

421
075

ОСНОВЫ

НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
проф. В. И. КРУТОВА,
доц. В. В. ПОПОВА

Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебника
для студентов технических вузов



МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1989

ББК 72.4(2)

075

Авторы:

В. И. Крутов, И. М. Грушко, В. В. Попов, А. Я. Савельев,
Л. Н. Сумароков, В. А. Веников, Н. М. Когдов, О. В. Тимо-
феева, А. В. Чус, А. И. Момот

Рецензенты: акад. Г. А. Николаев (Московское выс-
шее техническое училище им. Н. Э. Баумана), проф. О. М. Бя-
лик (Киевский политехнический институт)

075 Основы научных исследований: Учеб. для техн.
вузов/В. И. Крутов, И. М. Грушко, В. В. Попов и др.;
Под ред. В. И. Крутова, В. В. Попова. — М.: Высш.
шк., 1989. — 400 с.: ил.

ISBN 5-06-000043-5

Книга раскрывает основные формы индивидуальной и коллектив-
ной научной деятельности. Рассмотрена организация научно-исследова-
тельской работы в СССР и творческой деятельности студентов в выс-
шей школе.

В учебнике подробно освещены этапы научно-исследовательской
работы, включающие выбор направления научного исследования, поиск,
накопление и обработку научной информации, рекомендации по оформ-
лению результатов научной работы и внедрению их в производство.

О 1402070000(4309000000)—446

80—89

ББК 72.4(2)

001(01)—89

001

Учебное издание

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Крутов Виталий Иванович, Грушко Иван Макарович,
Попов Валерий Васильевич, Савельев Александр Яковлевич,
Сумароков Леонид Николаевич, Веников Валентин Андреевич
Когдов Николай Михайлович, Тимофеева Ольга Владимировна
Чус Александр Владимирович, Момот Анатолий Иванович

Заведующий редакцией А. В. Дубровский. Редактор Н. М. Щепина.
Художник В. Н. Хомяков. Художественный редактор Л. К. Громова.
Технический редактор Е. И. Герасимова. Корректор В. В. Кожуткина
ИБ № 7714

Изд. № ОТ-669. Сдано в набор 09.03.89. Подп. в печать 25.07.89.
Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать
высокая. Объем 21,0 усл. печ. л. 21,0 усл. кр.-отт. 21,73 уч.-изд. л.
Тираж 39 000 экз. Зак. № 285. Цена 1 руб.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул.,
д. 29/14

Владимирская типография Госкомитета СССР по печати
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

ISBN 5-06-000043-5

© Издательство «Высшая школа», 1989

«С первых лет обучения студенты должны втягиваться в исследовательскую работу, участвовать во внедрении ее результатов в производство. Только так можно воспитать настоящих ученых, творчески думающих специалистов»¹

ПРЕДИСЛОВИЕ

В современных условиях бурного развития научно-технической революции, интенсивного увеличения объема научной и научно-технической информации, быстрой сменяемости и обновления знаний особое значение приобретает подготовка в высшей школе высококвалифицированных специалистов, имеющих высокую общенаучную и профессиональную подготовку, способных к самостоятельной творческой работе, к внедрению в производственный процесс новейших и прогрессивных результатов.

С этой целью в учебные планы многих специальностей вузов включена дисциплина «Основы научных исследований», широко внедряются элементы научных исследований в учебный процесс. Во внеучебное время студенты принимают участие в научно-исследовательской работе, ведущейся на кафедрах, в научных учреждениях вузов, в студенческих объединениях (студенческие НИИ, лаборатории, конструкторские, проектные, экономические и другие бюро, научные отряды, проблемные группы и кружки).

В результате обобщения положительного опыта, накопленного в высших учебных заведениях, в 1983 г. была разработана и утверждена типовая учебная программа по дисциплине «Основы научных исследований», в соответствии с которой и подготовлен предлагаемый учебник. При написании отдельных разделов учебника был учтен опыт преподавания данной дисциплины во многих вузах страны.

В учебнике изложены основные положения, связан-

¹ Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. М., 1986. С. 28.

ные с организацией, постановкой и проведением научных исследований в форме, пригодной для любой специальности. Этим он отличается от других учебных пособий такого типа, предназначенных для студентов той или иной специальности.

Так как данный учебник предназначен для широкого круга специальностей, он не может включать исчерпывающий материал применительно к каждой специальности. Поэтому преподаватели, ведущие данный курс, могут применительно к профилю подготовки специалистов дополнить материал учебника изложением специфических вопросов (примеров) или сокращать по объему отдельные разделы, если это целесообразно и регламентируется отведенным учебным планом временем.

Учебник состоит из 13 глав. В главах I—II раскрываются значение науки для научно-технического прогресса в современных условиях и организация научно-исследовательской работы в СССР. Главы III—V посвящены методологическим вопросам научного творчества.

В главах VI—IX рассмотрены формы проведения исследовательской работы. Главы X—XII раскрывают вопросы завершения исследований. Глава XIII посвящена организации работы в научном коллективе.

Изучение вопросов, входящих в учебную программу данной дисциплины, окажется наиболее эффективным, если аудиторные занятия будут дополнены заданиями, предусмотренными учебно-исследовательской работой в соответствии с учебными планами или учебными программами, а также участием студентов в научно-исследовательской работе кафедр, научных учреждений вузов или научных (конструкторских, проектных и др.) объединениях студентов. Ознакомление с материалами учебника будет полезным также для аспирантов и молодых научных работников.

В написании учебника приняли участие д-р техн. наук, проф. В. А. Веников (главы I, VII, § 9.5); д-р техн. наук, проф. И. М. Грушко (§ 3.1, 3.2, главы IV, VI, § 9.1... 9.4, главы X, XII), д-р техн. наук, проф. В. И. Крутов (предисловие, § 2.1...2.3, заключение), инж. А. И. Момот (§ 2.4), канд. техн. наук, доц. В. В. Попов (§ 3.3, глава XIII), д-р техн. наук, проф. А. Я. Савельев, канд. техн. наук, доц. Н. М. Когдов (глава VIII), член-кор. АН СССР, д-р техн. наук, проф. Л. Н. Сумароков,

инж. О. В. Тимофеева (главы V, XI, приложения 1, 2), канд. техн. наук, доц. А. В. Чус (§ 3.3), канд. техн. наук, доц. Э. В. Гаврилов (глава VI).

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам учебника акад. Г. А. Николаеву (МВТУ им. Баумана), д-ру техн. наук, проф. О. М. Бялику и канд. техн. наук, доц. О. Н. Чкаловой (Киевский политехнический институт) за ценные замечания и предложения, учет которых при доработке рукописи позволил, по мнению авторов, повысить ее качество.

Замечания и предложения по улучшению книги присылать по адресу: 101430, Москва ГСП-4, ул. Неглинная, 29/14, издательство «Высшая школа».

Авторы

Наука — сфера исследовательской деятельности, направленная на получение новых знаний о природе, обществе и мышлении. В настоящее время развитие науки связано с разделением и кооперацией научного труда, созданием научных учреждений, экспериментального и лабораторного оборудования. Являясь следствием общественного разделения труда, наука возникает вслед за отделением умственного труда от физического и превращением познавательной деятельности в специфический род занятий особой группы людей. Появление крупного машинного производства создает условия превращения науки в активный фактор самого производства. В условиях научно-технической революции происходит коренная перестройка науки, уже не просто следующей за развитием техники, а обгоняющей ее, становящейся ведущей силой прогресса материального производства. Оказывая стимулирующее воздействие на общественное производство, наука пронизывает все факторы общественной жизни. Необходимость научного подхода в материальном производстве, в экономике и в политике, в сфере управления и в системе образования заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую отрасль деятельности.

Современное общество во всех его элементах и во всех видах его деятельности пронизано влиянием науки и техники. В наши дни наука становится во все большей мере производительной силой общества. Все формы физического и умственного труда: медицина, транспорт, связь, быт современного человека — испытывают на себе глубокое преобразующее действие научно-технического прогресса.

Классификация наук — это раскрытие их взаимной связи на основании определенных принципов и выражение этих связей в виде логически обоснованного расположения или ряда. Марксистская классификация наук раскрывает взаимосвязь *естественных, технических, общественных наук и философии*. В основе этой класси-

фикации лежат специфические особенности изучаемых различными науками объектов материального мира. «Классификация наук, из которых каждая анализирует отдельную форму движения, является вместе с тем классификацией, расположением согласно внутренне присущей им последовательности, самих этих форм движения, и в этом именно и заключается ее значение»¹.

Проблема классификации наук — это проблема структуры всего научного знания. Чтобы правильно показать ее современное состояние, а тем более тенденции ее перспективного развития, необходимо взглянуть на нее с исторической точки зрения. Тогда обнаруживается утрата прежней простоты и стройности в общей структуре науки, появление существенно новых моментов, противоречащих тем основам, на которые опиралось все строение научного знания в прошлом. Эти моменты усиливаются, и создается впечатление, что в настоящее время мы находимся на распутье: прежние взгляды на общую структуру науки начали ломаться, однако пока не настолько сильно, чтобы уступить место новым взглядам, а новые взгляды стали вступать в силу, но все же не настолько решительно и обстоятельно, чтобы вытеснить заметным образом старые. Старое и новое сосуществуют бок о бок, как бы пытаясь найти контакт или компромисс, как это нередко случается накануне коренного, революционного переворота, разрушающего крутым образом старое и прокладывающего решительно дорогу новому.

Не рассматривая картину развития науки во всей ее сложности, мы хотим предельно жестко, как бы в «чистом виде», выявить главные тенденции ее развития как системы научного знания. Разумеется, в реальной действительности все эти тенденции могут сосуществовать и переплетаться между собой. Основные современные тенденции развития классификации наук² заключаются в переходе от дифференциации наук к их интеграции. Здесь весьма существенна тенденция перехода от координации наук к их субординации и от одноаспектности наук в рассмотрении комплексности. Далее развитие классификации наук намечает переход от функциональности к субстратности. С самого начала своего возникновения, т. е. с XVI...XVII вв., науки выделялись и про-

¹ Энгельс Ф. Диалектика природы. М., 1982. С. 198.

² См.: Кедров Б. М. О современной классификации. Философия и современное естествознание. М., 1982.

должают выделяться до сих пор не по объекту (т. е. не по субстрату, или носителю движения), а по формам движения (т. е. по функции, или спецификации движения) или же по отдельным сторонам изучаемого предмета. Правда, хотя Энгельс, как это указано выше, построил сначала свою классификацию наук только по формам движения (функционально), но вскоре он пытался подвести под нее субстратную основу: массы совершают механическое движение, молекулы — физическое, атомы — химическое, белки — биологическое. Однако затем обнаружилось, что подобная однозначность между функциональностью и субстратностью в общем случае не имеет места. Например, атомы могут одновременно служить объектом и физики (атомной), и химии; точно так же молекулы могут быть предметом и химии, и физики (молекулярной). Живой организм составляет предмет и биологии, и химии, и физики, и кибернетики.

Ту же картину мы видим и в развитии общества. Отдельный предмет (объект) в качестве ступени исторического движения — та или иная социально-экономическая формация, взятая как целое, — должен изучаться совокупностью всех общественных наук и прежде всего тех, которые имеют дело с соответствующим экономическим базисом, политической и духовно-идеологической надстройками.

Технические науки есть специфическая система знания о целенаправленном преобразовании природных тел и процессов в технические объекты, о методах конструктивно-технической деятельности, а также о способах функционирования технических объектов в системе общественного производства.

Первые попытки суммирования научно-технических знаний привели к систематизации и классификации этих наук, получившей свое яркое отражение у Энгельса.

Далее эта классификация потребовала развития и объединения, при котором внутри каждой науки сохраняются свои свойства.

Изучая ряд связанных между собой движений, современная классификация отвечает внутренним свойствам, присущим объектам определенной последовательности. Свое организационное проявление классификация наук получает в построении систем научно-исследовательских институтов, структуре высших учебных заведений, библиотек и т. д.

Здесь двояко выступает закон отрицания отрицания.

В одном смысле имеется возврат к исходному однозначному соотношению: один объект (предмет) — одна наука, но возврат совершается на иной, более высокой основе. В другом смысле отрицание отрицания проявляется в том, что началом всего научного знания было возникновение в античности единой недифференцированной науки под эгидой философии (натурфилософии). На высшей ступени развития должен будет проявиться как бы возврат к единой науке, но, разумеется, в более глубоко и содержательном ее понимании.

Идея о том, что со временем все науки сольются в единую науку, как сказано выше, была высказана Марксом. Это предвидение Маркса оправдывается всем ходом эволюции современного научного знания, его структуры и классификации наук. И наконец, весьма существенным для будущей классификации будет переход от одномерности к многомерности в изображении системы наук. Обсуждение вопроса о графическом изображении будущей структуры единой науки в настоящее время было бы достаточно беспредметным, поскольку пока еще неясно в деталях взаимоотношение между целым и его внутренними частями, а главное — между самими этими частями внутри целого при условии, что они потеряли свою былую изолированность и даже былую самостоятельность. Можно уверенно утверждать, что при постановке и решении такой задачи придется отказаться не только от одномерности, но и двумерности в изображении связей между науками. Будущая классификация наук потребует многомерности в ее изображении.

Принципы научной политики социалистического государства были заложены В. И. Лениным, им в свое время было высказано важное положение о неразрывности связей науки с техникой и производством, подчеркнуто то обстоятельство, что в естествознании и технике нельзя считать какой-либо раздел завершенным, так как дальнейшее развитие науки всегда приводит к новым результатам и открытиям. Это сохраняет силу и в настоящее время: советская наука строится именно на принципах одновременного развития фундаментальных и прикладных наук, взаимно обогащающих друг друга.

После победы Великой Октябрьской социалистической революции В. И. Ленин выдвигает тезис «производительность труда — это в последнем счете самое важное, самое главное для победы нового общественного

строю»¹. И тем самым обращает внимание на ведущую роль науки в повышении эффективности человеческого труда. Ленинские идеи об использовании науки в целях повышения эффективности деятельности людей сейчас исключительно важны, поскольку для современной эпохи характерно все крепнущее сближение техники и естественных наук. Будучи инициатором плана ГОЭЛРО, где впервые в истории науки и техники был осуществлен системный подход к решению научно-технических задач, В. И. Ленин рассматривал науку как революционизирующую движущую силу прогрессивного развития общества. Именно ему принадлежит знаменитое изречение «Знание — великая гордость человечества», а его классическая формула «Коммунизм есть Советская власть плюс электрификация всей страны» сыграла важную роль в развитии науки и техники.

Основные принципы современной научной политики СССР формулируются в решениях XXVII съезда КПСС, Программе Коммунистической партии Советского Союза, где указывается, что коренной вопрос экономической стратегии партии — это кардинальное ускорение научно-технического прогресса, обновление производственного аппарата путем широкого внедрения передовой техники. На основе ускорения научно-технического прогресса, коренных преобразований в технике и технологии, мобилизации всех технических, организационных, экономических и социальных факторов предстоит добиться значительного повышения производительности труда, без чего, как учил В. И. Ленин, окончательный переход к коммунизму невозможен. В предстоящем 15-летию намечается увеличение производительности труда в 2,3...2,5 раза. Задача эта будет осуществляться путем широкого использования в производственном процессе последних достижений науки и техники. Научно-технический прогресс должен быть нацелен на радикальное улучшение использования природных ресурсов, сырья, материалов, топлива и энергии на всех стадиях от добычи и комплексной переработки сырья до выпуска и использования конечной продукции, на создание безотходных технологий, на сохранность окружающей среды.

Общее направление технического прогресса, определяющее в нашей стране системное развитие техники, основывается на программных положениях КПСС о пере-

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч. Т. 39. С. 21.

растании социализма в коммунизм, которые применительно к технике конкретизируются в технической политике.

Техническая политика, отражая классовый подход к техническому прогрессу, определяет его научно обоснованные тенденции, органически связанные с задачами коммунистического строительства. Техническая политика учитывает данные научно-технических прогнозов, реальные ресурсы, которыми располагает страна, а также задачи внешней политики, определяя предпочтительные направления технического прогресса.

Политика КПСС в области науки нацелена на создание более благоприятных условий для ускорения достижения экономических и социальных целей, духовного развития общества. Для этого необходимы техническое перевооружение народного хозяйства, тесное смыкание науки с производством при использовании в этих целях новых форм интеграции. Управляя развитием науки, партия обеспечивает правильное соотношение фундаментальных и прикладных исследований и конструкторских разработок, а также внедрение их результатов в массовое производство. Это сегодня наиболее сложная организационная задача. Ее решение в условиях социалистического общества обеспечивается на основе единого государственного планирования.

Действенным инструментом управления развитием науки является также финансирование и материальное обеспечение научных исследований. Финансы и материальные ресурсы предназначаются в первую очередь для наиболее важных и перспективных направлений научно-технического прогресса. Все большее распространение получает принцип финансирования не отдельных научно-исследовательских подразделений, а крупных научных программ. Программно-целевой подход к научной деятельности оптимизирует внутренние тенденции научного познания и управление им, расширяет возможности планирования науки, увязывая ее внутренние стимулы с организационными вопросами совершенствования структуры научных коллективов.

Примерами успешной реализации в нашей стране крупнейших научных программ являются овладение атомной энергией, освоение космического пространства и др. Крупные разработки, требующие участия десятков или сотен предприятий, различных министерств и ведомств, можно реализовать только при программно-це-

левом планировании и управлении. Программа — это комплекс работ, преследующих важную для народного хозяйства цель (например, создание и освоение новой технологии). Инструмент для их организации предусматривает вопросы финансирования, ресурсного обеспечения, управления, состава участников разработки, их взаимодействия и т. д. По каждой программе назначаются свой руководитель, головная организация, головное министерство. Контроль за реализацией программы различного уровня осуществляется Государственным комитетом СССР по науке и технике, Госстроем СССР, Госпланом СССР, головными министерствами и ведомствами.

Главной особенностью программно-целевого метода является ориентация на достижение конечного народнохозяйственного эффекта с учетом максимально возможного количества влияющих факторов. Цель, которая ставится перед системой, определяется, как правило, двояко. В одном случае она задается заранее. После этого возможности системы оцениваются исходя из сформулированной цели и намечаются меры по ее достижению. Часто под заданную цель создаются соответствующая система и органы управления ею. Пример такого подхода — программа строительства и управления Волжским автомобильным заводом.

