее пригодность к практическому использованию в задачах прогнозирования и поиска оптимальных решений. Модель может оказаться неработоспособной из-за низкой ее точности. Для проверки работоспособности модели используют *коэффициент детерминации*, представляющий собой числовую интегральную характеристику точности уравнения регрессии. Его значение вычисляют по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{(N - N_b^*)S_{ад}^2 + N(m-1)S_y^2}{m \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y})^2 + N(m-1)S_y^2}, \quad (9.21)$$

где \bar{y} – среднее значение отклика:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i . \quad (9.22)$$

Модель считается работоспособной при $R^2 \geq 0,75$. В этом случае обеспечивается уменьшение ошибки предсказания, полученного по уравнению регрессии, по крайней мере, в 2 раза в сравнении с предсказанием по среднему значению отклика без \bar{y} учета влияния факторов \vec{X} на функцию отклика y .

Глава 10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ РАБОТЫ И СПОСОБЫ ИНФОРМИРОВАНИЯ НАУЧНОЙ ОБЩЕСТВЕННОСТИ

10.1. Оформление результатов научной работы

После того как сформулированы выводы и обобщения, продуманы доказательства и подготовлены иллюстрации, наступает следующий этап – литературное оформление полученных результатов в виде отчета, доклада, статьи и т.д. [4].

Процесс литературного оформления результатов творческого труда предполагает знание и соблюдение некоторых требований, предъявляемых к содержанию научной рукописи. Особенно важны ясность изложения, систематичность и последовательность в подаче материала.

Текст рукописи следует делить на абзацы, что облегчает чтение и усвоение содержания текста.

В рукописи следует избегать повторов, не допускать перехода к новой мысли, пока первая не получила полного законченного выражения, писать по возможности краткими и ясными для понимания предложениями.

Изложение должно быть беспристрастным, включать критическую оценку существующих точек зрения, высказанных в литературе по данному вопросу, даже если факты не в пользу автора. Текст излагается в третьем лице: автор полагает, по нашему мнению и т.д.

Не рекомендуется перегружать рукопись цифрами, цитатами, иллюстрациями, так как это отвлекает внимание читателя и затрудняет понимание содержания. Однако не следует отказываться совсем от такого материала, поскольку по нему читатели могут проверить результаты, полученные в исследовании. Весь вспомогательный материал лучше привести в отчете в виде приложения. Цитируемые в рукописи места должны иметь точные ссылки на источники.

Необходимо соблюдать единство условных обозначений и допускаемых сокращений слов, которые должны соответствовать принятым стандартам. Нельзя, например, писать; 10 тонн, или 10 тн, или 10 т. Следует писать 10 т (без точки).

Сведения об этих стандартах и сокращениях имеются в справочных изданиях, энциклопедиях, словарях. Если же используются сокращения нестандартные, присущие данной теме, то в отчете

целесообразно отдельной таблицей дать сводку сокращений и поместить ее в начале отчета.

При написании научного отчета, доклада, статьи, целесообразно придерживаться общего плана изложения, хотя индивидуальные отклонения возможны.

Вначале продумывается *название* работы, которое выносится на титульную страницу. Кроме того, на титульной странице указываются:

- полное имя, отчество и фамилия автора (авторов) в именительном падеже; должность, занимаемая автором (авторами) в момент написания работы;
- название учреждения и города, где была выполнена работа;
- год оформления;
- фамилия, должность и ученое звание руководителя.

В *оглавлении* в краткой форме раскрывается содержание работы путем обозначения основных разделов, частей, глав и других подразделений рукописи. Оглавление помещается либо в начале, либо в конце работы.

Иногда при оформлении научной работы возникает необходимость написать *предисловие*. В нем излагаются внешние предпосылки создания научного труда:

- чем вызвано его появление; когда и где была выполнена работа;
- перечисляются организации и лица, оказывавшие содействие при выполнении данной работы.

В кратком *введении* автор вводит читателя в круг проблем, дает постановку основного вопроса исследования, чтобы подготовить читателя к лучшему усвоению изложенного материала. В таком вступлении определяются:

- значение проблемы, ее актуальность, цели и задачи, поставленные автором при написании научной работы;
- состояние проблемы на данный момент времени.

Не следует при этом затрагивать факты и выводы, излагаемые в последующих разделах научной работы.

Вслед за вступлением дается *краткий обзор литературы* по рассматриваемому вопросу. При этом очень важно уметь отделить наиболее значимую литературу от менее существенной.

В *основное содержание* работы включаются материалы, методы, экспериментальные данные, обобщения и выводы самого исследования. При написании этого раздела необходимо представить себе вопросы по предлагаемому материалу, которые могут прежде

всего заинтересовать читателя, и в соответствии с этим дать по ним исчерпывающий ответ.

Цифровой материал целесообразно представлять в форме, легко доступной обозрению (в виде таблиц, диаграмм, графиков). Исключение составляют цифры, которые с достаточной ясностью можно изложить в тексте.

Порядковую нумерацию вертикальных граф устанавливают только в том случае, если эти номера фактически используются (например, при ссылке на ту или иную графу, а также при переносе таблицы на другую страницу текста). В таблицах необходимо избегать больших чисел, написанных полностью, а прибегать к сокращениям или укрупненным единицам. Например, вместо 1391000 Н следует написать 1391 кН или 1,391 МН и указать в заголовке, что числа в этой графе выражаются в килоньютонах (кН) или в меганьютонах (МН).