В другом случае цель выявляется из данного состояния системы и выступает как ожидаемый к определенному времени результат, как будущее состояние системы. Для этого проводится предварительный анализ состояния системы, ее реальных возможностей, на основе чего и определяется цель. При этом совершенствуется существующая система управления без принципиального изменения его структуры.

Целевая ориентация программно-целевого метода способствует подчинению локальных планово-управленческих задач единым народнохозяйственным целям.

В целевых программах отражается системный подход к развитию народного хозяйства, намечаются пути совершенствования системы управления для ускоренного достижения конечного результата.

Принцип системного подхода в управлении программой реализуется с помощью специально выделенного органа с соответствующими полномочиями по координации работ и финансированию исполнителей.

В решениях партии и правительства отражена цело-

стная концепция совершенствования планирования и управления научными исследованиями на базе программно-целевых методов.

Одна из главных задач политики КПСС в области науки — дальнейшее совершенствование состава научных работников, подготовки квалифицированных кадров, в том числе для производства и экспериментально-производственных звеньев научных организаций. Интересы научно-технического прогресса требуют, чтобы при обеспечении пропорционального развития всех отраслей наук были определены и научно обоснованы темпы опережающего роста численности специалистов по ведущим отраслям. Эти соотношения не являются неизменными, постоянно корректируются в соответствии с перспективами развития науки и производства.

Таким образом, научно-техническая революция непрерывно выдвигает все новые неотложные задачи перед высшей и средней специальной школой в направлении повышения качества подготовки специалистов, способных в практической работе использовать самые последние достижения науки и техники и активно участвовать в получении новых научных результатов.

ГЛАВА II

ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В СССР

2.1. Организационная структура науки в СССР

Генеральные направления развития научных исследований в СССР определяются Коммунистической партией Советского Союза. В новую редакцию программы, утвержденную XXVII съездом КПСС, включен специальный раздел «Идейно-воспитательная работа, образование, наука и культура» и сформирована политика партии в области науки, нацеленная на создание благоприятных условий для динамического прогресса всех отраслей знания, на концентрацию кадров, материальных и финансовых ресурсов для первостепенного развития наиболее перспективных направлений науки, призванных ускорить достижения намеченных экономических и социальных целей, духовного развития общества, обеспечивать надежную обороноспособность страны.

В Основных направлениях экономического и социаль-

ного развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 г. входит специальный раздел «Ускорение научно-технического прогресса и развития науки». Значительное внимание реализации результатов научных исследований в народном хозяйстве уделено в других разделах этого документа.

По важнейшим проблемам развития науки и техники принимаются совместные постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР. По вопросам развития общественных наук постановления принимает ЦК КПСС.

Государственное руководство организацией и развитием научных исследований осуществляется Верховным Советом СССР, его Президиумом. Из депутатов Верховного Совета СССР формируются специальные комиссии, осуществляющие контроль и оценки результатов научно-исследовательских работ, выполняемых в рамках тех или иных министерств и ведомств.

Совет Министров СССР, являясь высшим органом государственного управления, осуществляет общее руководство научными исследованиями в стране, обеспечивает единую политику в области науки и техники, организует разработку прогнозов, определяет основные направления и программы работ по решению важнейших научных и научно-технических проблем, принимает конкретные меры, направленные на повышение эффективности научных исследований, организует использование в народном хозяйстве наиболее выдающихся научных результатов.

Советом Министров СССР утверждаются государственные пятилетние планы научных исследований, рассматриваются комплексные научно-технические программы, разрабатываются и выносятся на рассмотрение Верховного Совета СССР перспективные и текущие планы экономического и социального развития страны. Совет Министров СССР направляет работу Академии наук СССР.

Руководство развитием научных исследований в стране Совет Министров СССР осуществляет через специальные межотраслевые органы управления — государственные комитеты, на которые возложены межотраслевые функции обеспечения научно-технического прогресса. Им даны права издавать межведомственные нормативные акты, контролировать ход и результаты их выполнения. В числе таких комитетов Государственный плановый комитет СССР (Госплан СССР), Государственный коми-

тет СССР по науке и технике (ГКНТ), Государственный комитет СССР по делам строительства (Госстрой СССР), Государственный комитет СССР по материально-техническому снабжению (Госснаб СССР), Комитет народного контроля СССР (КНК СССР), Государственный комитет стандартов СССР (Госстандарт), Государственный комитет СССР по внешним экономическим связям (ГКЭС), Государственный комитет СССР по охране природы (Госкомприрода) и Государственный комитет СССР по материальным резервам (Госкомрезерв).

ГКНТ определяет основные направления науки и техники, меры по повышению эффективности научных исследований, по внедрению полученных результатов в народное хозяйство, организует контроль за ходом внедрения, научно-техническую информацию; координирует разработку межотраслевых проблем, обеспечивает научно-техническое сотрудничество с зарубежными странами. Важными задачами ГКНТ являются также оценка уровня развития науки и техники по отраслям народного хозяйства, контроль за выполнением научных исследований по основным направлениям науки и техники; изучение и пропаганда передового опыта по созданию современной техники в СССР и за рубежом. ГКНТ осуществляет методическое руководство органами научно-технической информации и Выставкой достижений народного хозяйства СССР.

При решении научных и научно-технических вопросов ГКНТ широко опирается на мнение научной общественности. С этой целью при ГКНТ создаются научные советы по важнейшим комплексным и межотраслевым проблемам, выполняющие роль научно-консультационных органов ГКНТ. В их состав входят ведущие ученые страны, работающие в том числе и в высшей школе.

Совместно с Госстроем СССР, Академией наук СССР ГКНТ готовит и представляет в Госплан СССР программы по решению важнейших научно-технических проблем.

ГКНТ возглавляется Председателем Комитета, являющегося одновременно заместителем Председателя Совета Министров СССР, назначаемым Верховным Советом СССР. Заместители председателя и члены комитета (в том числе не являющиеся штатными работниками комитета) назначаются Советом Министров СССР.

В соответствии с директивами ЦК КПСС и решениями Совета Министров СССР планы экономического и со-

поручено выдавать охранные документы на изобретения¹ (авторские свидетельства), а также на открытия², товарные знаки, обеспечивать всемерное развитие изобретательского дела в стране, защищать за рубежом интересы страны в области правовой охраны достижений советских ученых в науке и технике, принимать участие в патентовании изобретений за границей, в продаже лицензий, в организации патентной информации. Госкомизобретений действует в тесном контакте с другими государственными комитетами и министерствами, а также с Всесоюзным обществом изобретателей и рационализаторов (ВОИР) (см. 2.3).

Единую техническую политику в области стандартизации и методологии осуществляет Госстандарт с целью обеспечения ускорения научно-технического прогресса, повышения качества продукции. Госстандарт организует силами министерств, ведомств, отраслевых научных и производственных организаций разработку стандартов и контроль за их соблюдением во всех отраслях народного хозяйства.

Выполнение научных исследований в соответствии с утвержденными планами и программами требует своевременного обеспечения исполнителей соответствующими материалами, приборами, оборудованием и т. п. Выполнение этой чрезвычайно важной для научных исследований задачи организуется Госнабмом СССР и его территориальными управлениями на основе своевременно представляемых в Комитет заявок. Заявки формируются участниками разработки плановых заданий в установленные сроки.

¹ Изобретением признается новое и обладающее существенными отличиями техническое решение задачи в любой области народного хозяйства, социально-культурного строительства или обороны страны, имеющее положительный эффект в зависимости от доли творческого акта и его качественным уровнем: Изобретения условно делятся на пять творческих уровней: к 1-му и 2-му относятся мелкие усовершенствования и технические решения; 3-й уровень — средние; 4-й и 5-й уровни — это крупные изобретения, в том числе пионерские, открывающие принципиально новые этапы в развитии науки и техники. Практика показала, что мелкие и средние изобретения составляют более 96 % от общего их числа.

² Открытием признается установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей, свойств явлений материального мира, вносящих коренное изменение в уровень познания (данное определение не распространяется на открытия: географические, археологические палеонтологические; месторождений полезных ископаемых; в области общественных наук).

циального развития страны разрабатываются Госпланом СССР. В эти планы включаются также разделы, определяющие развитие науки, техники, технологии, составляются планы внедрения новой и передовой техники и технологии в народное хозяйство.

Планирование развития и повышения эффективности народного хозяйства страны — задача чрезвычайно сложная и многогранная. Действительно, в планах должны научно обоснованно сочетаться удовлетворение потребности и ресурсная обеспеченность не только по отраслям народного хозяйства, но и по регионам страны. Последнее предусматривает необходимость наиболее целесообразного размещения производительных сил по территории страны с одновременным решением социальных задач комплексного развития каждого региона, совершенствования межрегиональных экономических и транспортных связей, рационального использования природных и трудовых ресурсов.

Решение перечисленных задач управления народным хозяйством основывается на глубоких научных методах планирования, объединенных в общесоюзной автоматизированной системе плановых расчетов (АСПР Госплана СССР), опирающейся на широкое использование ЭВМ, разработку моделей планов, алгоритмов расчетов и программ решения плановых задач.

Одним из блоков АСПР является подсистема «Высшее и среднее специальное образование», охватывающая вопросы количества подготовки специалистов по отдельным направлениям науки и техники и рационального размещения подготовки специалистов по всей территории страны.

В тесном контакте с ГКНТ и Госпланом СССР работает Госстрой СССР, осуществляющий единую техническую политику в области строительства и руководство строительной наукой.

Под руководством Госстроя СССР разрабатываются программы и координационные планы по решению важнейших научно-технических проблем в области строительства, рассматриваются проекты планов научно-исследовательских работ соответствующих отраслевых министерств (союзных и республиканских) в области строительства и строительных материалов.

Общее руководство в стране изобретательской работой осуществляет Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий (Госкомизобретений). Ему

Советский Союз осуществляет широкое сотрудничество с зарубежными странами и прежде всего с братскими социалистическими странами. С этой целью под руководством ГКЭС разрабатываются планы совместных научных исследований, определяются партнеры, заключаются контракты, разрабатываются условия использования совместно полученных результатов. ГКЭС осуществляет контроль за реализацией принятых плановых обязательств.

В последнее десятилетие особенно важными и актуальными стали задачи охраны окружающей среды, правильное взаимодействие с ней человека в условиях производства и использование природных ресурсов. Решение этих задач в СССР возложено на Государственный комитет СССР по охране природы. Им же разрабатываются прогнозы экологической обстановки по регионам, крупным промышленным центрам на основе систематического сбора и обработки метеорологических наблюдений, организуется контроль за выбросом вредных веществ в атмосферу, воду и почву, разрабатываются рекомендации и выдаются задания министерствам и ведомствам по снижению таких выбросов за счет применения безотходных технологий, использования различных очистных и улавливающих сооружений. Государственный комитет СССР по охране природы создает методики расчета краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды, климатической, экологической и геофизической обстановки.

Контроль за качественной и своевременной реализацией плановых заданий на научно-исследовательские разработки осуществляется КНК СССР, привлекающим для этих целей научных работников различных научных учреждений и производственных организаций. В каждом научном учреждении организуются на общественных началах из местных сотрудников группы (посты) народного контроля, которые являются помощниками КНК СССР в осуществлении контрольных мероприятий.

Руководство отраслями народного хозяйства обеспечивают союзные и союзно-республиканские министерства. Они проводят единую техническую политику в отрасли и организуют внедрение важнейших результатов научных исследований в подведомственных предприятиях и организациях.

Министерства обеспечивают разработку научно-технических проблем, актуальных для данной отрасли, внедрение полученных результатов, участвуют в разработке

межотраслевых научно-технических проблем, осуществляют руководство научными и проектно-конструкторскими организациями страны, обеспечивают их средствами, штатами, производственно-экспериментальной базой для изготовления макетов и опытных образцов, способствуют установлению тесных творческих связей научных и производственных организаций отрасли и научными учреждениями Академии наук СССР и высшими учебными заведениями.

Министерства широко опираются на Научно-технические советы, работающие на общественных началах, в которые входят ведущие ученые, специалисты отрасли, академий наук и вузов.

Союзно-республиканские министерства осуществляют руководство предприятиями и организациями отрасли, расположенными на территории союзных республик, через аналогичные республиканские министерства, подчиненные одновременно и Советам Министров союзных республик.

Высшим научным учреждением Советского Союза является Академия наук СССР, осуществляющая фундаментальные научные разработки в области общественных и естественных наук и координирующая такие исследования во всех научных учреждениях и высших учебных заведениях страны.

Академия наук СССР подчинена непосредственно Совету Министров СССР.

В каждой союзной республике (кроме РСФСР) имеются свои республиканские академии. Действительные члены академии (академики), члены-корреспонденты и иностранные члены избираются общим собранием не реже одного раза в два года.

Общее собрание членов академии является их высшим органом. Раз в четыре года Общее собрание избирает президиум, президента, осуществляющих руководство работой академией. С этой целью при Президиуме созданы соответствующие организации, обеспечивающие всю научно-организационную работу.

В составе Академии наук СССР четыре секции, включающие 17 отделений, а также Сибирское отделение АН СССР (имеющие ряд региональных филиалов), Научные центры АН СССР (Дальневосточный, Ленинградский, Уральский) и филиалы АН СССР (Башкирский, Дагестанский, Казанский, Карельский, Кольский и Коми).

Академии наук СССР подчинен ряд научно-исследовательских институтов, выполняющих исследования по важнейшим направлениям фундаментальных наук, непосредственно влияющих на состояние научно-технического прогресса в соответствующих отраслях производства.

Академия наук СССР утверждает координационные планы и программы научно-исследовательских работ в области общественных и естественных наук, оценивает состояние и результативность научных исследований как в подведомственных научных учреждениях, так и в академиях наук союзных республик, в высших учебных заведениях по важнейшим проблемам, организует научные советы.

В целях координации научных исследований, выполняемых научными учреждениями академий наук СССР и союзных республик, при президиуме АН СССР создан Совет по координации, для укрепления связи с высшей школой — Совет по связям научных учреждений Академии наук СССР и высшими учебными заведениями.

Отделения академий СССР и союзных республик осуществляют научное руководство по соответствующим отраслям науки и отчитываются перед общим собранием и президиумом за результативность проводимых исследований.

В некоторых отраслях наук в рамках соответствующих министерств созданы отраслевые академии. Среди них Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина (ВАСХНИЛ), входящая в Агрокомплекс; Академия медицинских наук СССР, подчиненная Министерству здравоохранения СССР, и Академия педагогических наук СССР, подчиненная Государственному комитету СССР по народному образованию.

В составе ВАСХНИЛ работает ряд филиалов и научно-исследовательских институтов, выполняющих обязанности головных научных учреждений по основным отраслям сельскохозяйственной науки. ВАСХНИЛ имеет отраслевые и территориальные отделения, причем отраслевые отделения объединяют исследования одной или нескольких отраслей сельскохозяйственной науки и тесно связаны с деятельностью Агропромышленного комплекса.

Высшим органом ВАСХНИЛ, как и АН СССР, является Общее собрание академии, которое рассматривает задачи и проблемы развития сельскохозяйственной науки, избирает членов и членов-корреспондентов акаде-

мии. Организационную работу и общее руководство в период между Общими собраниями осуществляет Президиум.

Академия медицинских наук СССР координирует научные исследования в области медицинской науки, рассматривает и определяет практическую ценность открытий в области медицины, обеспечивает наиболее актуальную направленность научных исследований, в том числе и в медицинских высших учебных заведениях.

В составе АМН СССР работают научно-исследовательские институты, клиники. Высшим органом АМН СССР является Общее собрание, на котором избираются члены и члены-корреспонденты, решающие вопросы развития медицинской науки.

Академия педагогических наук СССР (АПН СССР) организует и координирует научные исследования в стране в области педагогики, педагогической технологии, возрастной физиологии. В составе АПН СССР работают ее филиалы и институты.

Высшим органом является Общее собрание, на котором избираются члены и члены-корреспонденты.

Значительный объем научных исследований в стране выполняется высшими учебными заведениями, часть которых входит в систему Государственного комитета СССР по народному образованию. Другая часть вузов подчинена отраслевым министерствам (например, медицинские институты — Министерству здравоохранения СССР и союзных республик, сельскохозяйственные вузы — Агропрому СССР и т. д.).

В области научных исследований на Государственный комитет СССР по народному образованию возложены задачи наиболее полного использования научного потенциала вузов для решения актуальных для народного хозяйства и культуры страны научных и научно-технических проблем.

С этой целью к выполнению научных исследований широко привлекается профессорско-преподавательский состав вузов, составляющий основное научное ядро высшей школы. Выполнение научных исследований включается в индивидуальный план каждого преподавателя и обеспечивается средствами из госбюджета.

В вузах, обеспечивающих высокую эффективность научных исследований по актуальным для развития науки направлениям, организуются научные учреждения — проблемные научно-исследовательские лаборатории,

а в некоторых случаях и самостоятельные научные учреждения — научно-исследовательские институты. Для проблемных лабораторий и НИИ выделяются специальные составы научных и научно-технических сотрудников.

На кафедрах, в проблемных лабораториях и НИИ разрабатываются в основном фундаментальные и поисковые темы. Прикладные исследования выполняются профессорами и преподавателями, как правило, в дополнительное рабочее время (сверх шестичасового рабочего дня) с дополнительной оплатой на основе хозяйственных договоров с организациями и предприятиями отраслевых министерств и ведомств. Для выполнения хозяйственных исследований кафедры имеют право в установленных пределах привлекать дополнительных штатных работников, на условиях совместительства учебно-вспомогательный персонал, аспирантов и студентов.

Для организации хозяйственных научных исследований в вузах создается система управления, называемая Научно-исследовательским сектором (НИС), осуществляющим контроль за своевременностью и качеством выполняемых исследований, правильностью финансовых расчетов. С этой целью при НИСе организуется бухгалтерия.

В тех случаях, когда связь кафедр с отраслевыми министерствами становится стабильной, а проводимые на них прикладные исследования — результативны, совместным решением Государственного комитета СССР по народному образованию и отраслевого министерства организуются отраслевые научно-исследовательские лаборатории со штатами и средствами, выделяемыми отраслевыми министерствами.

Объем и уровень проводимых исследований в некоторых вузах оказался настолько высоким, что постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР в 70 наиболее крупных высших учебных заведениях были созданы единые научные учреждения, названные Научно-исследовательскими частями (НИЧ). В их состав вошли все кафедры и научные учреждения, кроме научно-исследовательских институтов, сохранивших свою самостоятельность.

Таким образом, высшая школа страны кроме подготовки специалистов и научно-педагогических работников (через аспирантуру) выполняет большой объем важнейших для страны исследований.

Эффективность проводимых в вузах исследований обуславливается наличием в их составе ученых и специалистов различного профиля, что создает особо благоприятные условия для выполнения комплексных научных разработок, обеспечивает мобильность научных коллективов.

Концентрация научных исследований на кафедрах, в научных учреждениях вузов под руководством высококвалифицированных ученых с одновременной подготовкой научной смены через аспирантуру, возможностью отбора и оставления в вузах наиболее талантливых выпускников, создает благоприятные условия для формирования в вузах научных школ, имеющих высокий научный авторитет в соответствующих отраслях народного хозяйства.

Вместе с тем имеющиеся в высшей школе возможности в части научно-исследовательской работы использованы не полностью, поэтому в Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 г., утвержденных XXVII съездом КПСС, предусмотрена необходимость «принять меры к значительному улучшению использования научного потенциала высшей школы, существенно расширить объем проводимых научных исследований и разработок, добиться резкого повышения их народнохозяйственной отдачи».

2.2. Подготовка, использование и повышение квалификации научно-технических кадров и специалистов народного хозяйства

В СССР большое внимание уделяется подготовке научных и научно-педагогических кадров. Основной формой такой подготовки является аспирантура, открываемая при высших учебных заведениях и научно-исследовательских институтах, располагающих высококвалифицированными учеными, способными обеспечить руководство аспирантами. Подготовка кадров через аспирантуру осуществляется по специальностям научных работников, номенклатура которых разрабатывается и утверждается Государственным комитетом СССР по науке и технике.

Решение об открытии аспирантуры в вузах и отраслевых научных учреждениях принимается Государственным комитетом СССР по народному образованию, в академических научных учреждениях — Президиумом

Академии наук СССР или союзной республики в зависимости от подчиненности научного учреждения.

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в стране организуется на основе планов, разрабатываемых министерствами (ведомствами), Советами Министров союзных республик (в пределах заданий по подготовке научных кадров, предусматриваемых в планах развития народного хозяйства СССР) и утвержденных Государственным комитетом СССР по науке и технике совместно с АН СССР и Государственным комитетом СССР по народному образованию. Учеба в аспирантуре организуется с отрывом от производства (очная сроком на 3 года) и без отрыва от производства (заочная сроком на 4 года). В очную аспирантуру принимаются специалисты в возрасте до 35 лет, в заочную — до 45 лет. Для поступления в очную аспирантуру необходим двухлетний стаж производственной работы после окончания вуза или сразу после окончания вуза на основе рекомендаций советов вуза или факультетов, выдаваемых молодым специалистам, наиболее успешно закончившим вуз и проявившим склонность к научно-исследовательской работе еще в период обучения в вузе.

Для поступления в аспирантуру необходимо сдать вступительные экзамены. В процессе обучения в соответствии с утвержденным индивидуальным планом аспиранты сдают кандидатские экзамены.

Для каждого из поступивших в аспирантуру утверждается научный руководитель, который консультирует аспиранта и контролирует ход выполнения индивидуального плана, утвержденного Советом вуза (факультета) или научного учреждения. Аспирантам утверждается также тема их диссертационной работы.

К сроку окончания аспирантуры аспирант обязан сдать все кандидатские экзамены и представить в спецсовет кандидатскую диссертацию.

В тех случаях, когда необходимо подготовить научного работника определенного профиля, вуз, научные учреждения или другая организация могут направить своего работника в так называемую целевую аспирантуру, по окончании которой он в обязательном порядке возвращается на работу в направившее его учреждение.

Если преподаватель или специалист народного хозяйства в процессе выполнения научно-исследовательской темы получил достаточный материал для подготовки диссертации, он может воспользоваться очной годичной

аспирантурой для завершения работы (при условии сданных экзаменов). За обучающимися в годичной аспирантуре сохраняется должность и выплачивается основной оклад по месту работы.

Специалисты могут работать над диссертацией и вне аспирантуры на правах соискателя. Соискателями ученой степени кандидата наук могут быть специалисты, имеющие высшее образование, опыт работы по специальности и сочетающие производственную, научную или педагогическую деятельность с работой над диссертацией.

Соискатели прикрепляются к определенному вузу или научному учреждению, обеспечивающему условия для сдачи кандидатских экзаменов и консультаций по избранной теме, даваемых утвержденным для соискателя научным руководителем. Тема диссертации утверждается Советом вуза.

После завершения разработки диссертационной темы оформляется диссертация, подлежащая защите на специализированном совете. Такие советы организуются Высшей аттестационной комиссией при Совете Министров СССР (ВАК СССР) в научных учреждениях и высших учебных заведениях, располагающих высококвалифицированными кадрами ученых соответствующего профиля. В состав спецсоветов могут привлекаться специалисты с ученой степенью и из других научных учреждений или вузов. Каждому спецсовету при его организации утверждаются номера специальностей научных работников, по которым этот совет может организовывать защиты диссертаций на соискание ученой степени кандидата или доктора наук.

В целях более глубокого анализа диссертации спецсоветы предварительно назначают оппонентов: при защите докторской диссертации — три доктора наук и ведущая организация; при защите кандидатской диссертации — один доктор, один кандидат наук и ведущая организация, докладывающие на заседании спецсовета свои рецензии и предложения.

Защита диссертации признается успешной, если в результате тайного голосования за присуждение искомой ученой степени высказалось более 50 % членов спецсовета, участвовавших в защите.

Результаты защиты диссертации (протокол, решение) спецсоветы направляют в ВАК СССР, осуществляющую контроль за деятельностью спецсоветов. С этой целью

в составе ВАК СССР организуются экспертные советы, состоящие из ведущих ученых страны. Ими осуществляется выборочный контроль за правильностью организации защиты и решения, принимаемого спецсоветом о присуждении ученой степени кандидата наук. Окончательное решение о выдаче диплома кандидата наук принимается коллегией ВАК СССР. Решения спецсоветов о присуждении ученой степени доктора наук являются рекомендательными, а окончательное решение о выдаче диплома доктора наук при положительной рекомендации экспертного совета принимается Президиумом ВАК СССР.

ВАК СССР также рассматривает предложения Советов научных учреждений и принимает решения о присвоении ученых званий старшего научного сотрудника, а также профессора, если соискатель работает в учреждении, не входящем в систему высшей школы.

Присвоение звания старшего научного сотрудника лицам, работающим в системе Академии наук СССР, осуществляется Президиумом АН СССР, а звание доцента или профессора лицам, работающим в высших учебных заведениях, осуществляется Коллегией Государственного комитета СССР по народному образованию.

В ведущих или других крупных вузах, располагающих высококвалифицированными научными кадрами, утверждаются должности стажеров-преподавателей, на которые направляются сотрудники вузов, нуждающиеся в квалифицированных преподавателях данного профиля. Таким образом, должности стажеров-преподавателей используются только целевым назначением. Научным руководителем стажера-преподавателя является заведующий той кафедры, на которую зачислен данный стажер, и один из профессоров кафедры. Каждому стажеру утверждается индивидуальный план. За месяц до окончания стажировки они проходят аттестацию специальной комиссией, которая выносит рекомендацию о возможности использования стажера-преподавателя на педагогической работе.

В целях повышения эффективности разработки актуальных проблем науки, техники и культуры, совершенствования подготовки научно-педагогических и научных кадров высшей квалификации — докторов наук, по постановлению ЦК КПСС и Совета Министров СССР создается новая форма подготовки кадров — докторантура, как высшая ступень в единой системе непрерывного образования в стране.

Докторантура организуется Государственным комитетом СССР по народному образованию и Академией наук СССР с участием заинтересованных министерств и ведомств СССР при ведущих вузах, научных учреждениях и организациях, располагающих высококвалифицированными научными кадрами и необходимой исследовательской и экспериментальной базой. Докторантура открывается с отрывом от производства со сроком подготовки до трех лет и в нее направляются кандидаты наук в возрасте до 40 лет, имеющие научные достижения, проявившие себя перспективными научно-педагогическими работниками. Докторанты при необходимости могут командироваться в ведущие отечественные и зарубежные научные центры. Срок обучения в докторантуре засчитывается в стаж научно-педагогической работы.

В современных условиях научно-технической революции чрезвычайно важной задачей является систематическое пополнение знаний специалистов результатами последних достижений науки, техники и культуры. С этой целью в нашей стране сформирована система повышения квалификации, состоящая из институтов повышения квалификации, подчиненных соответствующим отраслевым министерствам и ведомствам, и факультетов повышения квалификации, организованных в основном в высших учебных заведениях. Каждый специалист страны обязан один раз в пять лет пройти через систему повышения квалификации и обновить таким образом свои знания. Преподают в таких институтах и на факультетах высококвалифицированные специалисты народного хозяйства, профессора и преподаватели вузов.

В некоторых случаях оказывается необходимым осуществить быструю переподготовку специалистов по новейшим направлениям науки и техники, по которым еще не сложились соответствующие специальности. С этой целью в основном в ведущих вузах на базе сложившихся научных школ организуются так называемые специальные факультеты со сроком обучения от десяти месяцев до двух лет по дневной или вечерней форме. Слушателей на такие факультеты направляют организации, заинтересованные в получении специалистов данного направления. Такие факультеты в свое время были организованы по робототехнике, диффузионной сварке и по ряду других направлений.

За всеми специалистами, направленными на обучение

в систему повышения квалификации, сохраняется зарплата по месту их работы.

Для подготовки и переподготовки высшего руководящего состава народного хозяйства на уровне министерств, производственных объединений, руководителей крупных промышленных предприятий в СССР организована Академия народного хозяйства со сроком обучения до двух лет. Академия подчинена Совету Министров СССР.

2.3. Научные общественные организации

Строительство коммунизма в СССР характеризуется активным участием широких масс трудящихся в управлении государством, в руководстве хозяйственным и культурным строительством, повышением роли общественных организаций в жизни нашей страны.

Конституция СССР гарантирует гражданам СССР свободу научного и технического творчества, которая обеспечивается широким развертыванием научных исследований, изобретательства и рационализаторской деятельности.

Государство создает необходимые для этого условия, поддерживает добровольные общества и творческие союзы.

Ученые, специалисты предприятий, организаций, научных учреждений и вузов, аспиранты и студенты в зависимости от интересов участвуют в работе различных общественных научных объединений, к числу которых относится прежде всего Всесоюзный совет научно-технических обществ (ВСНТО), Всесоюзное общество изобретателей и рационализаторов (ВОИР), Всесоюзное общество «Знание» и др.

Каждое общество имеет свой Устав, регламентирующий формы работы общества, обязанности и права членов, структуру, руководство и средства.

Всесоюзный совет научно-технических обществ (ВСНТО) объединяет ряд научно-технических обществ (НТО), организованных по производственному признаку. НТО являются добровольными массовыми организациями, в которые входят научные работники, инженеры, техники, специалисты, рабочие-новаторы, преподаватели и студенты высших и учащиеся средних технических и профессионально-технических учебных заведений.

НТО призваны содействовать повышению эффектив-

ности общественного производства и качества работы, ускорению темпов роста производительности труда путем развития творческой инициативы и активности членов общества, широкого использования в народном хозяйстве достижений, полученных в результате научных исследований, выявления и использования резервов производства, укрепления творческой связи работников науки и производства, всемерного привлечения молодежи к научно-техническому творчеству.

Научно-технические общества работают под руководством Всесоюзного Центрального Совета Профессиональных Союзов (ВЦСПС) в тесном контакте с отраслевыми министерствами, ведомствами, Государственными комитетами, АН СССР, с высшей и средней специальной школой, с местными Советами народных депутатов, комсомолом, другими общественными организациями.

Научно-технические общества состоят из действительных и юридических членов общества. Действительными членами могут быть научные работники, инженеры, техники, специалисты, рабочие-новаторы производства, студенты высших и учащиеся средних и профессионально-технических учебных заведений. Действительные члены имеют право участвовать в работе общественных творческих объединений, в конференциях и других мероприятиях, проводимых обществом; избирать и быть избранными в руководящие органы общества; публиковать в изданиях общества работы, выполненные по поручению общества; платить членские взносы.

За активную работу члены НТО награждаются Почетными грамотами, нагрудными знаками ВСНТО и отмечаются другими мерами поощрения вплоть до присвоения звания почетного члена общества.

Прием в действительные члены общества производится по личному заявлению на заседании совета первичной организации НТО. Принятому в общество выдаются членский билет и нагрудный знак.

Юридическими членами общества являются министерства, государственные комитеты, ведомства и их организации, объединения, колхозы, научно-исследовательские, проектные и конструкторские учреждения, вузы, техникумы и другие организации.

Научно-технические общества в СССР

1. Автомобильного транспорта и дорожного хозяйства.
2. Бумажной и деревообрабатывающей промышленности.
3. Водного транспорта.

4. Горнос.
5. Коммунального хозяйства и бытового обслуживания.
6. Железнодорожного транспорта.
7. Легкой промышленности
8. Лесной промышленности и лесного хозяйства.
9. Машиностроительной промышленности.
10. Мукомольно-крупяной, комбикормовой и элеваторной промышленности.
11. Нефтяной и газовой промышленности им. акад. И. М. Губкина.
12. Приборостроительной промышленности им. акад. С. И. Вавилова
13. Полиграфии, издательств и книжной торговли.
14. Пищевой промышленности.
15. Радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова.
16. Сельского хозяйства.
17. Строительной индустрии.
18. Судостроительной промышленности им. акад. А. Н. Крылова
19. Всесоюзное химическое общество им. Д. И. Менделеева.
20. Торговли.
21. Цветной металлургии.
22. Черной металлургии.
23. Энергетики и электротехнической промышленности.
24. Экономическое.

Юридические члены общества направляют своих представителей для участия в работе научно-технических конференций, семинаров и других мероприятий, проводимых обществом; могут участвовать в смотрах, конкурсах; получать от общества консультации; привлекать НТО к разработке и осуществлению планов научно-исследовательских работ, к внедрению полученных результатов в производство.

Прием в юридические члены общества производится по заявлению руководителя организации президиумом Центрального, республиканского, краевого, областного или районного правления соответствующего отраслевого общества.

НТО строятся на основе демократического централизма (все руководящие органы избираются членами НТО снизу доверху, организации решают все вопросы своей работы большинством голосов, решения вышестоящих органов общества обязательны для нижестоящих). В вузах могут создаваться первичные организации нескольких обществ в зависимости от профиля факультета.

Высшим органом НТО является общее собрание (для первичных организаций на предприятиях), конференция (для районных, областных и республиканских организаций), съезд (для отраслевого НТО). Общее собрание, конференция или съезд избирают соответствующие органы НТО: совет первичной организации, районное, городское, республиканское и Центральное правление НТО,

республиканский и Всесоюзный совет научно-технических обществ, которые являются их исполнительными органами.

Высшим органом НТО является Всесоюзный съезд научно-технических обществ, созываемый один раз в пять лет, на котором заслушиваются отчеты ВСНТО и ревизионной комиссии и избираются новые их составы на следующие пять лет.

ВСНТО в промежутке между съездами руководит всей деятельностью научно-технических обществ, заслушивает их отчеты, проверяет работу, обобщает и распространяет положительный опыт, утверждает бюджет, определяет структуру обществ и их штаты, имеет свой печатный орган — журнал, организует секции и комиссии для разработки актуальных научно-технических и экономических вопросов, подготовки конференций.

Средства обществ составляются из членских взносов действительных и юридических членов обществ, поступлений от издательской, лекционной деятельности, а также из поступлений от организаций на проведение мероприятий, вытекающих из Устава научно-технических обществ. Распоряжаются этими средствами избранные органы НТО.

ВСНТО и отдельные НТО оказывают всемерную поддержку развитию научно-исследовательской работы студентов.

ВСНТО учредил для студентов 10 премий и Центральные правления научно-технических обществ учредили еще 80 ежегодно присуждаемых студентам премий за лучшие научно-исследовательские работы, отмеченные на ежегодном Всесоюзном конкурсе научно-исследовательских работ студентов в области общественных, естественных, технических и гуманитарных наук.

На VII Всесоюзном съезде научно-технических обществ, состоявшемся в Москве в феврале 1988 г., было отмечено, что в составе 24 всесоюзных научно-технических обществ страны объединено почти 13 млн. ученых, инженеров, техников, экономистов, передовых рабочих и колхозников, активно участвующих в процессах перестройки экономической и социальной жизни страны.

В целях поднятия престижа инженерного труда, повышения его эффективности и вклада в перестройку народного хозяйства на съезде было принято решение о создании Союза научных и инженерных обществ СССР.

Всесоюзное общество изобретателей и рационализа-

торов¹, созданное в СССР в 1958 г. постановлением Президиума ВЦСПС, охватывает все регионы страны, так как строится по территориально-производственному принципу. Основой общества являются его первичные организации на предприятиях, стройках, в научно-исследовательских и проектных институтах, учреждениях, технических учебных заведениях и школах трудовых резервов.

ВОИР имеет единые руководящие органы в областях, краях и республиках.

Центральный совет общества располагается в Москве. В общество могут вступать все желающие и участвовать в изобретательской или рационализаторской работе. В задачу общества входит оказание помощи в организации работы местных советов ВОИР, в активизации их участия в создании благоприятных условий членам общества в изобретательской и рационализаторской работе. Общество располагает для проведения своей работы определенными средствами, формирующимися от членских взносов, получаемых от членов общества непосредственно на предприятиях и в организациях, а также из отчислений государственных предприятий промышленности и транспорта, кооперативных и общественных организаций,строек, совхозов и других предприятий и хозяйственных организаций (кроме колхозов). Эти средства могут использоваться для оплаты услуг при реализации изобретения, для премирования активистов общества и поощрения за наиболее важные результаты работы.

В частности, Центральный Совет ВОИР ежегодно выделяет более 100 премий для награждения студентов, представивших свои работы на Всесоюзном конкурсе на лучшую научно-исследовательскую работу студентов, при условии наличия в работе элементов изобретательства (например, выдано авторское свидетельство или получено положительное решение о выдаче такого свидетельства и т. п.).

Ордена Ленина Всесоюзное общество «Знание» является добровольной общественной организацией, объединяющей представителей интеллигенции, рабочего

¹ Рационализаторским предложением признается техническое решение, являющееся новым и полезным для предприятия, организации или учреждения, которому оно подано, и предусматривающее изменение конструкций изделий, технологии производства и применяемой техники или изменение состава материала.