В конце работы как итоговый материал пишутся *выводы* в виде кратко сформулированных и пронумерованных отдельных тезисов. Выводы должны отвечать только тому материалу, который изложен в работе. При этом следует соблюдать главный принцип – в выводах надо идти от частных к более общим и важным положениям.

Характерной ошибкой при написании выводов является перечисление того, что делалось в данной работе и о чем уже говорилось в основном содержании вместо формулировки результатов исследований.

В *заключении* дается обобщение наиболее существенных положений научного исследования, подводятся его итоги, показывается справедливость выдвинутых автором новых положений, а также выдвигаются вопросы, которые еще требуют разрешения. Заключение ни в коем случае не должно повторять выводы. Оно обычно бывает небольшим по величине, но емким по тому количеству информации, которое в нем должно содержаться.

В конце работы приводится *перечень литературных источников*. Цитируемые литературные источники, если их мало или если они используются один раз, можно указать в сносках текста, а если их много и они неоднократно повторяются, то в тексте следует указать порядковый номер данного источника по списку литературы, приведенному в конце работы. Все источники должны быть описаны и пронумерованы в порядке, принятом в соответствующем ГОСТе.

В табл. 10.1 приведены примеры библиографической записи.

Таблица 10.1

Примеры библиографической записи используемых источников литературы

| Книги | |
|---|--|
| Без автора | Расчет железобетонных мостов / Под общ. ред. К.К. Якобсона. – М.: Транспорт, 1970. – 272 с. |
| 1 автор | Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем: Пер. с англ. / Д. Раскин. – СПб.: Символ-Плюс, 2003. – 268 с. |
| 2 автора | Григорьев С.И. Основы современной социологии: Учебное пособие / С.И. Григорьев, Ю.Е. Растов. – М.: Педагогическое общество России, 2002. – 254 с. |
| 5 авторов и более | Травматология и ортопедия /Х.А. Мусалатов, Г.С. Юмашев, Л.Л. Силин и др. – М.: Медицина, 1995. – 559 с. |
| Диссертация | Данильян Е.А. Физико-химическое обоснование температур перемешивания и уплотнения асфальтобетонных смесей: Дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Данильян; Северо-Кавказский госуд. техн. у-т. – Ставрополь, 2000. – 157 с. |
| Автореферат диссертации | Смолянюк Н.В. Напряженно-деформированное и предельное состояние сталебетонных плит перекрытий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Смолянюк; Украинская госуд. акад. ж/д транспорта. – Харьков, 2003. – 23 с. |
| Патентные документы | А.с. 1448100 СССР, МКИ 4Ф 61 К 31/19. Антидепрессивное средство / Н.Н. Каркищенко, Б.Б. Молчановский; Ростовск. мед. ин-т № 0723953/20-14; Заявл. 24.04.84; Оpubл. 07.01.89; Бюл. № 1 //ИСМ. – 1989. – Вып. 15, № 8. – С. 5. |
| Статьи из книг, журналов, сборников статей | |
| 1 автор | Шагин А.Л. Эффективные методы армирования конструкций / А.Л. Шагин // Сб. инженерной академии РФ. – 1993. – С.78-81. |
| 2 автора | Шатило А.И. Эффективность применения сталежелезобетонных балок в перекрытиях производственных зданий / А.И. Шатило, Г.Н. Фальковский // Промышленное строительство. – 1979. – № 5. – С.7 -9. |
| 5 авторов и более | Перспективы использования клеевых субстанций в лапароскопической хирургии / Б.К. Шуреалин, В.П. Горский, А.Г. Кригер и др. // Эндоскопическая хирургия. – 2000. – Т.6, № 6. – С. 4-8. |

Список литературы составляется либо по алфавиту фамилий авторов, либо по порядку ссылок на литературные источники в данной работе.

В научных трудах часто возникает необходимость в конце работы приводить *приложения*, куда входят вспомогательные таблицы, графики, дополнительные тексты и прочие материалы, которым присваивается самостоятельный порядковый номер. Его при необходимости можно указать в тексте при ссылке на те или иные вспомогательные материалы.

Часто о работе приходится готовить аннотацию или реферат.

Аннотация – это краткая характеристика научной работы с точки зрения содержания, назначения, формы и других особенностей. Аннотации включают в себя преимущественно фразы в форме страдательного оборота, где сказуемое выражено глаголом в возвратной форме («рассматривается», «обсуждается», «исследуется» и т.п.) или в пассивной глагольной форме («рассмотрен», «исследован», «доказан» и т.п.).

Аннотация включает: характеристику тина научной работы, основной темы, проблемы, объекта, цели работы и ее результаты. В аннотации указывается, что нового несет в себе данная работа и его читательское назначение. Средний объем аннотации составляет 600 печатных знаков.

Реферат представляет собой сокращенное изложение содержания первичного, документа (или его части) с основными фактическими сведениями и выводами. Реферат выполняет познавательную функцию, отвечая на вопрос: «Что говорится в первичном документе?» Реферат должен включать заглавие реферата (как правило, совпадающее с заглавием первичного документа) и текст реферата. Текст реферата включает:

- тему работы;
- предмет (объект) исследования;
- характер и цель работы;
- методы проведения исследования (для новых методов дается описание, широко известные только называются);
- конкретные результаты работы (теоретические, экспериментальные, описательные), при этом предпочтение отдают новым и проверенным фактам, результатам долгосрочного значения, открытиям, важным для решения практических вопросов;
- выводы, оценки, предложения, принятые и отвергнутые гипотезы, описанные в первичном документе;

– характеристику области применения работы.

В зависимости от объема первичного документа реферат может составлять от 500 до 5500 печатных знаков.

Все работы, предназначенные для публикации, проходят предварительное рецензирование.

Рецензия – это обычно небольшая статья, содержащая анализ или критическую оценку печатного труда. Каждая рецензия должна содержать заглавие рецензируемого источника, краткое перечисление основных вопросов, указание на основные достоинства и недостатки рецензируемой работы. В конце рецензии приводится резюме, в котором оценивается актуальность произведения, его теоретическая и практическая значимость, дается общая оценка правильности доказательств и выводов.

Различают *рецензии информационные* (дающие краткое освещение содержания рассматриваемой работы) и *рецензии критические* (подвергающие научному анализу позиции автора, уточняющие и иногда и дополняющие использованный автором фактический материал).

При представлении работы к опубликованию в виде статьи, брошюры или монографии в издательство следует направлять также *акт экспертизы* – разрешение на опубликование материалов работы.

10.2. Способы информирования научной общественности о результатах своего научного исследования

В целях оперативного информирования специалистов о результатах выполненных исследований организуются различные научные и научно-технические конференции, съезды, семинары, симпозиумы, совещания и т.п. Для выступления на таких научных собраниях исследователи готовят доклады, сообщения. Информация об итогах проведения конференции (совещания, семинара), как правило, публикуется в соответствующих журналах и других периодических изданиях.

Самой распространенной формой обмена информацией является *конференция*. Одна часть участников, называемая докладчиками сообщает о новых научных идеях, результатах теоретических и экспериментальных исследований, отвечает на вопросы. Другая, гораздо большая часть, называемая слушателями, воспринимает эту информацию.

Иногда на конференциях организуются *стендовые доклады*, когда в месте ее проведения вывешивается иллюстративный материал к докладу и докладчик сразу же отвечает на вопросы. Это удобно в том случае, если люди, задающие вопросы, ознакомились с основным содержанием доклада, предварительно прочитав его аннотацию.

Симпозиум представляет собой полуофициальную беседу с заранее подготовленными докладами, а также выступлениями экспромтом. Участники симпозиума могут посещать не все доклады, встречаться в кулуарах.

Съезды и конгрессы считаются высшей и наиболее представительной формой общения. Здесь вырабатывается стратегия в определенной области науки и техники или в ряде смежных областей.

Совещание – это форма коллективных контактов ученых и специалистов одного научного направления.

Выступление с докладом – это апробация результатов научного исследования, проверка сделанных выводов через оценки специалистов. При этом очень полезны советы, замечания, сделанные по докладу. Участие в научной дискуссии требует от докладчика (равно как и от слушателя) определенного умения, которому необходимо учиться. Кроме того, подобные выступления воспитывают привычку не бояться аудитории, умение быстро концентрировать внимание при ответах на вопросы, вести научную дискуссию.

Можно выделить три формы участия в дискуссиях:

- слушать и записывать;
- задавать вопросы с целью получения дополнительной информации или уточнения неясных моментов;
- высказывать достаточно обоснованное собственное мнение.

В начале доклада целесообразно сообщить об основных вопросах, которые будут изложены в докладе. Во время доклада можно пользоваться записями, чтобы не упустить важное. Однако записи не должны быть слишком подробными, так как это затрудняет пользование ими в момент доклада. Поэтому перед выступлением следует подготовить краткий план изложения. Чтобы излагаемый материал был легко воспринимаемым, рекомендуется использовать макеты, плакаты, слайды и т.д.

В процессе доклада держаться следует свободно, не концентрировать своего внимания на отдельном слушателе, а обращаться ко всей аудитории. Перед докладом следует подготовить *тезисы* – сжатые, кратко сформулированные основные положения доклада. Тезисы представляют собой развернутые выводы, с вводной

поясняющей и обосновывающей частью, а также заключением. В тезисах в краткой форме даются обоснование темы, характеристика истории вопроса, изложение методики исследования и результаты исследования. Тезисы могут быть краткими или развернутыми, но они всегда отличаются от полного текста доклада, сообщения тем, что в них отсутствуют детали, пояснения, иллюстрации.

Глава 11. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Научно-исследовательская работа студентов (НИРС) должна являться обязательной, органически неотъемлемой частью подготовки специалистов высшего учебного заведения и входить в число основных задач, решаемых на базе единства учебного и научного процессов.

Реализация экономических и социальных преобразований в России нуждается в хорошо образованных, творчески мыслящих специалистах, которые могут активно воздействовать на уровень производственного и общественного развития государства, условия жизнедеятельности его граждан.

В условиях стремительного роста влияния науки и техники на мировые процессы, глобализации экономики перед Россией остро встала проблема воспроизводства и усиления ее научного потенциала. На современном этапе в качестве одной из приоритетных задач государства признана поддержка и развитие российской науки.