класса и колхозного крестьянства, активно участвующих в пропаганде и распространении политических и научных знаний среди трудящихся. Деятельность общества осуществляется в рамках Конституции СССР под руководством Коммунистической партии Советского Союза и направлено на претворение в жизнь ее программных целей. Путем формирования научного мировоззрения и повышения политической сознательности трудящихся, воспитания их в духе советского патриотизма и пролетарского интернационализма, нетерпимости к любым проявлениям буржуазной идеологии, вооружения их знаниями, способствующими интенсификации экономики, ускорению научно-технического и социального прогресса, внедрению в производство достижений науки, техники, передового опыта.

Члены общества «Знание» призваны широко пропагандировать марксистско-ленинскую теорию, разъяснять внутреннюю и внешнюю политику КПСС и Советского государства, распространять среди населения научные знания путем чтения лекций, издания научно-популярной и научно-художественной литературы, журналов, плакатов, бюллетеней по проблемам науки и техники.

Общество «Знание» принимает участие в организации народных университетов по различным отраслям знаний, в оказании методической помощи школам коммунистического труда, в пропаганде знаний по телевидению, радио, в печати и кино, в организации научно-практических конференций, в изучении общественного мнения, интересов, запросов различных категорий трудящихся по вопросам пропаганды знаний.

Членами общества «Знание» могут быть граждане СССР, обладающие высокими политическими и моральными качествами, знаниями и умениями, необходимыми для ведения лекционной пропаганды, и принимающие на себя обязанности активно участвовать в деятельности общества в соответствии с его Уставом. Каждый член общества, состоящий на учете в одной из первичных организаций, обязан принимать участие в работе общества, в соответствии с квалификацией выступать с лекциями, принимать участие в методической работе в организации устной и печатной пропаганды, содействовать вовлечению в общество новых членов.

Прием в члены общества производится общим собранием первичной организации, решение которой утверж-

дается Президиумом правления городской (районной) организации. Для приема требуется представление личного заявления и рекомендации бюро первичной организации. Принятому в общество выдается членский билет.

Членам общества на основе аттестации присваивается квалификация, за активное участие в пропаганде знаний члены общества награждаются нагрудным знаком, грамотами, ценными подарками, туристическими путевками и др. Высшей формой отличия является награждение медалью имени акад. С. И. Вавилова.

Кроме индивидуального членства в общество входят члены-коллективы, которыми могут быть всесоюзные научные и научно-технические общества, творческие союзы и другие добровольные объединения. Члены-коллективы координируют свою работу по пропаганде знаний с соответствующими правлениями организаций Всесоюзного общества «Знание», оказывают им необходимую помощь, участвуют в совместных мероприятиях.

Прием в члены-коллективы общества производится пленумом Правления общества на основании заявлений руководящих органов всесоюзных научных и научно-технических обществ и творческих союзов. Члены НТО, творческих союзов, являющихся членами-коллективами, вступают в общество «Знание» в индивидуальном порядке на общих основаниях.

Всесоюзное общество «Знание» строится на основании демократического централизма (выборности руководящих органов, их периодической отчетности, принятие решений большинством голосов, обязательности решений высших органов общества для низших) по территориально-производственному признаку. Организациями Всесоюзного общества «Знание» являются соответствующие общества союзных республик. Последние имеют республиканские (в автономных республиках), краевые, областные, городские и районные организации, а по месту работы — первичные организации общества.

Первичные организации общества создаются постановлением Президиума правления городской или районной организации общества при наличии десяти членов общества и более.

Высшим органом общества является съезд, созываемый Правлением общества не реже одного раза в пять

лет. Нормы представительства устанавливаются Правлением.

В период между съездами деятельностью Всесоюзного общества «Знание» руководит Правление общества, которое проводит свои пленарные заседания не реже двух раз в год. Для ведения работы в период между пленумами Правление общества избирает Президиум в составе председателя, заместителей, ученых секретарей и членов Президиума.

Президиум обеспечивает выполнение организациями общества постановлений съездов и правления, оказывает им необходимую помощь, организует научно-исследовательскую работу по проблемам общества, утверждает бюджет, структуру, штаты и распоряжается средствами в пределах утвержденного бюджета.

Для ведения текущей работы Президиум Правления создает бюро.

Всесоюзное общество, общества союзных республик, а также республиканские (автономных республик), краевые, областные, городские и районные организации общества, находящиеся на самостоятельном балансе, являются юридическими лицами, имеют печать.

Правление Всесоюзного общества «Знание» находится в Москве, правления обществ союзных республик — в их столицах.

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что в СССР созданы благоприятные условия для проявления творческих способностей советских людей в зависимости от их интересов, приложения сил, направленных на ускорение решения задач, поставленных перед советским народом XXVII съездом КПСС.

2.4. Научно-исследовательская работа студентов в советской высшей школе

Основной задачей высшей школы в современных условиях является подготовка специалистов всесторонне развитых, способных непрерывно пополнять и углублять свои знания, повышать идейный, теоретический и профессиональный уровень, активно участвовать в ускорении научно-технического прогресса. В этих целях в высшей школе постоянно осуществляются меры, направленные на повышение эффективности учебно-воспитательного процесса и научно-исследовательской работы путем интеграции науки, образования и производства,

оперативного и гибкого обновления содержания учебного материала.

Особое внимание уделяется развитию творческих способностей будущих специалистов путем внедрения активных форм обучения, призванных формировать у студентов самостоятельность и творческую активность, ответственный подход к овладению знаниями. Во многих вузах уже имеется значительный опыт в этом направлении в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, позволяющих вести диалог с ЭВМ.

Всевозрастающее значение в деле повышения качества подготовки специалиста, отвечающего требованиям науки, техники и культуры, приобретает научно-исследовательская работа, выполняемая профессорско-преподавательским составом. Она имеет триединую цель: решение актуальных научных и народнохозяйственных задач, улучшение качества подготовки будущих специалистов для народного хозяйства и повышение квалификации преподавателей. Чем выше научный потенциал вуза, тем содержательнее и современнее его учебно-методическая база.

Развитие научно-исследовательской работы в высших учебных заведениях создало условия для широкого привлечения студентов к научным исследованиям — важного фактора повышения качества подготовки специалистов в соответствии с современными требованиями научно-технической революции.

Еще в 20-х годах при некоторых кафедрах стали создаваться студенческие научные кружки, наиболее талантливые студенты стали принимать участие в исследованиях, проводимых научно-педагогическими коллективами.

В последние годы такое участие студентов в научно-исследовательской работе перестало удовлетворять требованиям, предъявляемым к высшей школе страны со стороны бурно развивающихся науки, техники, производства. Возникла объективная потребность в том, чтобы все будущие специалисты в процессе обучения проходили школу научно-технического творчества, так как сам характер труда специалиста независимо от того, на каком участке трудится специалист, во все большей мере становится творческим и требует соответствующей подготовки. «Одним из основных способов развития аналитического и творческого мышления должно стать не-пременное участие студентов в научных исследованиях,

реальных проектных и конструкторско-технологических разработках», — говорится в Основных направлениях перестройки высшего и среднего специального образования.

Задачи, выдвигаемые современным производством и практикой, настолько сложны, что их решение часто требует творческого поиска, исследовательских навыков. В связи с этим современный специалист должен владеть не только необходимой суммой фундаментальных и специальных знаний, но и определенными навыками творческого решения практических вопросов, умением использовать в своей работе все то новое, что появляется в науке и практике, постоянно совершенствовать свою квалификацию, быстро адаптироваться к условиям производства. Все эти качества необходимо воспитывать в вузе. И воспитываются они через активное участие студентов в научно-исследовательской работе.

Опыт современной высшей школы показывает, что в условиях научно-технической революции научно-исследовательская работа студентов (НИРС) превратилась из средства развития творческих способностей наиболее успевающих и одаренных студентов в мощный рычаг повышения качества подготовки всех специалистов с высшим образованием и является важным методом коммунистического воспитания, позволяет направлять научный и трудовой потенциал студентов на решение крупных народнохозяйственных задач.

Современное понятие «научно-исследовательская работа студентов» включает в себя два взаимосвязанных элемента:

обучение студентов элементам исследовательского труда, привитие им навыков этого труда;

собственно научные исследования, проводимые студентами под руководством профессоров и преподавателей.

Под руководством Государственного комитета СССР по народному образованию, ЦК ВЛКСМ, ЦК профсоюзам работников народного образования и науки функционируют органы по координации и руководству развитием НИРС в виде Межведомственного, республиканских и городских (областных, краевых), вузовских советов по научному и техническому творчеству молодежи высших и средних специальных учебных заведений. В составе советов представители ВЛКСМ, отраслевых министерств и ведомств, имеющих высшие учебные заведения, проф-

союзов, ВСНИО, ВОИР, вузов и других заинтересованных организаций, аспиранты, студенты.

В составе Межведомственного совета созданы секции медицинских, педагогических, сельскохозяйственных и творческих вузов. Эти секции являются одновременно отраслевыми советами по научно-исследовательской работе студентов министерств здравоохранения, Госагропрома СССР, культуры СССР. В состав совета входят также секции вечерних и заочных вузов, конструкторской, опытнической и творческой работы учащихся средних специальных учебных заведений, работающей молодежи. Система научно-исследовательской работы студентов является составной частью единой общественно-государственной системы НТТМ, созданной в стране. Методической основой организации системы научно-исследовательской работы студентов являются основополагающие документы:

«Положение о научно-исследовательской работе студентов», инструктивное письмо Минвуза СССР «О мероприятиях по совершенствованию НИРС, включенной в учебный процесс вузов страны», «Примерный типовой комплексный план организации НИРС на весь период обучения», постановление Минвуза СССР и Бюро ЦК ВЛКСМ «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-исследовательской работы студентов» и др.¹

Руководство НИРС является обязательным элементом деятельности профессоров и преподавателей вузов, сотрудников научно-исследовательских учреждений вузов и аспирантов. В каждом вузе организуется совет по НИРС, возглавляемый, как правило, ректором: на факультете — деканом. В связи с созданием общественно-государственной системы эти советы реорганизуются в советы НТТМ с сохранением за ними функций по руководству и организации НИРС.

Главными задачами советов являются оказание всесторонней помощи руководству вуза, партийной, комсомольской и профсоюзной организациям в создании условий для широкого участия студентов в научно-исследовательской, конструкторской и творческой работе, распространение положительного опыта организации

¹ Научно-исследовательская и творческая работа студентов вузов и учащихся средних специальных учебных заведений//Сборник основных постановлений, приказов и инструкций/Под ред. В. И. Крутова. М., 1984.

научной работы студентов; оказание помощи народному хозяйству в решении актуальных научных задач силами студентов; методическое руководство работой нижестоящих советов по научной работе студентов, организация студенческих научно-технических конференций, выставок, конкурсов, смотров и др.

Формы и методы привлечения студентов к научному творчеству условно подразделяются на научно-исследовательскую работу, включенную в учебный процесс и, следовательно, проводимую в учебное время в соответствии с учебными планами и учебными программами (включение элементов научных исследований в различные виды учебных занятий, специальные лекционные курсы по организации НИР, учебно-исследовательская работа (УИР), а также научно-исследовательскую работу, выполняемую студентами во внеучебное время¹.

Учебно-исследовательская работа (УИР) выполняется в отведенное расписанием занятий учебное время по специальному заданию в обязательном порядке каждым студентом под руководством преподавателя — научного руководителя. Основной задачей УИР является обучение студентов навыкам самостоятельной теоретической и экспериментальной работы, ознакомление с реальными условиями труда в лаборатории, в научном коллективе. В процессе выполнения учебных исследований будущие специалисты учатся пользоваться приборами и оборудованием, самостоятельно проводить эксперименты, применять свои знания при решении конкретных научных задач.

Методика постановки и проведения УИР определяется спецификой института, его научным и материально-техническим потенциалом, сложившимися традициями. На УИР в учебных планах в зависимости от специальности отводится 40...200 ч за счет часов совета вуза или предусматривается учебным планом.

Для проведения учебно-исследовательской работы студенты получают рабочее место в лаборатории, необходимые приборы и материалы. На них распространяются правила трудовой дисциплины и распорядка дня лабораторий и других научных подразделений. Тема работы и объем задания определяются индивидуально. Ка-

¹ Совершенствование организации и методического обеспечения научно-исследовательской работы студентов//Сборник науч. трудов. М., НИИВШ, 1986.

федра, включающая в свой учебный план УИР, предварительно разрабатывает тематику исследований, обеспечивает ее научными руководителями, учебным персоналом, готовит методическую документацию, рекомендаций по изучению специальной литературы.

Основной состав руководителей УИР составляют преподаватели, активно ведущие научную работу, а также научные сотрудники, инженеры и аспиранты.

Завершается УИР оформлением отчета, в котором студенты излагают результаты своей научной деятельности и представляют его для защиты перед специальной комиссией.

Перспективным направлением является создание в высших учебных заведениях учебно-научных лабораторий, в которых ведутся научные исследования и одновременно организуется учебно-исследовательская работа студентов.

В некоторых вузах учебно-исследовательской работе предшествует специальный курс по основам организации и методике проведения научных исследований, по организации библиографической и патентно-лицензионной работы.

Важной формой научно-исследовательской работы студентов, включенной в учебный процесс, является **внедрение элементов творчества в учебные лабораторные работы**. При выполнении таких работ студент самостоятельно составляет план исследований, подбирает необходимую аппаратуру, производит математическую обработку и анализ результатов эксперимента, оформляет научный отчет.

Многими кафедрами вузов организуются **учебно-научные семинары**.

Подготовка семинара составляется так, чтобы в течение семестра каждый студент мог выступить на нем с докладом или сообщением, посвященным итогам выполненного исследования.

Практикуются также индивидуальные домашние задания с элементами научного поиска.

Для младших курсов одной из форм НИРС в рамках учебного процесса является подготовка рефератов.

Научно-исследовательская работа студентов в период производственной практики часто связывается с выполнением на производстве конкретных заданий по тематике научно-исследовательских работ, выполняемых кафедрой, или с анализом «узких» мест производства,

с выполнением задач совершенствования технологических процессов, оборудования, научной организации труда, а также со сбором фактического материала, его первичной обработкой с целью использования при курсовом и дипломном проектировании.

Большое значение имеет также участие студентов в период практики в рационализаторской и изобретательской работе предприятия, цеха и т. д.

Научное руководство студентами на практике осуществляют совместно преподаватели вуза и специалисты базового предприятия.

По результатам научной работы, выполненной на практике, студенты готовят отчет, который защищают на кафедре.

Научно-исследовательская работа студентов в рамках курсовых и дипломных проектов и работ обычно связана с проработкой специальных разделов с элементами научного поиска, в основном при выполнении реальных задач, в решении которых заинтересовано то или иное предприятие или организация. Такие дипломные проекты иногда заканчиваются внедрением и поэтому действительно являются реальными.

Все шире развивается в вузах комплексное реальное дипломное проектирование с участием студентов-дипломников различных специальностей одного или нескольких вузов, причем каждому студенту поручается исполнение отдельного самостоятельного раздела комплексного проекта. Общее руководство разработкой такого проекта осуществляется одной из ведущих кафедр (назначается главный руководитель). По каждому из разделов имеется свой руководитель от той кафедры, которая обеспечивает его разработку.

При защите комплексного дипломного проекта организуется комиссия, включающая представителей заказчика и вуза. В ее задачу входит оценка каждой темы дипломного проекта, выполненной отдельным студентом, а также принятие решения по проекту в целом виде рекомендации по использованию на предприятии заказчика.

Многие вузы совместно с предприятиями и организациями формируют перечень «узких» мест производства, по которым кафедры выдают студентам темы курсовых и дипломных проектов и работ. Такой подход позволяет эффективнее использовать научный и творческий потенциал студентов для выполнения конкретных задач

производства, повышает ответственность студентов за качество выполняемой работы.

Научная работа студентов, выполняемая во внеучебное время¹, организуется в форме участия студентов в выполнении исследований по тематике плановых хозяйственных и госбюджетных научно-исследовательских работ кафедр и научных учреждений вузов; организации студенческих научных кружков; студенческих бюро и объединений типа СКБ (конструкторские, технологические, экономические и другие бюро, научные центры, научно-исследовательские институты, научно-производственные отряды), помощи практическому здравоохранению, шефской работы в школе; лекторской работы по распространению знаний в области науки, техники, культуры и т. п.

Студенческие научные кружки при кафедре или научной лаборатории представляют собой сравнительно небольшие коллективы, объединенные разработкой определенной научной проблемы. Каждый студент в кружке выполняет самостоятельное задание научного руководителя.

Основной формой научной работы студентов, выполняемой во внеучебное время, является **участие студентов в научных исследованиях, проводимых кафедрами и научными учреждениями вуза** по госбюджетной и хозяйственной тематике. При этом студентам, как правило, поручается разработка определенной научно-технической задачи, вытекающей из выполняемой темы.

Обычно в группу, участвующую в разработке научной темы, включается несколько студентов часто различных курсов, что позволяет обеспечить преемственность, непрерывность и четкую организацию их работы. Студенты старших курсов оформляются на должности лаборантов, техников с оплатой. При этом студентам оформляются трудовые книжки и делаются в ней соответствующие записи. Работа проводится по плану-графику, утвержденному научным руководителем и кафедрой. Работой студентов руководят преподаватели, научные сотрудники, инженеры и аспиранты, работающие в группе. В вузах все более прочно утверждается поря-

¹ См.: Опыт организации научно-исследовательской работы студентов во внеучебное время/А. И. Момот, В. С. Кагерманнын, В. Ф. Хотеевков; Под ред. В. И. Крутова. (Обзорная информация. НИИВШ, серия Управление, экономика и прогнозирование развития высшей и средней специальной школы. Вып. 2). М., 1985.

док, при котором количество студентов на каждую тему и фонд зарплаты для оплаты их труда планируются заранее при утверждении плана разработки темы.

Студенты, успешно выполнившие задание по своему разделу, включаются в число авторов отчета в качестве исполнителей.

Хорошо зарекомендовали себя коллективные формы творческой работы студентов — *студенческие конструкторские, проектные, технологические, исследовательские и экономические бюро (СКБ), научно-исследовательские институты, научные и вычислительные центры, научно-производственные отряды.*

СКБ организуются в вузе на правах его структурного подразделения. Тематика их работ формируется в основном на основе хозяйственных договоров с различными организациями, а также в виде госбюджетных тем вуза и внутривузовских заказов.