Научно-исследовательская работа студентов служит формированию их как творческих личностей, способных обоснованно и эффективно решать возникающие теоретические и прикладные проблемы. Учебный процесс в вузе должен представлять собой синтез обучения, воспитания, производственной практики и научно-исследовательской работы. При этом преобразования в системе НИРС должны осуществляться в соответствии с новыми условиями деятельности вузов, базироваться на использовании многолетнего отечественного, а также зарубежного опыта интеграции науки и образования, обучения специалистов, отвечающих требованиям мировых стандартов.

11.1. Цель и задачи научно-исследовательской работы студентов

Основной *целью* организации и развития системы научно-исследовательской работы студентов является повышение уровня научной подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием и выявление талантливой молодежи для последующего обучения и пополнения педагогических и научных кадров вузов, других учреждений и организаций страны на основе новейших

достижений научно-технического прогресса, экономической мысли и культурного развития.

Основными *задачами* организации и развития системы НИРС являются [8]:

- обеспечение интеграции учебных занятий и научно-исследовательской работы студентов;

- осуществление органичного единства обучения и подготовки студентов к творческому, научному и педагогическому труду;

- создание условий для раскрытия и реализации личностных творческих способностей студенческой молодежи;

- расширение массовости и повышение результативности участия студентов в научной деятельности;

- отбор талантливой молодежи, проявившей способности и стремление к научной и педагогической деятельности;

- формирование и развитие у студентов качеств научно-педагогических и научных работников;

- формирование и развитие у будущих специалистов: умения вести научно обоснованную профессиональную работу на предприятиях и в учреждениях любых организационно-правовых форм; способности быстрой адаптации, приложения полученных знаний и умений при изменяющихся требованиях к своей деятельности; освоения методологии и практики планирования, выбора оптимальных решений в условиях рыночных отношений; готовности и способности к повышению квалификации и переподготовке;

- подготовка руководителей высокой квалификации – специалистов, имеющих навыки проектно-конструкторской работы, умеющих грамотно разработать и реализовать конкретные научно-практические мероприятия на производстве, обладающих навыками самоуправления;

- повышение массовости и эффективности НИРС в университете путем привлечения студентов к исследованиям по наиболее приоритетным направлениям науки, связанным с современными потребностями общества и государства;

- поиск и реализация источников финансирования, в том числе за счет средств, получаемых из внебюджетных источников и инновационной деятельности вузов, совершенствование форм и методов привлечения их к НИРС;

- развитие научных межвузовских связей как внутри страны, так и со странами ближнего и дальнего зарубежья.

11.2. Основные направления организации научно-исследовательской работы студентов

В качестве основных направлений организации НИРС можно сформулировать следующее [4]:

- повышение качества учебного процесса за счет совместного участия студентов и преподавателей в выполнении различных НИР;
- участие студентов в проведении прикладных, методических, поисковых и фундаментальных научных исследованиях;
- поддержание и развитие научных школ вузов в русле преемственности поколений;
- развитие у студентов способностей к самостоятельным обоснованным суждениям и выводам;
- предоставление студентам возможности в процессе учебы испытать свои силы на различных направлениях современной науки;
- привлечение студентов к рационализаторской работе и изобретательскому творчеству;
- расширение участия студентов в НИР, осуществляемой сверх учебных планов;
- повышение результативности научно-технических мероприятий НИРС;
- содействие образованию и деятельности предпринимательских научно-творческих объединений студентов различных организационно-правовых форм;
- активизация участия преподавательского состава и научных работников вузов в организации и руководстве НИРС.

11.3. Виды, формы и методы организации научно-исследовательской работы студентов

Для обеспечения системного решения проблем планирования, организации и стимулирования научно-исследовательской деятельности студентов необходимо, прежде всего, выделить ее основные виды. В зависимости от содержания и порядка осуществления все многообразие занятий, работ и мероприятий НИРС по их отношению к учебному процессу освоения образовательных программ высшего профессионального образования может быть классифицировано по следующим основным *видам* [4]:

1. Научно-исследовательская работа, встроенная в учебный процесс.

2. Научно-исследовательская работа, дополняющая учебный процесс.

3. Научно-исследовательская работа, параллельная учебному процессу.

Основными наиболее действенными организационными *формами* НИРС являются:

- учебно-исследовательская работа по учебным планам;
- включение элементов НИР в учебные занятия;
- дипломные работы с исследовательскими разделами или целиком научно-исследовательского характера;
- индивидуальные научно-исследовательские работы студентов, т.е. участие студентов в разработке определенной проблемы под руководством конкретного научного руководителя из числа профессорско-преподавательского состава;
- выполнение НИР на практиках;
- подготовка научного реферата на заданную тему;
- студенческие научные кружки;
- студенческие строительные отряды;
- студенческие научно-технологические отряды;
- студенческие конструкторские бюро;
- проведение студентами грамотного патентного поиска;
- получение студентами патентов и авторских свидетельств;
- студенческие научные группы по проблемам, лаборатории и иные творческие объединения;
- привлечение студентов к выполнению научно-исследовательских проектов, финансируемых из различных источников (госбюджет, договоры, гранты и т.д.);
- участие студентов в студенческих научных организационно-массовых и состязательных мероприятиях различного уровня (кафедральные, факультетские, региональные, всероссийские, международные), стимулирующие развитие как системы НИРС, так и творчество каждого студента. К ним относятся: научные семинары, конференции, симпозиумы, смотры/конкурсы научных и учебно-исследовательских работ студентов, олимпиады по дисциплинам и специальностям;
- организация специальных факультетов, курсов, программ, проведение занятий с группами наиболее способных и мотивированных к науке студентов;
- введение курса «Основы научных исследований» во все учебные планы с целью подготовки студентов к выполнению

самостоятельной научной работы путем привития им умений, навыков выполнения НИР, ознакомления с методами НИР, необходимыми будущему ученому;

- освоение студентами различных средств и систем научно-технической информации;
- привлечение студентов к различным видам участия в научно-инновационной деятельности.

Комплексная система НИРС должна обеспечивать непрерывное участие студентов в научной работе в течение всего периода обучения. Важным принципом комплексной системы НИРС является преемственность ее методов и форм от курса к курсу, от кафедры к кафедре, от одной учебной дисциплины к другой, от одних видов учебных занятий и заданий к другим. При этом необходимо, чтобы сложность и объем приобретаемых студентами знаний, умений и навыков в процессе выполняемой ими научной работы возрастали постепенно. Например, на первом и втором курсах целью и основным содержанием всей работы должно быть формирование у студентов в ходе общенаучной подготовки перспективных навыков, умений и приобретение простейших знаний, необходимых для выполнения научной работы, обучение основам самостоятельной работы, развитие нестандартного мышления. Здесь может быть полезна реферативная работа и научные исследования в рамках лабораторных работ. На третьем курсе, в ходе общетехнической и специальной подготовки, выполнения небольших самостоятельных исследований и заданий творческого характера, происходит формирование специальных исследовательских навыков, углубление знаний методов, методик, технических средств проведения исследований и обработки результатов. На этом этапе должно стать обязательным участие во внутривузовских конференциях, конкурсах научных работ. Усложняются задачи и формы научно-исследовательской работы, увеличивается их объем. Работа приобретает все более ярко выраженный творческий характер. На четвертом и, особенно, на пятом курсах дальнейшее формирование, закрепление и совершенствование знаний, умений и навыков, развитие, творческого мышления и подхода к решению конкретных задач, умения самостоятельно принимать и реализовывать решения, использование полученных знаний на практике должны происходить, главным образом, в процессе самостоятельной научно-исследовательской работы студентов по индивидуальному заданию. Поэтому необходимо иметь в своем активе участие в конференциях, конкурсах всех уровней, проведение научных

исследований под руководством сотрудников университета, участие в конкурсе дипломных работ, всероссийском конкурсе научных работ Минобразования и науки РФ, конкурсах грантов.

Кроме того, на последних курсах для студентов, занимающихся наукой, должно стать обязательным участие в научно-технологических отрядах, где творческие коллективы студентов под руководством преподавателей и сотрудников занимаются исследованиями в лабораториях вуза или завода, проектно-конструкторскими разработками, в том числе выполнением комплексных дипломных и курсовых проектов, а затем внедряют результаты на заинтересованных предприятиях. Это позволит студентам не только знакомиться с реальными задачами, разрабатывать проекты их решения, но и самим осуществлять свои предложения на практике.

Предоставление грантов является одной из форм финансовой поддержки научной и иной творческой деятельности. Преподаватели и научные работники вузов, которым по результатам конкурса предоставлен грант на выполнение определенной НИР, могут привлекать к участию в ней с оплатой студентов. Кроме того, в настоящее время получает развитие предоставление грантов на конкурсной основе для финансирования научной и технической деятельности талантливых студентов и малых студенческих научных групп (временных студенческих трудовых коллективов).

Студенты также могут вести научно-исследовательскую работу в составе научных, технических, конструкторских, экономических и иных студенческих бюро и объединений, которые организуются в вузах с целью приобретения их членами навыков коллективной творческой и организационной работы, а также оказания практической помощи кафедрам и лабораториям вузов, организациям и учреждениям в области своей деятельности.

Организация учебного процесса должна проходить с учетом современных достижений науки, систематического обновления всех аспектов образования, отражающего изменения в сфере культуры, экономики, науки, техники и технологий. Особое внимание необходимо обратить на синтез теоретического и практического обучения в этой области с получением конкретных результатов, воплощенных в самостоятельные научные работы, статьи, апробированные технологии, выполненные, естественно, с поправкой на возраст авторов.

Разработка плана по специальности ведется совместно с кафедрами общественных наук, общенаучных, общетехнических,

профилирующих дисциплин и выпускающей кафедрой. Координирует работу выпускающая кафедра, которая предварительно формирует конкретные требования к знаниям, умению, навыкам, качествам специалиста.

Научно-исследовательская работа студентов завершается обязательным представлением отчета, сообщением на заседании кружка, конференции, написанием курсовой работы и т.д.

Научно-исследовательские, проектно-конструкторские и творческо-исполнительские работы, успешно выполненные студентами во внеучебное время и отвечающие требованиям учебных программ, могут быть зачтены в качестве соответствующих лабораторных работ, курсовых, дипломных проектов и прочих заданий.

Лучшие студенческие работы могут быть направлены по рекомендации комиссии НТС по НИРС на региональные, республиканские и всероссийские конкурсы.

За успехи, достигнутые в научно-исследовательской работе и организации НИРС, студенты могут награждаться грамотами, денежными премиями.

11.4. Цели и задачи учебно-исследовательской работы студентов

Целью учебно-исследовательской работы студентов (УИРС) является практическое ознакомление студентов со всеми этапами научно-исследовательской работы. Она является неотъемлемой составной частью подготовки высококвалифицированных специалистов для народного хозяйства страны, имеющих навыки самостоятельной исследовательской работы.