Штат сотрудников СКБ составляют главным образом студенты, выполняющие работу под руководством профессорско-преподавательского и инженерно-технического состава вуза. Обычно в штат СКБ включаются несколько инженерно-технических работников, осуществляющих во главе с начальником СКБ организационно-методическое руководство работой студентов.

Наряду с проведением научно-технической работы студенты выполняют в СКБ различные организационные, управленческие функции, которые позволяют им приобретать соответствующие навыки.

Важную роль в активизации научно-технического творчества студентов играют проводимые в стране организационно-массовые мероприятия: Всесоюзная олимпиада «Студент и научно-технический прогресс», смотры-конкурсы на лучшую организацию научной работы студентов, всесоюзные научные конференции студентов, выставки научно-технического творчества (в том числе на ВДНХ СССР), Всесоюзный общественный смотр работы студенческих бюро вузов страны, всесоюзные конкурсы на лучшую научную работу студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам и по проблемам общественных наук, истории ВЛКСМ и международного молодежного движения. Руководство вузов имеет право командировать студентов для участия в этих мероприятиях.

Студенты, победители научных конкурсов, награждаются медалями «За лучшую научную студенческую ра-

боту», учрежденными Советом Министров СССР, дипломами. Лучшие работы выдвигаются на соискание 9 медалей АН СССР, 5 — АМН СССР, 3 — АПН СССР, 5 — ВАСХНИЛ все с премиями, а также на премии ВСНИО, НТО и ВОИР.

Современный уровень участия студентов в научной работе, многообразие ее форм и методов требуют комплексного подхода к ее планированию и организации.

Комплексная система НИРС должна обеспечивать ступенчатую последовательность мероприятий и форм научной работы студентов в соответствии с логикой учебного процесса.

Основанием для внедрения такой комплексной системы организации НИРС в вузе является «Примерный типовой комплексный план организации научно-исследовательской работы студентов на весь период обучения».

На основе типового плана в каждом вузе разрабатывается свой конкретный комплексный план организации НИРС на весь период обучения с учетом профиля, научных традиций и уровня развития НИРС в данном высшем учебном заведении, а также планы по специальностям.

Планы по специальности разрабатываются кафедрами общественных наук, общенаучными, общетехническими и выпускающими кафедрами, ведущими подготовку специалистов по конкретной специальности. Координирует работу, как правило, выпускающая кафедра.

Осуществление комплексного планирования НИРС в высших учебных заведениях по каждой специальности и создание на этой основе единой комплексной системы научно-исследовательской работы студентов позволяют полнее использовать научный потенциал вузов в решении вопросов подготовки современных высококвалифицированных специалистов.

ГЛАВА III

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ И ТВОРЧЕСТВА

3.1. Понятие научного знания

З н а н и е — идеальное воспроизведение в языковой форме обобщенных представлений о закономерных связях объективного мира.

Функциями знания являются обобщение разрозненных представлений о закономерностях природы общества и мышления; хранение в обобщенных представлениях всего того, что может быть передано в качестве устойчивой основы практических действий.

Знание является продуктом общественной деятельности людей, направленной на преобразование действительности. Процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию называют познанием, в основе которого лежит отражение объективной действительности в сознании человека в процессе его общественной, производственной и научной деятельности, именуемой практикой. Потребности практики выступают основной и движущей силой развития познания, его целью. Человек познает законы природы, чтобы овладеть силами природы и поставить их себе на службу; он познает законы общества, чтобы в соответствии с ними воздействовать на ход исторических событий.

Познание вырастает из практики, но затем само направляется на практическое овладение действительностью. От практики к теории и от теории к практике, от действия к мысли и от мысли к действительности — такова общая закономерность отношений человека в окружающей действительности. Практика является началом, исходным пунктом и одновременно естественным завершением всякого процесса познания. Следует отметить, что завершение познания всегда относительно, так как в процессе познания, как правило, возникают новые проблемы и новые задачи, которые были подготовлены и поставлены предшествующим развитием научной мысли. Решая эти задачи и проблемы, наука должна опережать практику и таким образом сознательно направлять ее развитие.

В процессе практической деятельности человек разрешает противоречие между наличным положением вещей и потребностями общества. Результатом этой деятельности является удовлетворение общественных потребностей. Указанное противоречие является источником развития познания и, естественно, находит отражение в его диалектике.

Диалектика процесса познания выражается в противоречии между ограниченностью наших знаний и безграничной сложностью объективной действительности, между субъективной формой и объективным содержанием человеческого познания, в необходимости борьбы

мнений, позволяющей путем логических доказательств и практической проверки устанавливать истину.

Вся наука, все человеческое познание направлены к достижению истинных знаний, верно отражающих действительность. Только истинное научное знание служит человеку могучим оружием преобразования действительности, позволяет прогнозировать ее дальнейшее развитие.

В противоположность истинному знанию заблуждение представляет собой неверное, иллюзорное отражение мира.

Истинные знания существуют в виде законов науки, теоретических положений и выводов, учений, подтвержденных практикой и существующих объективно, независимо от трудов и открытий ученых. Поэтому истинное научное знание объективно. Вместе с тем научное знание может быть относительным и абсолютным. *Относительное знание* — знание, которое, будучи в основном верным отражением действительности, отличается некоторой неполнотой совпадения образа с объектом. *Абсолютное знание* — это полное, исчерпывающее воспроизведение обобщенных представлений об объекте, обеспечивающее абсолютное совпадение образа с объектом. Абсолютное знание не может быть опровергнуто или изменено в будущем.

Следует отметить, что непрерывное развитие практики исключает возможность превращения знания в абсолютное, но абсолютность практики позволяет отличать объективно истинные знания от заблуждений.

Диалектический материализм исходит из того, что единственно научным критерием знаний о действительности является общественная практика. При этом предполагается деятельность не отдельного человека, не единичные случаи воздействия людей на окружающий мир, а опыт всего человечества в его историческом развитии.

В соответствии с марксистско-ленинской теорией¹ познание включает в себя два уровня: чувственный и рациональный. Чувственное познание формирует эмпирическое знание, а рациональное — теоретическое.

Чувственное познание обеспечивает непосредственную связь человека с окружающей действительностью. Элементами чувственного познания являются ощущение, восприятие, представление и воображение.

¹ См.: Мостепаненко М. В. Философия и методы научного познания. Л., 1972.

Ощущение — это отражения мозгом человека свойств предметов или явлений объективного мира, которые действуют на его органы чувств. *Восприятие* — отражения мозгом человека предметов или явлений в целом, причем таких, которые действуют на органы чувств в данный момент времени. Восприятие — это первичный чувственный образ предмета или явления. *Представление* — вторичный образ предмета или явления, которые в данный момент времени не действуют на органы чувств человека, но обязательно действовали в прошлом. Представления — это образы, которые восстанавливаются по сохранившимся в мозге следам прошлых воздействий предметов или явлений. *Воображение* — это соединение и преобразование различных представлений в целую картину новых образов.

Рациональное познание дополняет и опережает чувственное, способствует осознанию сущности процессов, вскрывает закономерности развития. Формой рационального познания является абстрактное мышление.

Мышление — это опосредованное и обобщенное отражение в мозгу человека существенных свойств, причинных отношений и закономерных связей между объектами или явлениями. Опосредованный характер мышления заключается в том, что человек через доступные органам чувств свойства, связи и отношения предметов проникает в скрытые свойства, связи, отношения; человек познает действительность не только в результате своего личного опыта, но и косвенным путем, усваивая в процессе общения с другими людьми. Мышление неразрывно связано с языком и не может осуществляться вне его. Действительно, основной инструмент мышления — логические рассуждения человека, структурными элементами которых (и формами логического отражения действительности) являются понятия, суждения, умозаключения.

Понятие — это мысль, отражающая существенные и необходимые признаки предмета или явления. Понятия могут быть общими, единичными, собирательными, абстрактными и конкретными, абсолютными и относительными. *Общие* понятия связаны не с одним, а с множеством предметов. Наиболее широкие понятия называются категориями и к ним относят некоторые философские понятия (о форме и содержании явлений), политэкономии (товар, стоимость) и т. д. *Единичные* по-

нения относятся всегда только к одному определенному предмету. Под *собирательными* подразумеваются понятия, обозначающие целые группы однородных предметов, представляющих собой известное единство, законченную совокупность (лес, транспортный поток и т. п.).

Понятия *конкретные* относятся к конкретным предметам, а *абстрактные* понятия — к отдельно взятым признакам этих предметов, например «белые предметы». Особенностью *относительных* понятий является то, что они всегда мыслятся попарно, например: «правый» и «левый», «начальник» и «подчиненный». *Абсолютными* называют такие понятия, которые не имеют парных отношений, например «планета», «дом», «дерево».

По признаку отношений между понятиями их делят на тождественные, равнозначные, подчиненные, соподчиненные, частично согласные, противоречащие и противоположные.

Тождественными называют такие понятия, которые имеют одинаковое содержание. Это одни и те же понятия, только выраженные в различной словесной форме. *Равнозначные* понятия имеют один и тот же объем, но отличаются по содержанию. Так, например, понятия «автор «Капитала» и «основатель научного социализма» хотя и относятся к одному лицу, но указывают на различные его признаки.

Понятия характеризуются их объемом и содержанием. Объем понятия — это круг тех предметов, на которые данное понятие распространено. Содержанием называют совокупность признаков, которые объединены в данном понятии.

Отношения тождества и равнозначности понятий имеют чрезвычайно важное значение в науке, так как делают возможным замещение одного понятия другим. Этой операцией широко пользуются в математике при преобразовании и упрощении алгебраических соотношений.

Подчиненными называют понятия, которые по содержанию входят в понятия более высокого ранга или более общие. *Соподчиненными* являются понятия, связанные по объему (объем двух или более понятий входит в объем какого-либо высшего понятия). Например, понятия «многоугольник» и «окружность» являются подчиненными понятию «геометрическая фигура» и соподчиненными между собой. Если отдельные части объема понятий оказываются совпадающими, общими, то их называют частично согласными. В подобном отношении

находятся, например, такие понятия, как «студент» и «спортсмен».

Понятие, которое отрицает положительное понятие, называют *противоречащим*. Например, понятие «нечеловек» отрицает положительное понятие «человек». Противоречащие понятия не допускают ничего промежуточного; одно понятие начисто исключает другое. Если понятие указывает не только на то, что отрицает, но и на то, что взамен отрицаемого утверждается, то такое понятие называют *противоположным*. У противоположных понятий имеются средние и промежуточные понятия. Так, между понятиями «белый» и «черный» мыслимо понятие «серый».

Для описания процесса формирования новых сложных понятий из более простых используется способ вывода сложных соотношений из элементарных. Формализация процесса часто осуществляется на языке теории множеств.

Раскрытие содержания понятия называют его определением. Последнее должно отвечать двум важнейшим признакам: 1) определение должно указывать на ближайшее родовое понятие; 2) определение должно указывать на то, чем данное понятие отличается от других понятий. Так, определяя понятие «квадрат», нужно указать на то, что квадрат относится к роду прямоугольников и выделяется среди прямоугольников признаком равенства своих сторон. Определение понятия не должно быть ни слишком широким, ни слишком узким, т. е. соразмерным и не должно определяться самим собой, т. е. определение понятия не должно делать круга.

Развитие научных знаний заставляет уточнять определение понятий, вносить новые признаки в его содержание. При этом понятие обобщается или ограничивается. В научном исследовании определения обычно завершают процесс исследования, закрепляют те результаты, к которым ученый пришел в своем исследовании. Без определения понятий возможно ложное толкование мыслей автора исследования. Определение понятия оказывается возможным в том случае, когда мы знаем, к какому роду оно относится и какие у него видовые признаки. Установление видовых признаков осуществляется при помощи деления понятия. *Делением понятия* называется раскрытие всех видов, входящих в состав данного понятия. Если определение имеет дело с содержанием изучаемого понятия, то деление — с объемом понятия.

Деление подчиняется следующим правилам: 1) члены деления должны исчерпывать объем делимого понятия; 2) деление должно производиться с точки зрения одного определенного основания; 3) члены деления должны исключать друг друга.

Основанием деления называется тот признак, который является общим всем видам, входящим в объем данного понятия. Особым видом деления понятий является дихотомия, или двучленное деление, при котором членами деления бывают только два понятия, из которых одно является противоречащим в отношении другого.

Суждение — это мысль, в которой посредством связи понятий утверждается или отрицается что-либо. В речи суждение выражается в виде предложения. Суждение — это сопоставление понятий, устанавливающих объективную связь между мыслимыми предметами и их признаками или между предметом и классом предметов.

Суждения делятся по следующим признакам: качеству, количеству, отношению, модальности. В свою очередь, по качеству суждения делятся на утвердительные и отрицательные, по количеству — на общие, частные и единичные, по отношению — на категорические, условные и разделительные, по модальности — на проблематические, аподиктические и ассерторические. В *проблематических* суждениях наличие связи понятий отмечается лишь с известной степенью вероятности. В *аподиктических* суждениях указывается, что связь понятий является безусловно необходимой. *Ассерторические* суждения указывают только на действительно существующую связь понятий.

Соединение суждений по количеству и качеству приводит к четырем новым видам суждений: общеутвердительному, общеотрицательному, частноутвердительному и частноотрицательному.

К суждению о предмете или явлении человек может прийти или путем непосредственного наблюдения какого-либо факта, или опосредованным путем — с помощью умозаключения. У м о з а к л ю ч е н и е — процесс мышления, составляющий последовательность двух или нескольких суждений, в результате которых выводится новое суждение. Часто умозаключение называют выводом, через который становится возможным переход от мышления к действию, практике. Вместе с тем следует подчеркнуть, что не всякая последовательность суждений

может быть названа умозаключением или выводом. В умозаключении связь двух суждений иногда обнаруживает подчинение, в силу которого одно (основание) обуславливает другое (следствие).

Умозаключения делятся на две категории: дедуктивные и индуктивные. *Дедуктивные* умозаключения представляют собой выведение частного случая из какого-нибудь общего положения. В *индуктивных* умозаключениях на основании частных случаев приходят к общему положению.

Умозаключения подразделяются также на непосредственные и опосредованные. В *непосредственных* умозаключениях от одного суждения приходят к другому. В *опосредованных* суждениях переход от одного суждения к другому осуществляется через посредство третьего. Если в процессе умозаключения изменяется форма суждения, то говорят об ее превращении, например утвердительное суждение становится отрицательным, и наоборот. При этом смысл и количество суждения сохраняются. Понятия, суждения и умозаключения выражаются в словесной форме.

В процессе научного исследования можно отметить следующие этапы: возникновение идей; формирование понятий, суждений; выдвижение гипотез; обобщение научных факторов; доказательство правильности гипотез и суждений.

Научная идея — интуитивное объяснение явления без промежуточной аргументации, без осознания всей совокупности связей, на основании которой делается вывод. Она базируется на уже имеющемся знании, но вскрывает ранее не замеченные закономерности. Свою специфическую материализацию идея находит в гипотезе.

Гипотеза — это предположение о причине, которая вызывает данное следствие. Если гипотеза согласуется с наблюдаемыми фактами, то в науке ее называют *теорией* или *законом*. В процессе познания каждая гипотеза подвергается проверке, в результате которой устанавливается, что следствия, вытекающие из гипотезы, действительно совпадают с наблюдаемыми явлениями, что данная гипотеза не противоречит никаким другим гипотезам, которые считаются уже доказанными. Следует, однако, подчеркнуть, что для подтверждения правильности гипотезы необходимо убедиться не только в том, что она не противоречит действительности, но и в том,

что она является единственно возможной и с ее помощью вся совокупность наблюдаемых явлений находит себе вполне достаточное объяснение.

С накоплением новых фактов одна гипотеза может быть заменена другой лишь в том случае, если эти новые факты не могут быть объяснены старой гипотезой или ей противоречат. При этом часто старая гипотеза не отбрасывается целиком, а только исправляется и уточняется. По мере уточнения и исправления гипотеза превращается в закон.

Закон — внутренняя существенная связь явлений, обуславливающая их необходимое закономерное развитие. Закон выражает определенную устойчивую связь между явлениями или свойствами материальных объектов.

Закон, найденный путем догадки, должен быть затем логически доказан, только тогда он признается наукой. Для доказательства закона наука использует суждения, которые были ранее признаны истинными и из которых логически следует доказываемое суждение. В редких случаях в равной мере оказываются доказуемыми противоречивые суждения. В таких случаях говорят о возникновении парадокса в науке, что всегда свидетельствует о наличии ошибок в логике доказательства или несостоятельности исходных суждений в данной системе знаний.

Парадокс в широком смысле — это утверждение, резко расходящееся с общепринятым, установившимся мнением, отрицание того, что представляется «безусловно правильным».

Парадокс в узком смысле — это два противоположных утверждения, для каждого из которых имеются представляющие убедительными аргументы.

Парадоксальность является характерной чертой современного научного познания мира. Наличие парадоксов становится свидетельством несостоятельности существующих теорий, требованием дальнейшего их совершенствования.

Выявление и разрешение парадоксов стало в современной науке обычным делом. Основные пути их разрешения: устранение ошибок в логике доказательств; совершенствование исходных суждений в данной системе знаний.

Для избежания ошибок логика доказательства должна быть подчинена законам формальной логики: закону

тождества, закону противоречия¹; закону исключения третьего и закону достаточного основания².

Как уже отмечалось, в результате проработки и сопоставления с действительностью научная гипотеза может стать теорией.

Теория (от лат. *theoreo* — рассматриваю) — система обобщенного знания, объяснения тех или иных сторон действительности. Теория является духовным, мысленным отражением и воспроизведением реальной действительности. Она возникает в результате обобщения познавательной деятельности и практики. Это обобщенный опыт в сознании людей.

Структуру теории формируют принципы, аксиомы, законы, суждения, положения, понятия, категории и факты. Под *принципом* в научной теории понимается самое абстрактное определение идеи (начальная форма систематизации знаний). Принцип — это правило, возникшее в результате субъективно осмысленного опыта людей.

Исходные положения научной теории называются постулатами или аксиомами.

Аксиома (постулат) — это положение, которое берется в качестве исходного, недоказуемого в данной теории, и из которого выводятся все остальные предложения и выводы теории по заранее фиксированным правилам. Аксиомы очевидны без доказательства. В современной логике и методологии науки постулат и аксиома обычно используются как эквивалентные.

Теория складывается из относительно жесткого ядра и его защитного пояса. В ядро входят основные принципы. Защитный пояс теории содержит вспомогательные

¹ Закон тождества: объем и содержание мысли о каком-либо предмете должны быть строго определены и оставаться постоянными в процессе рассуждения о нем. Закон противоречия: в процессе рассуждения о каком-либо определенном предмете нельзя одновременно утверждать и отрицать что-либо в одном и том же отношении, в противном случае оба суждения не могут быть вместе истинными.

² Закон исключения третьего; в процессе рассуждения необходимо доводить дело до определенного утверждения или отрицания, в этом случае истинным оказывается одно из двух отрицающих друг друга суждений. Этот закон имеет силу лишь при условии соблюдения законов тождества и противоречия. Закон достаточного основания: в процессе рассуждения достоверными следует считать лишь те суждения, относительно истинности которых могут быть приведены достаточные основания.

гипотезы, конкретизирующие ее ядро. Этот пояс определяет проблемы, подлежащие дальнейшему исследованию, предвидит факты, не согласующиеся с теорией, и истолковывает их так, что они превращаются в примеры, подтверждающие ее.

Теория является наиболее развитой формой обобщенного научного познания. Она включает в себе не только знания основных законов, но и объяснение фактов на их основе. Теория позволяет открывать новые законы и предсказывать будущее.

Движение мысли от незнания к знанию руководствуется методологией. Методология — философское учение о методах познания и преобразования действительности, применение принципов мировоззрения к процессу познания, духовному творчеству и практике.

В методологии выявляются две взаимосвязанные функции: 1) обоснование правил применения мировоззрения к процессу познания и преобразования мира; 2) определение подхода к явлениям действительности. Первая функция общая, вторая — частная.

Общая функция базируется на обобщении системы взглядов человека на мир в целом, на место отдельных явлений в мире и на свое собственное место в нем. В зависимости от совокупности научных, политических, правовых, нравственных, религиозных, эстетических убеждений обобщенная система взглядов может носить идеалистический или материалистический характер. Советская наука всегда руководствуется философией диалектического и исторического материализма, в соответствии с которой процесс познания органически связан с предметами материального мира, с их движением и развитием. Только такой подход к изучению окружающей нас действительности дает возможность человеку правильно познать материальный мир. Познание есть вечное, бесконечное приближение мышления к объекту. Наука постепенно, диалектически развертывает естественно-научную картину мира, глубже познает ее законы.

Одной из основных задач познания является задача выявления причин изменения и развития конкретных явлений и процессов. Диалектический подход к познанию¹

¹ См.: *Энгельс Ф. Диалектика природы*//Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 20.

указывает, что источниками, причинами развития являются внутренние противоречия и борьба противоположностей, которые составляют основу процессов объективной действительности.

В этих процессах единство всегда относительно, временно, преходяще, а борьба взаимоисключающих противоположностей абсолютна, как абсолютно развитие каждого явления, его движения.

Противоположности в науке проявляются в различных формах, вытекающих из конкретно поставленных задач. Это новое и старое, положительное и отрицательное, консервативное и революционное. Новое, положительное и революционное, как более совершенное, пробивает себе дорогу в борьбе со старым, отжившим. Не понимать этого и не изучать с позиций этого закона факты и явления — значит, никогда не подойти к истине.

Не менее важным в процессе познания является вопрос о том, как на основе внешнего воздействия идет процесс усложнения структуры изучаемого объекта или явления, как появляются новые качества?

Марксистско-ленинская диалектика указывает путь к изучению этих особенностей путем применения закона перехода количественных накоплений в качественные изменения.

Этот закон позволяет выяснить характер развития и его формы.

Поступательный характер, преемственность и тенденции развития объекта позволяют вскрыть третий закон диалектики — отрицание отрицания. Отрицание не отбрасывает все старые представления и взгляды, отрицается то, что исчерпало возможности роста (что устарело, отжило), и удерживается то, что растет и развивается. Одним актом отрицания процесс диалектического движения не завершается. После первого отрицания в силу действия других законов диалектики, в частности закона единства и борьбы противоположностей, в сознании исследователя возникают новые взгляды. Борьба между ними приводит к следующему отрицанию и т. д. Наступает отрицание отрицания.

Диалектическая методология всегда опирается на конкретные знания. Исследователь, научный работник должен иметь определенный запас знаний и уметь применять — марксистско-ленинскую диалектику к решению конкретных научных проблем.

3.2. Методы теоретических и эмпирических исследований

Метод — это способ достижения цели. Диалектический материализм учит, что метод объединяет субъективные и объективные моменты познания. Метод объективен, так как в разрабатываемой теории позволяет отражать действительность и ее взаимосвязи. Таким образом, метод является программой построения и практического применения теории. Одновременно метод субъективен, так как является орудием мышления исследователя и в качестве такового включает в себя его субъективные особенности.

С философской точки зрения методы можно разделить на: всеобщий (материалистическая диалектика), действующий во всех областях науки и на всех этапах исследования; общенаучные (т. е. для всех наук); частные (т. е. для определенных наук); специальные или специфические (для данной науки).

Такое разделение методов всегда условно, так как по мере развития познания один научный метод может переходить из одной категории в другую.

К общенаучным методам относятся: наблюдение, сравнение, счет, измерение, эксперимент, обобщение, абстрагирование, формализация, анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия, моделирование, идеализация, ранжирование, а также аксиоматический, гипотетический, исторический и системные методы.

Наблюдение — это способ познания объективного мира, основанный на непосредственном восприятии предметов и явлений при помощи органов чувств без вмешательства в процесс со стороны исследователя.

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

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

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

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

объективного мира. В процессе эксперимента исследователь вмешивается в изучаемый процесс с целью познания, при этом одни условия опыта изолируются, другие исключаются, третьи усиливаются или ослабляются. Экспериментальное изучение объекта или явления имеет определенные преимущества по сравнению с наблюдением, так как позволяет изучать явления в «чистом виде» при помощи устранения побочных факторов; при необходимости испытания могут повторяться и организовываться так, чтобы исследовать отдельные свойства объекта, а не их совокупность.

Обобщение — определение общего понятия, в котором находит отражение главное, основное, характеризующее объекты данного класса. Это средство для образования новых научных понятий, формулирования законов и теорий.

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

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

Ярким примером абстрактной модели действительности является идеальный газ¹, который широко используется в физике, термодинамике и других науках.

Формализация — отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и т. д.) и обеспечение возможности исследования реальных объектов и их свойств через формальное исследование соответствующих знаков.

Аксиоматический метод — способ построе-

¹ Идеальный газ — это теоретическая модель реального газа, в которой молекулы представляют собой материальные точки, не имеющие объема и сил межмолекулярного сцепления.

ния научной теории, при котором некоторые утверждения (аксиомы) принимаются без доказательств и затем используются для получения остальных знаний по определенным логическим правилам. Общеизвестной, например, является аксиома о параллельных линиях (не пересекаются), которая принята в геометрии без доказательств.

Анализ — метод познания при помощи расчленения или разложения предметов исследования (объектов, свойств и т. д.) на составные части. В связи с этим анализ составляет основу аналитического метода исследования.

Синтез — соединение отдельных сторон предмета в единое целое. Анализ и синтез взаимосвязаны, они представляют собой единство противоположностей. Различают следующие виды анализа и синтеза: прямой или эмпирический метод (используют для выделения отдельных частей объекта, обнаружения его свойств, простейших измерений и т. п.); возвратный или элементарно-теоретический метод (базирующийся на представлениях о причинно-следственных связях различных явлений); структурно-генетический метод (включающий вычленение в сложном явлении таких элементов, которые оказывают решающее влияние на все остальные стороны объекта).

Важными понятиями в теории познания являются: **индукция** — умозаключение от фактов к некоторой гипотезе (общему утверждению) и **дедукция** — умозаключение, в котором вывод о некотором элементе множества делается на основании знания общих свойств всего множества. Таким образом, дедукция и индукция — взаимобратные методы познания, широко использующие частные методы формальной логики. Это методы *единственного сходства* (предполагается, что единственное сходное обстоятельство является причиной рассматриваемого явления); *единственного различия* (предполагается, что единственное различие обстоятельств является причиной явления); *сопутствующих изменений* (изменение одного явления приводит к изменению другого, так как оба эти явления находятся в причинной связи); *остатков* (если известно, что некоторые из совокупности определенных обстоятельств являются причиной части явлений, то остаток этого явления вызывается остальными обстоятельствами).

Одним из методов научного познания является **ана-**

логия, посредством которой достигается знание о предметах и явлениях на основании того, что они имеют сходство с другими. Степень вероятности (достоверности) умозаключений по аналогии зависит от количества сходных признаков у сравниваемых явлений (чем их больше, тем большую вероятность имеет заключение и оно повышается, когда связь выводного признака с каким-либо другим признаком известна более или менее точно). Аналогия тесно связана с моделированием или модельным экспериментом. Если обычный эксперимент непосредственно взаимодействует с объектом исследования, то в моделировании такого взаимодействия нет, так как эксперимент производится не с самим объектом, а с его заменителем. Примером может служить аналоговая вычислительная машина (АВМ), действие которой основано на аналогии дифференциальных уравнений, описывающих как свойства исследуемого объекта, так и электронной модели.

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

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

При гипотетическом методе познания исследователь нередко прибегает к идеализации — это мысленное конструирование объектов, которые практически неосуществимы (например, идеальный газ, абсолютно твердое тело). В результате идеализации реальные объекты лишаются некоторых присущих им свойств и наделяются гипотетическими свойствами.

При исследованиях сложных систем с многообразными связями, характеризующимися как непрерывностью и детерминированностью, так и дискретностью и случайностью, используются системные методы (исследование операций, теория массового обслуживания, теория

управления, теория множеств и др.). В настоящее время такие методы получили широкое распространение в значительной степени в связи с развитием ЭВМ.

При анализе явлений и процессов в сложных системах возникает потребность рассматривать большое количество факторов (признаков), среди которых важно уметь выделять главное при помощи метода ранжирования и исключения второстепенных факторов, не влияющих существенно на исследуемое явление. Следовательно, этот метод допускает усиление основных и ослабление второстепенных факторов, т. е. размещение факторов по определенным правилам в ряд убывающей или возрастающей последовательности по силе фактора.

Разнообразные методы научного познания условно подразделяются на ряд уровней: эмпирический, экспериментально-теоретический, теоретический и метатеоретический уровни.

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

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

Методы теоретического уровня: абстрагирование, идеализация, формализация, анализ и синтез, индукция и дедукция, аксиоматика, обобщение и т. д. На теорети-

ческом уровне производятся логическое исследование собранных фактов, выработка понятий, суждений, делаются умозаключения. В процессе этой работы соотносятся ранние научные представления с возникающими новыми. На теоретическом уровне научное мышление освобождается от эмпирической описательности, создает теоретические обобщения. Таким образом, новое теоретическое содержание знаний надстраивается над эмпирическими знаниями.

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

К методам метатеоретического уровня относят диалектический метод и метод системного анализа. С помощью этих методов исследуются сами теории и разрабатываются пути их построения, изучается система положений и понятий данной теории, устанавливаются границы ее применения, способы введения новых понятий, обосновываются пути синтезирования нескольких теорий. Центральной задачей данного уровня исследований является познание условий формализации научных теорий и выработка формализованных языков, именуемых метаязыками.

При изучении сложных, взаимосвязанных друг с другом проблем используется системный анализ, получивший широкое применение в различных сферах научной деятельности человека, и в частности в логике, математике, общей теории систем, в результате чего сформировались такие науки, как металогика и метаматематика. Металогика исследует системы положений и понятий формальной логики, разрабатывает вопросы теории доказательств, определмости понятий, истины в формализованных языках. Метаматематика занимается изучением различных свойств формальных систем и исчислений.

В основе системного анализа лежит понятие системы, под которой понимается множество объектов (компонентов), обладающих заранее определенными свойствами с фиксированными между ними отношениями. На базе этого понятия производится учет связей, используются количественные сравнения всех альтернатив для того, чтобы сознательно выбрать наилучшее решение, оцени-

ваемое каким-либо критерием, например измеримостью, эффективностью, надежностью и т. п.

Так как системный анализ носит общий, междисциплинарный характер, т. е. касается образования, развития, функционирования, синтеза любых систем, то некоторые буржуазные идеологи считают, что системный анализ заменяет философию, является новой всеобщей методологией науки. Такое восприятие системного анализа неверно, так как сводит функцию философского знания лишь к методологии научного исследования. Во всех науках существуют философские основания, используются философские категории, но это не повод принятия основания теории за саму теорию. Системный анализ, с одной стороны, позволяет применять ряд общеполитических положений к решению частных задач, а с другой — обогащает саму философию развитием конкретных наук в полном соответствии с указанием В. И. Ленина крепить союз философии с передовым естествознанием¹. Чем дальше развивается системный анализ, тем совершеннее развивается его язык, тем он дальше удаляется от своей первоначальной философской основы. Таким образом, отождествление системного анализа с диалектическим методом, с философией неправомерно и может привести к мировоззренческим и методологическим ошибкам.

Системный анализ используется для исследования таких сложных систем, как экономика отдельной отрасли, промышленного предприятия, объединения, при планировании и организации технологии комплексных строительных процессов, выполняемых несколькими строительными организациями, и др.

Системный анализ складывается из основных четырех этапов: первый заключается в постановке задачи — определяют объект, цели и задачи исследования, а также критерии для изучения и управления объектом. Неправильная или неполная постановка целей может свести на нет результаты всего последующего анализа. Во время второго этапа очерчиваются границы изучаемой системы и определяется ее структура: объекты и процессы, имеющие отношение к поставленной цели, разбиваются на собственно изучаемую систему и внешнюю среду. При этом различают замкнутые и открытые системы. При исследовании замкнутых систем влиянием внешней среды на их поведение пренебрегают. Затем выделяют отдель-

¹ См.: Ленин В. И. Философские тетради//Полн. собр. соч. Т. 29.

ные составные части системы — ее элементы, устанавливают взаимодействие между ними и внешней средой. Именно так строится, например, такая фундаментальная наука, как термодинамика.

В последнее время все большее внимание в технике уделяется изучению замкнутых систем, имеющих закрытые технологические циклы, так называемую «безотходную технологию». Такие технологические процессы перспективны как с позиций экономики, так и экологии: «чем меньше отходов, тем выше уровень производства».

Третий, важнейший этап системного анализа заключается в составлении математической модели исследуемой системы. Вначале производят параметризацию системы, описывают выделенные элементы системы и их взаимодействие. В зависимости от особенностей процессов используют тот или иной математический аппарат для анализа системы в целом.

Следует при этом отметить, что аналитические методы используются для описания лишь небольших систем вследствие их громоздкости или невозможности составления и решения сложной системы уравнений. Для описания больших систем, их характеристик не только качественных, но и количественных используются дискретные параметры (баллы), принимающие целые значения. Например, твердость материалов оценивают баллами по шкале Мооса, энергию сейсмических волн при землетрясениях — баллами по И. Рихтеру и др. Методы операций с дискретными параметрами излагаются в теории множеств и прежде всего в таких ее разделах, как в алгебре множеств и в алгебре высказываний (математической логике), составляющих основу математического обеспечения современных ЭВМ.

Наряду с аппаратом алгебры множеств и алгебры высказываний при исследовании сложных систем широко используют вероятностные методы, поскольку в них преобладают стохастические процессы. Поэтому наиболее часто исследуют развитие процессов с некоторой вероятностью или же определяют вероятность протекания изучаемых процессов.

Если исследуются сложные системы, именуемые как обобщенные динамические системы, характеризующиеся большим количеством параметров различной природы, то в целях упрощения математического описания их расчленяют на подсистемы, выделяют типовые подсистемы, производят стандартизацию связей для различных уров-

ней иерархии однотипных систем. Примерами такого подхода к изучению сложных систем, например управления, являются типовые возмущения, типовые звенья системы с определенными статическими и динамическими свойствами. В результате третьего этапа системного анализа формируются законченные математические модели системы, описанные на формальном, например алгоритмическом, языке.

Важным этапом системного анализа является четвертый. Это анализ полученной математической модели, определение ее экстремальных условий с целью оптимизации и формулирование выводов.

Оптимизация заключается в нахождении оптимума рассматриваемой функции (математической модели исследуемой системы, процесса) и соответственно нахождения оптимальных условий поведения данной системы или протекания данного процесса. Оценку оптимизации производят по критериям, принимающим в таких случаях экстремальные значения (выражающие, например, максимальный съем продукции с единицы объема аппарата, минимальную стоимость продукции при определенной производительности, минимальный расход топлива и т. д.). На практике выбрать надлежащий критерий достаточно сложно, так как в задачах оптимизации может выявляться необходимость во многих критериях, которые иногда оказываются взаимно противоречивыми. Поэтому наиболее часто выбирают какой-либо один основной критерий, а для других устанавливают пороговые предельно допустимые значения. На основании выбора составляется зависимость критерия оптимизации от параметров модели исследуемого объекта (процесса). Такой результат исследования чрезвычайно важен для практических целей, дает определенную последующую опытно-конструкторскую проработку задачи.

3.3. Элементы теории и методологии научно-технического творчества

Творчество — мышление в его высшей форме, выходящее за пределы известного, а также деятельность, порождающая нечто качественно новое¹. Последняя вклю-

¹ См.: Чус А. В., Данченко В. Н. Основы технического творчества. Киев; Донецк, 1983; Белозерцев В. И. Техническое творчество. Методологические проблемы. Ульяновск, 1975; Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М., 1979.

чает в себя постановку или выбор задачи, поиск условий и способа ее решения и в результате — создание нового.

Творчество может иметь место в любой сфере деятельности человека: научной, производственно-технической, художественной политической и т. д.

В частности, научное творчество связано с познанием окружающего мира. Научно-техническое (или просто техническое) творчество имеет прикладные цели и направление на удовлетворение практических потребностей человека. Под ним понимают поиск и решение задач в области техники на основе использования достижений науки.

В течение всей человеческой истории ученые и изобретатели прошлого для создания нового использовали малопроизводительный метод «проб и ошибок». Бессистемно перебирая большое количество возможных (мыслимых) вариантов, они находили (иногда!) нужное решение.