Основная *задача* УИРС состоит в том, чтобы привить студентам навыки самостоятельной теоретической и экспериментальной работы, ознакомить их с современными методами научного исследования, техникой эксперимента, реальными условиями работы в научном и производственном коллективах и техникой безопасности.

В процессе выполнения УИРС студенты должны научиться применять теоретические знания на практике, работать с научной литературой, составлять рефераты и обзоры, решать отдельные теоретические задачи, самостоятельно подготавливать и проводить эксперименты, пользоваться лабораторным оборудованием, докладывать результаты своих трудов и трудов других авторов.

Успех учебно-исследовательских работ студентов определяется как актуальностью и глубиной исследований, проводимых кафедрами университета, так и широким участием в этих исследованиях профессоров и преподавателей.

Четко сформулированная задача, постоянный интерес руководителя к работе студента стимулируют интенсивную и качественную работу последнего.

11.5. Организация учебно-исследовательской работы студентов

Учебно-исследовательская работа студентов проводится на профилирующих кафедрах.

Распределение на УИРС проводится кафедрой в соответствии с заявками и с учетом личных интересов студентов.

УИРС проводится в часы, отводимые учебными планами. Выполнение УИРС, как и любого другого вида учебных занятий, является обязательным. Желательно, чтобы для работы студентов выделялся по расписанию целый день, но не менее 4-6 часов подряд.

К руководству УИРС привлекаются профессора, доценты, преподаватели, докторанты, аспиранты, научные сотрудники. Рекомендуются на кафедрах из числа преподавателей выделить ответственного за организацию УИРС.

Каждый студент, выполняющий УИРС, должен быть по возможности обеспечен рабочим местом, аппаратурой, инструментом и материалами.

Общие методические вопросы проведения УИРС (программы, пособия, описание проведения эксперимента и т.д.) разрабатываются и решаются кафедрами, методическими комиссиями советов факультетов и университета совместно с советом СНО.

Ответственный за проведение УИРС и научный руководитель осуществляют систематический контроль за выполнением студентами УИРС. Каждый студент должен вести рабочий журнал.

УИРС целесообразно начинать с первого курса и вести на протяжении всего периода обучения студентов в вузе, включая элементы научного поиска и научных исследований во все виды учебной работы.

УИРС целесообразно делить на два этапа (вида):

– работа со студентами младших курсов при изучении общеобразовательных дисциплин;

– работа со студентами, преимущественно старших курсов, специализирующихся на выпускающих кафедрах.

На первом этапе (на протяжении первого-второго курсов) студентов знакомят с основами и элементами научных исследований, развивают навыки самостоятельной работы по углубленному изучению фундаментальных наук, воспитывая любовь к избранной специальности. Формами УИРС на этом этапе, могут быть:

- реферирование отдельных тем изучаемых курсов;
- составление библиографии по определенной теме;
- участие в изготовлении учебно-методических пособий (таблиц, макетов, моделей);
- изготовление по заданиям кафедр чертежей, схем, плакатов;
- участие в подготовке лекционного демонстрирования и т.д.

По общественным наукам целесообразно написать на каждом курсе по одному реферату.

На втором этапе студенты включаются непосредственно в исследовательскую работу. Им поручаются конкретные теоретические, экспериментальные или конструкторские разработки. Как правило, эти исследования ведутся на выпускающих кафедрах при выполнении практических, лабораторных, курсовых или дипломных работ, а также при прохождении производственной практики.

На этом этапе студенты готовят научные сообщения и рефераты по методологическим вопросам, которые заслушиваются и обсуждаются на заседаниях кафедр. Помимо научной работы студентов на кафедрах, рекомендуется вовлекать в работу студенческого конструкторского бюро.

Обязательным дополнением УИРС на обоих ее этапах следует считать работу в научных кружках студенческого научного общества во внеучебное время.

Лучшие работы студентов следует рекомендовать на студенческие научно-технические конференции, конкурсы, выставки.

УИРС вводится в учебные планы всех специальностей, в рабочие планы преподавателей и расписание занятий студентов в пределах общего количества часов аудиторных занятий.

УИРС проводится на базе кафедр, проблемной и отраслевых научно-исследовательских лабораторий. Материальное обеспечение выполнения УИРС осуществляется за счет бюджетных и хоздоговорных средств.

11.6. Формы проведения учебно-исследовательской работы студентов

Основной формой выполнения УИРС является индивидуальная работа над сформулированным руководителем заданием. Групповую форму целесообразно использовать на первом этапе проведения УИРС для обучения студентов методам и навыкам проведения исследований, а также в тех случаях, когда проведение работ требует уникального оборудования.

Задание на УИРС целесообразно формулировать так, чтобы оно имело перспективный характер. Объем и характер задания должны учитывать успехи и наклонности студента.

В задании должна быть отражена вся работа, необходимая для решения поставленной задачи.

Целесообразно прикрепление студентов при выполнении УИРС к определенной научной группе. В этом случае достигается возможность развития работы студента по той же тематике на последующих курсах во время практики и дипломного проектирования, обеспечивается высокое качество заключительных этапов обучения.