При этом чем сложнее задача, чем выше ее творческий уровень, тем больше возможных вариантов ее решения, тем больше «проб» нужно совершить. В связи с этим творческие находки имели преимущественно случайный характер. От первой повозки с колесами до изобретения колеса со ступицей и спицами (2 тыс. лет до н. э.) прошло около двух тысячелетий. Однако история человечества показывает, что в целом период реализации творческих идей имеет ярко выраженную тенденцию к сокращению. Действительно, если от печатных досок до изобретения книгопечатания (1440) прошло «лишь» шесть веков и затем до создания печатной машинки четыре века, то, например, транзистор, изобретенный в 1948 г., был реализован в 1953 г. В эпоху современной научно-технической революции потребность в новых технических решениях высокого уровня существенно возросла и продолжает увеличиваться, что постоянно повышает требования к производительности, эффективности и качеству творческого труда.

Реализация этой задачи возможна только на основе качественной перестройки стиля мышления, разработки теории и методологии научно-технического творчества и их широкого практического использования.

Творчество представляет собой явление, относящееся прежде всего к конкретным субъектам и связанное с особенностями человеческой психики, закономерностями высшей нервной деятельности, умственного труда. Одни

ученые считают, что мышление начинается там, где создалась проблемная ситуация, которая предполагает поиск решения в условиях неопределенности, дефицита информации. Другие утверждают, что определяющим механизмом творчества является не логика, а интуиция. «Посредством логики доказывают, посредством интуиции изобретают», — говорил А. Пуанкаре. И действительно, интуиция нередко помогает в поиске правильного решения, однако при этом следует отметить, что если раньше явление интуиции относилось к чему-то мистическому и сверхъестественному, то в настоящее время доказали, что интуиция имеет материалистическое объяснение и представляет собой быстрое решение, полученное в результате длительного накопления знаний в данной области и, следовательно, длительной подготовки. Это, скорее, итог умственной деятельности, чем начало. Таким образом, интуиция приходит в качестве вознаграждения за труд ученого и поэтому сложному механизму творческого мышления присущи как интуиция, так и логика.

Специфический акт творчества — внезапное озарение (инсайт) — заключается в осознании чего-то, всплывшего из глубин подсознания, в схватывании элементов ситуации в тех связях и отношениях, которые гарантируют решение задач.

Поиск решения творческой задачи у заинтересованного и квалифицированного ученого всегда продолжается в подсознании, в результате чего могут быть решены самые сложные задачи, причем сам процесс обработки информации при этом не осознается. В сознании отражается лишь результат (если он получен). Поэтому исследователю иногда кажется, что на него ниспослано озарение, что удачная мысль пришла неведомо откуда. Можно констатировать, что человек использует это явление каждый раз, когда он откладывает какое-нибудь дело, чтобы дать мыслям созреть, и, таким образом, рассчитывает на работу своего подсознания.

Одной из проблем творчества является его мотивационная структура. Мотивации (побуждения) связаны с потребностями, которые делятся на три группы: биологические, социальные и идеальные (познавательные). *Биологические* потребности (например, принцип экономии сил) лежат в основе житейской изобретательности и совершенствовании навыков, но могут приобрести и самодовлеющее значение, превратившись в лень. Среди *социальных* потребностей мотивами к творчеству мо-

гут быть стремление к материальному вознаграждению, к почету и уважению в обществе. *Идеальные* — составляют потребности познания в самом широком смысле. Они ведут свое происхождение от потребности в информации, изначально присущей всему живому, наряду с потребностью в притоке вещества и энергии. Удовлетворение любой потребности требует информации о путях и способах достижения цели. Но существует потребность в информации и как стремление к новому, ранее не известному. Наиболее важным для творчества видом мышления является воображение. Творческому воображению, фантазии принадлежит решающая роль в создании нового и развитии общества. Эта способность должна постоянно развиваться, стимулироваться и тренироваться. Различают три типа воображения: логическое (выводит будущее из настоящего путем логических преобразований); критическое (ищет, что именно в современной системе несовершенно, и нуждается в изменении); творческое (рождает принципиально новые идеи и представления, опирающиеся на элементы действительности, но не имеющие пока прообразов в реальном мире).

Активизация творческого мышления предполагает знание факторов, отрицательно влияющих на него. К числу таких факторов относится отсутствие гибкости мышления, сила привычки, узкопрактический подход, чрезмерная специализация, влияние авторитетов, боязнь критики, страх перед неудачей, чересчур высокая самокритичность, лень.

Противоположностью творческого воображения является психологическая инерция мышления, связанная со стремлением действовать в соответствии с прошлым опытом и знаниями, с использованием стандартных методов и т. д.

В связи с этим необходимо формулировать технические задания таким образом, чтобы исключить возможность психологической инерции и ее отрицательного влияния на творчество, стремиться всемерно развивать творческое воображение.

Творческая личность обладает рядом особенностей и прежде всего умением сосредоточить внимание и долго удерживать его на каком-либо вопросе или проблеме. Это одно из важнейших условий успеха в любом виде деятельности. Без упорства, настойчивости, целенаправленности немыслимы творческие достижения.

Получение значимого результата самым непосредственным образом зависит от исходной мировоззренческой позиции автора, принципиального системного подхода к постановке проблемы и определению общих путей движения исследовательской мысли. В научно-техническом творчестве материалистическая диалектика как наука о наиболее общих законах развития природы, общества и мышления и системный подход составляют единое направление в развитии современного научного познания.

Например, системное исследование технического объекта требует рассмотрения среды, надсистемы (в которую среда входит) и ее элементов (подсистем) на разных иерархических уровнях, а также связей, структуры и организации системы (управления, цели). При системном подходе решающее значение следует придавать внутренней организации системы, ее многоуровневости (рис. 3.1). Членение системы на подсистемы определяется внутренними свойствами системы.

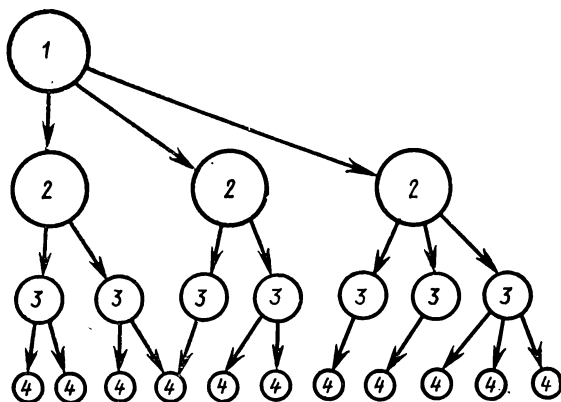


Рис. 3.1. Иерархические уровни технической системы:

1 — техническая система; 2 — составные части; 3 — сборочные системы; 4 — детали

Представляя технический объект как систему, нужно в первую очередь рассмотреть в нем такие свойства, которые не получаются «алгебраическим сложением» свойств элементов (например, биметаллическая пластина при нагреве изгибается, что не свойственно монометаллическим элементам).

Любая система представляет собой комплекс взаимо-

действий, посредством которых она проявляется как нечто определенное и целостное. Всякое взаимодействие представляет собой процесс обмена систем веществом, энергией, информацией и т. п., имеет переменный характер, противоречие (борьба) периодически чередуется с содействием (сотрудничеством). Роль и значение взаимодействий противоречия и содействия в мироздании не равноценны. Только диалектические противоречия выступают в качестве внутреннего импульса, источника движения и развития природы, общества, мышления, техники.

Противоречия в технических системах чрезвычайно разнообразны по форме и проявлениям, имеют преходящий исторический характер, взаимосвязаны и взаимообусловлены. В процессе решения научно-технических задач последовательно выявляются вначале внешние, а затем внутренние противоречия на все более углубляющемся уровне. Внешние противоречия предшествуют научно-технической задаче и создают мотивы для ее выявления и решения. Среди внутренних противоречий (противоречий самой структуры системы) выделяют основные и главные¹ технические и физические противоречия.

Технические противоречия возникают между элементами системы и их частями, между техническими параметрами и свойствами. Они состоят в том, что, например, увеличение мощности полезного агрегата может вызвать недопустимое ухудшение экологической обстановки или требуемое повышение прочности вызывает недопустимое увеличение массы конструкции и т. д.

Физические противоречия состоят в наличии у одного и того же элемента системы (ее мысленной модели) взаимопротивоположных физических свойств или функций. Например, элемент электрической схемы должен быть проводником, чтобы выполнялось одно действие, и одновременно диэлектриком, чтобы выполнялось другое. Это противоречие разрешает другой элемент — диод.

Путь к решению задачи, к созданию качественно новой технической системы, лежит через выявление все

¹ Основные противоречия складываются между определяющими, т. е. внутренними и необходимыми, сторонами в структуре системы. Радикальное разрешение основного противоречия приводит к коренному изменению качественной определенности предмета.

Главным противоречием является такое, от разрешения которого в данный момент зависит дальнейшее развитие предмета.

более глубоких противоречий и нахождение способов их разрешения. В этом состоит одно из проявлений закона перехода количественных изменений в качественные. В то же время новая техническая система представляет собой органический синтез нового и некоторых элементов прежних решений в новом целом, демонстрируя тем самым действие закона отрицания отрицания как фундаментального принципа диалектики, определяющего всякое развитие.

Уровень технического развития зависит непосредственно как от уровня естествознания (от степени познания

законов природы), так и от накопленных человечеством знаний в борьбе за покорение сил природы. Вместе с тем средства труда (техника) созданы человеком в процессе общественного производства и входят неотъемлемым элементом в систему производительных сил. В связи с этим техника неразрывно связана со способом производства, включающим и производственные отношения. Только экономические законы данного общественного строя определяют истоки, направления и темпы развития техники.

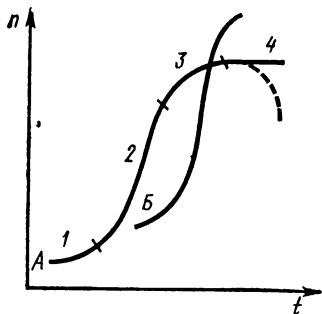


Рис. 3.2. Развитие главных показателей системы во времени

Жизнь любой системы (технической, системы живых организмов и др.) можно изобразить в виде логической кривой (рис. 3.2), иллюстрирующей изменения во времени главных показателей системы n (например, производительности, надежности и экономичности). Несмотря на индивидуальные особенности, эта зависимость имеет характерные участки, общие для всех систем. В начале (участок 1) система A развивается медленно, существует в виде модели, опытной установки, единичного образца. Затем (участок 2) она быстро совершенствуется, начинается ее массовое применение. Затем темпы развития идут на спад (участок 3), система исчерпывает свои возможности. Далее техническая система деградирует и сменяется принципиально другой системой B , иногда долгое время сохраняя достигнутые показатели (участок 4).

Знание особенностей развития технических систем не-

обходимо для выяснения резервов и определения целесообразности совершенствования данной системы или создания принципиально новых решений. В связи с тем что жизнеспособными оказываются только те технические решения, которые соответствуют закономерностям развития техники, особую ценность представляет способность изобретателя правильно предвидеть направления и тенденции возможного изменения исходной технической системы и действовать в соответствии с этими закономерностями.

Приведенные элементы теории познания являются основными методологическими средствами научно-технического творчества, к которым относятся также эвристические приемы и методы активизации и научной организации творческого труда. Приведем некоторые из них.

Приемы дробления и объединения (частей или операций). Например, гайка, резьба и корпус которой выполнены отдельными деталями, может быть снята с болта без свинчивания, а объединение в автомобильном колесе двух шин позволяет намного повысить его надежность.

Прием вынесения (отделения мешающей части или выделения единственно нужной). Например, при флюорографии для защиты от рентгеновских лучей многих органов на пути излучения ставят защитные барьеры, оставляя доступными для него только нужные части грудной клетки.

Прием инверсии (вместо диктуемого условиями задачи действия использовать противодействия). Например, в устройстве для тренировки пловцов навстречу подается вода, а сам плавец остается на месте.

Прием перехода в другое измерение использован, например, в предложении хранить бревна в воде в виде пучков диаметром, превышающим длину, и устанавливать пучки в вертикальном положении.

Прием универсальности (ручка портфеля может одновременно служить эспандером).

Прием обращения вреда в пользу может быть реализован, например, при разливах рек и опасности наводнения путем размещения на берегах серии больших резиновых резервуаров, которые заполняют с помощью помпы «лишней» водой из реки. Такие водяные дамбы строятся и убираются буквально за минуты.

Прием самообслуживания использован, например, в предложении повысить стойкость плит корпус-

са дробементного аппарата путем придания им свойства магнита, удерживающего на своей поверхности постоянно обновляющийся слой дробы. Таким образом, сущность многих (в том числе перечисленных) эффективных приемов творчества раскрывается в их названиях.

Анализ патентных материалов показывает, что изобретения высокого уровня, как правило, основаны на прямом использовании физических явлений, законов природы. Пока таких изобретений немного из-за слабой информированности специалистов о новых изобретениях и открытиях. Чтобы исправить такое положение, многие исследовательские коллективы создают фонды описаний физико-технических эффектов, используют их в машинном (автоматизированном) поисковом конструировании.

Эффективным эвристическим приемом в творческой деятельности является также идеализация конечного результата — машины, процесса или материала.

Идеальное решение — это наиболее сильное из всех мыслимых решений данной задачи. Очень важно научиться пользоваться понятиями об идеальной машине, процессе или материале. Например, идеальной может быть признана лампочка накаливания с контактами из ртути, обеспечивающими ее включение в одном положении и выключение — в другом. Таким образом, необходимые действия осуществляются без выключателя в виде отдельного элемента в цепи.

При работе над изобретением необходимо стремиться максимально приблизиться к идеальному результату, значительно улучшить требуемые показатели, не ухудшив других.

Важным общенаучным методом познания является аналогия¹.

На практике используются в основном четыре вида аналогии: прямая, символическая, личная и фантастическая. При прямой аналогии рассматриваемый объект сравнивается с более или менее схожим из другой области техники или живой природы. Например, датчик, реагирующий на движущийся объект так же, как глаз лягушки на пролетающую муху.

Символическая аналогия (обобщенная, абстрактная) требует формулировки в парадоксальной

¹ См.: Буш Г. Я. Аналогия и техническое творчество. Рига, 1981.

форме сути явления или понятия. Например, пламя — видимая теплота; прочность — принудительная целостность и т. п.

Личная аналогия представляет собой отождествление себя с исследуемым объектом. Для этого решающий задачу должен вжиться в образ совершенствующего объекта с целью выяснения возникающих при этом ощущений, т. е. «прочувствовать» задачу.

При фантастической аналогии в объект вводятся какие-либо фантастические средства, выполняющие то, что требуется по условиям задачи. Например, «волшебная палочка», «золотая рыбка» и т. д.

Исследователи и изобретатели в своей практике давно используют физическую и математическую аналогии.

Совершенно сходными являются, например, структуры формул для определения силы тяготения $F_T = \gamma m_1 m_2 / r^2$ и силы электростатического взаимодействия $F_e = k q_1 q_2 / r^2$. Аналогия лежит в основе физического и математического (АВМ) моделирования.

Такая аналогия является базой параметрического структурного метода творчества, основанного на энергоинформационных моделях цепей и параметрических структурных схемах. Для описания процессов различной физической природы в технических устройствах оперируют величинами, примеры которых приведены в табл. 3.1. Критерии аналогии позволяют описывать системой аналогичных уравнений не только процессы в цепях различной физической природы, но и связывать эти цепи между собой с помощью коэффициентов межцепных и внутрицепных физико-технических эффектов. Для облегчения использования таких аналогий разработаны специальные карты топограмм связи величин внутри цепи одной физической природы и величин различной физической природы.

В научно-техническом творчестве обязательно используется такой общенаучный метод, как анализ. Широкое распространение в творческой деятельности получил, например, морфологический анализ, или метод морфологического ящика, состоящий в систематическом исследовании всех мыслимых вариантов, вытекающих из закономерностей строения (т. е. морфологии) совершенствующей системы. Метод предусматривает:

формулировку задачи; составление списка характерных параметров (или признаков) объекта. Например,

Механическая и гидравлическая аналогии обобщенных величин параметров

Обобщенные величины и параметры	Аналогия	
	механическая	гидравлическая
Воздействие	Сила $u_M = F \text{ [Н]}$	Разность давления $u_h = p_1 - p_2 \text{ [Н/м}^2\text{]}$
Реакция	Скорость $I_M = v \text{ [м/с]}$	Объемная скорость течения $I_h = \frac{dV}{dt} \text{ [м}^3\text{/с]}$
Заряд	Перемещение $Q_M = x \text{ [м]}$	Объем жидкости $Q_h = V \text{ [м}^3\text{]}$
Импульс	Импульс силы $\rho_M = \int F dt \text{ [кг} \cdot \text{м/с]}$	Произведение массы и скорости жидкости на единицу площади $\rho_h = \frac{mv}{s} \text{ [Н} \cdot \text{с/м}^2\text{]}$
Сопротивление	Коэффициент вязкого трения $R_M = k_f \rho s_M \text{ [Н} \cdot \text{с/м]}$	Гидравлическое сопротивление ламинарному потоку $R_h = \frac{8\pi\mu l_h}{s_h^2} \text{ [Н} \cdot \text{с/м}^5\text{]}$
Емкость	Податливость $c_M = \frac{l_M}{Es_M} \text{ [м/Н]}$	Произведение коэффициента объемного сжатия и объема жидкости $c_h = \beta_p V \text{ [м}^5\text{/Н]}$
Индуктивность	Масса $\alpha_M = \beta_M s_M l_M \text{ [кг]}$	Отношение массы жидкости к квадрату поперечного сечения $\alpha_h = \frac{m_h}{s_h^2} \text{ [кг/м}^4\text{]}$

для такой технической системы, как авторучка, характерными признаками являются: перо или шарик, баллон или механизм для наполнения ручки чернилами и т. п. К таким признакам предъявляются определенные требования. Они должны быть существенными для любого решения; независимыми друг от друга; охватывающими все аспекты задачи; достаточно немногочисленными, чтобы обеспечить быстрое изучение;

составление списка частичных решений для каждого параметра или признака. По каждому признаку записывают возможные варианты. Целесообразно при этом указать, что данного параметра нет вообще, что облегчает выход к новым и иногда эффективным решениям;

определение функциональной ценности всех возможных сочетаний. На практике чаще всего используют морфологическую карту, т. е. составляют двухосную таблицу, в каждой клетке которой оказывается один вариант.