Результаты учебно-исследовательской работы оформляются в виде отчетов и защищаются перед комиссией, состоящей из ведущих преподавателей кафедры. В отчете должно быть сформулировано задание, кратко изложена теоретическая или расчетная часть, схема эксперимента, полученные результаты и их обсуждение. В конце приводится список использованной литературы.

УИРС включается во все формы учебной работы: семинарские и лабораторные занятия, практики, курсовые и дипломные проекты, самостоятельную работу студентов.

Курсовые и дипломные работы или проекты. Студентам выдаются индивидуальные задания по разработке реальных научных и производственных проблем, связанных с тематикой кафедр, лабораторий, научно-исследовательских направлений, научно-технологических отрядов, студенческих конструкторских бюро. Рекомендуются разработка комплексных научных тем бригадами из двух-пяти студентов одной или нескольких смежных специальностей.

Семинарские занятия. В процессе изучения общественных и фундаментальных дисциплин студенты готовят научные рефераты, с которыми выступают на семинарских занятиях. Лучшие рефераты рекомендуются в печать и на конкурсы. На выпускающих кафедрах проводятся постоянные специальные студенческие семинары, в ходе

которых у студентов вырабатываются навыки подготовки тезисов научного сообщения, рефератов, активного участия в научной дискуссии, умение докладывать и защищать результаты своих исследований, вести контроль выполнения научных разработок. На семинарах заслушиваются рефераты и обзоры литературных источников, планы и методики исследований, отчеты о выполненных работах и т.д. Семинары проводятся согласно расписанию под руководством заведующего кафедрой.

Лабораторные и практические занятия. При выполнении лабораторных и практических работ студентам выдаются индивидуальные задания, содержащие элементы научного исследования, например:

- синтез и анализ новых веществ;
- изучение свойств новых веществ;
- конструирование приборов;
- разработка проектов оборудования;
- составление электрических схем;
- составление программ для ЭВМ; ведение расчетов и монтаж установок;
- реферирование и перевод научных статей и т.д.

Результаты разработок оформляются в виде отчета и защищаются на кафедре. Лучшие работы представляются на научные конференции, конкурсы и выставки.

Производственная практика. При прохождении практики студентам выдаются индивидуальные задания, например:

- внедрение новых методов исследования;
- разработка рационализаторских предложений;
- тематический план учебно-исследовательской работы (тема, цель работы, этапы и сроки выполнения, рекомендуемая литература, оборудование, исполнители и руководители);
- индивидуальные научные задания, выполняемые во время практики, в курсовых и дипломных работах.

На кафедрах ведется картотека завершенных научных работ студентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современной России уделяется большое внимание разработке, обоснованию и эффективности реализации единой научно-технической политики, обеспечивающей прогресс во всех сферах социальной, экономической и политической жизни страны.

Развитию науки свойственен кумулятивный характер: на каждом историческом этапе она суммирует в концентрированном виде свои прошлые достижения. Преемственность науки приводит к единой линии ее поступательного развития и необратимому его характеру. Другая сторона процесса развития науки затрагивает всю структуру. Накопление нового материала, неподдающегося объяснению на основе существующих схем, заставляет искать новые пути, что приводит время от времени к научным революциям, т.е. радикальной смене основных компонентов содержательной структуры науки, внедрению новых принципов познания, категорий и методов.

Длительный опыт многих ведущих вузов страны показал, что одним из эффективных способов получения высококвалифицированных специалистов является привлечение студентов к научно-исследовательской работе в период обучения, что в свою очередь будет требовать от них не только применения полученных ранее знаний, но и необходимости их углубления и практического закрепления.

В связи с этим сведения, получаемые в вузах при чтении учебников, традиционно закреплялись на семинарских занятиях, в процессе выполнения лабораторных работ. Однако всесторонние методические разработки каждого такого занятия или лабораторной работы во многих случаях требовали от студентов лишь более или менее точного выполнения методически продуманных этапов работы, чтобы получить конечный результат. Эта форма практического закрепления получаемых знаний, конечно, давала определенный результат, но не требовала от студентов творческого напряжения, поиска заранее неизвестного результата, что, естественно, снижало эффективность таких знаний.

Поэтому для многих вузов становилось естественным усложнение учебных заданий, введение в них творческих элементов, что приводило к целесообразности привлечения студентов к научно-исследовательской деятельности в самых различных формах.

В конце концов, накопленный опыт позволил ввести в учебный процесс дисциплины «Основы научных исследований», в задачу

которой входит вооружение будущего специалиста комплексом знаний, необходимых для участия в творческой работе.

В связи с этим учебное пособие охватывает вопросы, которые помогут специалисту с большей подготовкой участвовать в исследованиях, правильно организовать свое рабочее время в процессе поиска решения поставленной перед ним творческой задачи.

В заключение можно добавить, что освоение сведений, содержащихся в предлагаемом учебном пособии, даст желаемый высокий эффект только при условии закрепления теоретических знаний практическими, а именно участием студентов в научно-исследовательской работе как в рамках учебного процесса, так и вне его.

Библиографический список

1. *Адлер Ю.Л.* Введение в планирование эксперимента / Ю.П.Адлер. – М.: Металлургия, 1969. – 157 с.
2. *Бернштейн С.А.* Очерки по теории строительной механики / С.А. Бернштейн. – М.: Госстройиздат, 1957. – 236 с.
3. *Исаханов Г.В.* Основы научных исследований в строительстве / Г.В.Исаханов. – Киев: Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 208 с.
4. *Коробко В.И.* Лекции по курсу «Основы научных исследований»: Учеб. пособие для студентов строительных специальностей вузов / В.И.Коробко. – М.: Изд-во АСВ стран СНГ, 2000. – 218 с.
5. *Лужин О.В.* Вероятностные методы расчета сооружений: Учеб. пособие / О.В.Лужин. – М.: МИСИ, 1983. – 82 с.
6. *Матевосов Л.М.* Охрана промышленной собственности / Л.М. Матевосов. – М.: ИНИЦ Роспатента, 2003. – 280 с.
7. *Налимов В.В.* Теория эксперимента / В.В.Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
8. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов / В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.
9. Патентный закон Российской Федерации от 23 сентября 1992 г. – М.: ФИПС, 2003. – 65 с.
10. Подготовка и оформление заявок на изобретение: Метод, пособие / Г.С. Розенсон, Н.В. Кобря, Л.А. Юревич и др. – М., 1987. – 116 с.
11. Правила составления, подачи и рассмотрения заявки на выдачу патента и изобретения. – М.: ФИПС, 2003. – 157 с.
12. *Тихомиров В.Б.* Планирование и анализ эксперимента / В.Б. Тихомиров. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 264 с.
13. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
14. *Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф.* Планирование эксперимента. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
15. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
16. *Самарский А.А.* Введение в численные методы. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
17. *Тарасик В.П.* Математическое моделирование технических систем: Учебник для ВУЗов. – Мн.: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАУКЕ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ | 4 |
| Глава 2. ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 9 |
| 2.1. Общие закономерности развития науки | 9 |
| 2.2. Критерии научности знания | 11 |
| 2.3. Структура научного знания | 12 |
| 2.4. Классификации и формы организации научного знания | 14 |
| 2.5. Принципы научного познания | 20 |
| 2.6. Средства познания | 22 |
| 2.7. Методы научного познания | 24 |
| 2.8. Методология научно-технического творчества | 27 |
| Глава 3. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 29 |
| 3.1. Выбор направления научного исследования | 29 |
| 3.2. Постановка научно-технической проблемы | 31 |
| 3.3. Разработка рабочей гипотезы | 33 |
| Глава 4. ОБРАБОТКА НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ | 35 |
| 4.1. Научные документы и издания. Первичная и вторичная информация | 35 |
| 4.2. Библиотечно-библиографическая классификация документальной формы | 36 |
| 4.3. Государственный Рубрикатор Научно-технической Информации | 37 |
| 4.4. Научно-техническая патентная информация | 38 |
| 4.5. Работа с научной литературой | 41 |
| Глава 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ | 43 |
| 5.1. Цель, задачи и некоторые особенности теоретических исследований | 43 |
| 5.2. Математические методы исследования | 45 |
| 5.3. Аналитические методы исследования | 47 |
| 5.4. Вероятностно-статистические методы исследования | 48 |
| Глава 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ | 50 |
| 6.1. Общие сведения об экспериментальных исследованиях | 50 |
| 6.2. Метрология в экспериментальных исследованиях | 54 |
| 6.3. Организация рабочего места экспериментатора | 56 |
| 6.4. Влияние различных факторов на ход и качество эксперимента | 57 |

| | |
|--|-----|
| Глава 7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФАКТОРНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ | 59 |
| 7.1. Особенности экспериментальных факторных моделей..... | 59 |
| 7.2. Основные принципы планирования эксперимента..... | 64 |
| 7.3. План эксперимента | 67 |
| 7.4. Регрессионный анализ | 71 |
| 7.5. Оценка параметров регрессионной модели | 74 |
| Глава 8. ПЛАНЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ СВОЙСТВА | 80 |
| 8.1. План однофакторного эксперимента..... | 81 |
| 8.2. План полного факторного эксперимента | 85 |
| 8.3. План дробного факторного эксперимента | 91 |
| Глава 9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА | 96 |
| 9.1. Статистический анализ результатов активного эксперимента..... | 96 |
| 9.2. Определение коэффициентов регрессионной модели и проверка их значимости | 101 |
| 9.3. Проверка адекватности и работоспособности регрессионной модели..... | 104 |
| Глава 10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ РАБОТЫ И СПОСОБЫ ИНФОРМИРОВАНИЯ НАУЧНОЙ ОБЩЕСТВЕННОСТИ | 109 |
| 10.1. Оформление результатов научной работы | 109 |
| 10.2. Способы информирования научной общественности о результатах своего научного исследования | 114 |
| Глава 11. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ | 117 |
| 11.1. Цель и задачи научно-исследовательской работы студентов | 117 |
| 11.2. Основные направления организации научно-исследовательской работы студентов..... | 119 |
| 11.3. Виды, формы и методы организации научно-исследовательской работы студентов..... | 119 |
| 11.4. Цели и задачи учебно-исследовательской работы студентов | 123 |
| 11.5. Организация учебно-исследовательской работы студентов | 124 |
| 11.6. Формы проведения учебно-исследовательской работы студентов | 126 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 128 |
| Библиографический список | 130 |

Учебное издание

Радоуцкий Владимир Юрьевич
Шульженко Владимир Николаевич
Носатова Елена Анатольевна

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Подписано в печать 04.04.07. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 7,8. Уч-изд. л. 8,3.
Тираж 60 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46