В заключение необходимо выбрать наиболее приемлемое решение, для отбора которого особых правил нет, но целесообразнее всего выбирать несколько главных элементов, а остальные подбирать так, чтобы они соответствовали и усиливали главные элементы. В табл. 3.2 в качестве примера приведена морфологическая таблица для авторучки, представляющая ее самые различные свойства.

Наиболее целесообразно использовать морфологический анализ при решении конструкторских задач общего плана, проектировании машин и поиске компоновочных или схемных решений. Он может применяться для прогнозирования развития технических систем, при определении возможности патентования оригинальных комбинаций основных параметров.

Просты и весьма эффективны ассоциативные методы активизации творческого мышления, которые основываются на применении семантических¹ свойств понятий. Основными источниками для генерирования идей служат ассоциации², метафоры³ и случайно выбранные понятия, признаки которых переносятся на совер-

¹ Семантика — значение единиц языка.

² Ассоциация — связь, возникающая при определенных условиях между двумя или более психическими образованиями (ощущениями, двигательными актами, восприятиями, идеями и т. п.).

³ Метафора — перенесение свойств одного предмета (явления) на другой на основании общего для обоих признака («говор волн», «бронза мускулов», «подковы бровей»).

Морфологическая таблица для авторучки

А. Вещество оставляющее след	чернила	паста	свет		любое вещество, отличающееся от того, чем пишут	без пакающего вещества
Б. Пишущий узел	перо	шарик	световой луч		лезвие	без пишущего узла
В. Резервуар для вещества	постоянный баллон	сменный баллон	отдельная емкость		окружающая среда	без резервуара
Г. Приведение в рабочее состояние	ручное включение	автоматическое включение	постоянно в рабочем состоянии			
Д. Устройство крепления на одежде	зацеп	«головка пейника»	пришить на нитке	магнитное	не закрепляется	
Е. Форма корпуса	цилиндрическая	сферическая	в форме другого предмета	по форме руки	изменяющаяся форма	без корпуса
Ж. Что (кто) держит ручку	пальцы	спец. механизм		держится сама		
З. На чем пишут	бумага	светочувствительная эмульсия	дерево	металл	любое вещество	
И. Окружающая среда	воздух	вода	вакуум			

шенствуемый объект. К таким методам относятся методы каталога (Ф. Кунце), фокальных объектов (Ч. Вайтинг) и гирлянд случайностей и ассоциаций (Г. Я. Буш). Примером применения последнего метода может служить задача расширения ассортимента стульев мебельной фабрики. В соответствии с методом необходимо: 1) определить синонимы объекта (гирляндой синонимов для слова «стул» являются: стул—кресло—табурет—пуф—скамейка и т. д.); 2) составить произвольный набор случайных объектов (вторую гирлянду слов, взятых наугад, например: электролампочка—решетка—карман—кольцо—цветок—пляж); 3) образовать комбинации из элементов двух составленных гирлянд и путем соединения каждого синонима с каждым случайным объектом (стул с электролампочкой, решетчатый стул, стул с карманами, ..., табурет для цветов и т. д.); 4) составить перечни признаков случайных объектов (например, электролампочка: стеклянная, матовая, колбообразная, с цоколем и т. п.); 5) формирование предложений путем поочередного присоединения к совершенствуемому объекту (и его синонимов) признаков случайно выбранных объектов. Например, с учетом признаков электролампочки, можно получить: стеклянный стул, теплоизлучающее кресло, колбообразный пуф, прозрачное кресло и т. д.; 6) составить гирлянды ассоциаций из признаков случайных объектов, выявленных на шаге; 7) к элементам гирлянды синонимов совершенствуемого объекта присоединить элементы гирлянд ассоциаций (образуются новые варианты: пуф из пены, стул из пористого материала и т. д.); 8) затем производятся оценка и выбор рациональных вариантов в отбор оптимального варианта.

Интерес представляют также **методы психологической активизации коллективной творческой деятельности**¹. Одним из них является «мозговая атака» («мозговой шторм»), предложенная А. Осборном. Для устранения психологических препятствий, вызываемых, например, боязнью критики, процессы выработки идей и их критической оценки в мозговой атаке разделены во времени и проводятся, как правило, разными группами людей. Первая группа только выдвигает различные предложения и варианты решений без критики. В нее желательно включать людей, склонных к абстрагированию,

¹ См.: Лук А. Н. Психология творчества. М., 1978.

к фантазии. Вторая группа — это «эксперты», выносящие суждение о ценности выдвинутых идей. В ее состав лучше включать людей с аналитическим и критическим складом мышления.

В практике массового технического творчества используется также методика программного решения научно-технических задач (алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)). Понятие «алгоритм» подразумевает комплекс последовательно выполняемых действий. Задачи в АРИЗ рекомендуется формулировать (в терминах, доступных неспециалисту) в виде нежелательного эффекта или главной трудности, а не цели.

Смысл процесса решения по АРИЗ состоит в том, чтобы после выявления технических и физических противоречий разрешить их путем целенаправленного перебора относительно небольшого числа вариантов.

Вышеперечисленные методологические средства творческого поиска могут использоваться исследователем в разных сочетаниях и последовательностях, но общую схему решения научно-технических задач можно представить в виде следующих этапов:

- анализ технических потребностей общества и выявление технического недостатка;

- анализ систем задач и выбор конкретной задачи;

- анализ технической системы и разработка ее модели;

- анализ и формулировка условий технической задачи;

- анализ и формулировка условий изобретательской задачи;

- поиск идеи решения (принципа действия);

- синтез нового технического решения.

На первом этапе могут использоваться, например, методы прогнозирования. Морфологический анализ можно использовать на разных этапах процесса решения задачи. АРИЗ включает в себя этапы от анализа технической системы до поиска идеи решения (включительно).

Приведенные здесь примеры методических средств могут быть элементами системы исследований более высокого иерархического уровня.

В настоящее время известны сотни эвристических методов поиска решения проблемных задач, но выше рассмотрены лишь те методы, которые достаточно широко используются в творческой деятельности. Каждый специалист должен знать эти методы и научиться использовать их в своей творческой работе.

4.1. Выбор направления научного исследования

Цель научного исследования — всестороннее, достоверное изучение объекта, процесса или явления; их структуры, связей и отношений на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также получение и внедрение в производство (практику) полезных для человека результатов¹.

Любое научное исследование имеет свой объект и предмет. Объектом научного исследования является материальная или идеальная система. Предмет — это структура системы, закономерности взаимодействия элементов внутри системы и вне ее, закономерности развития, различные свойства, качества и т.д.

Научные исследования классифицируются по видам связи с общественным производством и степени важности для народного хозяйства; целевому назначению; источникам финансирования и длительности ведения исследования.

По видам связи с общественным производством научные исследования подразделяются на работы, направленные на создание новых технологических процессов, машин, конструкций, повышение эффективности производства, улучшение условий труда, развитие личности человека и т.п.

По целевому назначению выделяют три вида научных исследований: фундаментальные, прикладные и разработки.

Фундаментальные исследования направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы, на создание новых принципов исследования. Их целью является расширение научного знания общества, установление того, что может быть использовано в практической деятельности человека. Такие исследования ведутся на границе известного и неизвестного, обладают наибольшей степенью неопределенности.

Прикладные исследования направлены на

¹ См.: Грушко И. М., Сиденко В. М. Основы научных исследований. Харьков, 1983; Пальчевский Б. А. Научное исследование: объект, направление, метод. Львов, 1979.

нахождение способов использования законов природы для создания новых и совершенствования существующих средств и способов человеческой деятельности. Цель — установление того, как можно использовать научные знания, полученные в результате фундаментальных исследований, в практической деятельности человека.

В результате прикладных исследований на основе научных понятий создаются технические понятия. Прикладные исследования, в свою очередь, подразделяются на поисковые, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Поисковые исследования направлены на установление факторов, влияющих на объект, отыскание путей создания новых технологий и техники на основе способов, предложенных в результате фундаментальных исследований. В результате *научно-исследовательских работ* создаются новые технологии, опытные установки, приборы и т. п. Целью опытно-конструкторских работ является подбор конструктивных характеристик, определяющих логическую основу конструкции. В результате фундаментальных и прикладных исследований формируется новая научная и научно-техническая информация. Целенаправленный процесс преобразования такой информации в форму, пригодную для освоения в промышленности, обычно называется разработкой. Она направлена на создание новой техники, материалов, технологии или совершенствование существующих. Конечной целью разработки является подготовка материалов прикладных исследований к внедрению.

По степени важности для народного хозяйства научные исследования подразделяются на:

важнейшие работы, выполняемые по специальным постановлениям ЦК КПСС и Совета Министров СССР, Государственному плану СССР; общесоюзным научно-техническим программам, утвержденным ГКНТ СССР (если эта программа касается развития естественных наук, то и АН СССР); планам союзных республик; координационным планам Государственного Комитета СССР по науке и технике;

работы, выполняемые по планам отраслевых министерств и ведомств;

работы, выполняемые по инициативе и планам научно-исследовательских организаций.

В зависимости от источника финансирования науч-

ные исследования делят на госбюджетные, хоздоговорные и нефинансируемые. Госбюджетные научные исследования финансируются из средств государственного бюджета. Хоздоговорные исследования финансируются организациями-заказчиками на основе хозяйственных договоров. Такие организации могут быть как производственные, так и научно-исследовательские.

Нефинансируемые исследования выполняются по договорам о социалистическом сотрудничестве.

Каждую научно-исследовательскую работу можно отнести к определенному направлению. Под научным направлением понимается наука или комплекс наук, в области которых ведутся исследования. В связи с этим различают: техническое, биологическое, социальное, физико-техническое, историческое и т. п. направления с возможной последующей детализацией. К техническому направлению можно отнести исследования в области технической термодинамики; к биологическому направлению — исследования в области биохимии или генной инженерии и т. д.

Таким образом, основой научного направления является специальная наука или ряд специальных наук, входящих в ту или иную научную отрасль, а также специальные методы исследования и технические устройства (например, газотурбостроение и т. д.).

Структурными единицами научного направления являются комплексные проблемы; проблемы, темы и научные вопросы. Комплексная проблема представляет собой совокупность проблем, объединенных единой целью; проблема — это совокупность сложных теоретических и практических задач, решения которых назрели в обществе. С социально-психологических позиций проблема — это отражение противоречия между общественной потребностью в знании и известными путями его получения, противоречия между знанием и незнанием. Проблема возникает тогда, когда человеческая практика встречает затруднения или даже наталкивается на «невозможность» в достижении цели. Проблема может быть глобальной, национальной, региональной, отраслевой, межотраслевой, что зависит от масштаба возникающих задач. Так, например, проблема охраны природы является глобальной, поскольку ее решение направлено на удовлетворение общечеловеческих потребностей. Кроме перечисленных различают проблемы общие и специфические. К общим относят проблемы

общенаучные, общенародные и т. п. Общенародные проблемы нашей страны сформированы в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года». К ним относятся: внедрение малоотходных и безотходных, энерго- и материалосберегающих технологических процессов и систем машин; подъем общественного престижа высококачественного труда и профессионального мастерства; обеспечение динамического и пропорционального развития единого народнохозяйственного комплекса страны и эффективное взаимодействие всех его звеньев и т. д.

Специфические проблемы характерны для определенных производств той или иной промышленности. Так, в автомобильной промышленности такими проблемами являются экономия топлива и создание новых видов го-рючего и т. п.

Тема научного исследования является составной частью проблемы. В результате исследований по теме получают ответы на определенный круг научных вопросов, охватывающих часть проблемы. Обобщение результатов ответов по комплексу тем может дать решение научной проблемы.

Под научными вопросами обычно понимаются мелкие научные задачи, относящиеся к конкретной теме научного исследования.

Выбор направления, проблемы, темы научного исследования и постановка научных вопросов является чрезвычайно ответственной задачей. Актуальные направления и комплексные проблемы исследований формулируются в директивных документах партии и правительства нашей страны. Направление исследования часто предопределяется спецификой научного учреждения, отраслью науки, в которых работает исследователь. Поэтому выбор научного направления для каждого отдельного исследователя часто сводится к выбору отрасли науки, в которой он желает работать. Конкретизация же направления исследования является результатом изучения состояния производственных запросов, общественных потребностей и состояния исследований в том или ином направлении на данном отрезке времени. В процессе изучения состояния и результатов уже проведенных исследований могут сформулироваться идеи комплексного использования нескольких научных направлений для решения производственных задач. Сле-

дует при этом отметить, что наиболее благоприятные условия для выполнения комплексных исследований имеются в высшей школе, в ее университетах и политехнических институтах, в связи с наличием в них учебных научных школ, сложившихся в различных областях науки и техники. Выбранное направление исследований часто в дальнейшем становится стратегией научного работника или научного коллектива, иногда на длительный период.

При выборе проблемы и тем научного исследования вначале на основе анализа противоречий исследуемого направления формулируется сама проблема и определяются в общих чертах ожидаемые результаты, затем разрабатывается структура проблемы, выделяются темы, вопросы, исполнители, устанавливается их актуальность.

При этом важно уметь отличать псевдопроблемы (ложные, мнимые) от научных проблем. Наибольшее количество псевдопроблем связано с недостаточной информированностью научных работников, поэтому иногда возникают проблемы, целью которых оказываются ранее полученные результаты. Это приводит к напрасным затратам труда ученых и средств. Вместе с тем следует отметить, что иногда при разработке особо актуальной проблемы приходится идти на ее дублирование с целью привлечения к ее решению различных научных коллективов в порядке конкурса.

После обоснования проблемы и установления ее структуры определяются темы научного исследования, каждая из которых должна быть актуальной (важной, требующей скорейшего разрешения), иметь научную новизну, т. е. должна вносить вклад в науку, быть экономически эффективной для народного хозяйства. Поэтому выбор темы должен базироваться на специальном технико-экономическом расчете. При разработке теоретических исследований требование экономичности иногда заменяется требованием значимости, определяющим престиж отечественной науки.

Каждый научный коллектив (вуз, НИИ, отдел, кафедра) по сложившимся традициям имеет свой научный профиль, квалификацию, компетентность, что способствует накоплению опыта исследований, повышению теоретического уровня разработок, качества и экономической эффективности, сокращению срока выполнения исследования. Вместе с тем нельзя допускать монополию

в науке, так как это исключает соревнование идей и может снизить эффективность научных исследований.

Важной характеристикой темы является возможность быстрого внедрения полученных результатов в производство. Особо важно обеспечить широкое внедрение результатов в масштабах, например, отрасли, а не только на предприятии заказчика. При задержке внедрения или при внедрении на одном предприятии эффективность таких тем существенно снижается.

Выбору темы должно предшествовать тщательное ознакомление с отечественными и зарубежными литературными источниками данной и смежных специальностей. Существенно упрощается методика выбора тем в научном коллективе, имеющем научные традиции (свой профиль) и разрабатывающем комплексную проблему.

При коллективной разработке научных исследований большую роль приобретают критика, дискуссии, обсуждение проблем и тем. В процессе дискуссии выявляются новые, еще не решенные актуальные задачи разной степени важности и объема. Это создает благоприятные условия для участия в научно-исследовательской работе вуза студентов различных курсов. На первом этапе преподавателям целесообразно поручить студентам подготовку по теме одного-двух рефератов, провести с ними консультации, определить конкретные задачи. Большое значение для выбора прикладных тем имеет четкая формулировка задач заказчиком (министерством, объединением и т. д.).

При этом необходимо иметь в виду, что в процессе научных разработок возможны и некоторые изменения в тематике по требованию заказчика в зависимости от складывающейся производственной обстановки.

4.2. Оценка экономической эффективности темы

Приведенные выше требования (критерии), предъявляемые к выбору тем, позволяют всесторонне оценить и установить пригодность их для данной научно-исследовательской организации. Однако в ряде случаев при планировании тем возникает потребность в выборе наиболее перспективных, экономически обоснованных тем. В этом случае оценку народнохозяйственной необходимости разработки тем необходимо определять численными критериями, простейшим из которых является критерий экономической эффективности $k_3 = \Delta_n / Z_n$, где Δ_n — предпо-

лагаемый экономический эффект от внедрения; $Z_{\text{и}}$ — затраты на научные исследования.

Чем больше значение k_z , тем эффективнее тема и выше ее народнохозяйственная эффективность. Величина k_z в нашей стране колеблется от 1,5...2 до 10 руб. на рубль затрат.

Однако критерий k_z не учитывает объем внедряемой продукции, период внедрения, поэтому более объективным является критерий, вычисляемый по формуле $k_z = C_T \sqrt{T/Z_0}$. Здесь C_T — стоимость продукции за год после освоения научного исследования и внедрения в производство; T — продолжительность производственного внедрения в годах; Z_0 — общие затраты на выполнение научного исследования, опытное и промышленное освоение продукции и годовые затраты на ее изготовление по новой технологии.

Экономичность является важнейшим критерием перспективности темы. Однако при оценке крупных тем этого критерия оказывается недостаточным и требуется более общая оценка, учитывающая и другие показатели. В этом случае часто используется экспертная оценка, которая выполняется специально подобранным составом высококвалифицированных экспертов (обычно от 7 до 15 человек). С их помощью в зависимости от специфики тематики, ее направления или комплексности устанавливаются оценочные показатели тем. Тема, получившая максимальную поддержку экспертов, считается наиболее перспективной.

4.3. Этапы научно-исследовательской работы

Научно-исследовательская работа выполняется в определенной последовательности. Вначале формулируется сама тема в результате общего ознакомления с проблемой, в рамках которой предстоит выполнить исследование и разрабатывается основной исходный предплановый документ — технико-экономическое обоснование (ТЭО) темы. Только при наличии такого обоснования возможно дальнейшее планирование и финансирование темы заказчиком. В первом разделе ТЭО темы указываются причины разработки (ее обоснование), приводится краткий литературный обзор, в котором описываются уже достигнутый уровень исследований и ранее полученные результаты. Особое внимание уделяется еще не решенным вопросам, обоснованию, актуальности и значимости ра-

боты для отрасли и народного хозяйства страны. Такой обзор позволяет наметить методы решения, задачи и этапы исследования, определить конечную цель выполнения темы. Сюда входят патентная проработка темы и определение целесообразности закупки лицензий.

На стадии составления ТЭО устанавливается область использования ожидаемых результатов НИР, возможность их практической реализации в данной отрасли, определяется предполагаемый (потенциальный) экономический эффект за период применения новой техники (зависящей от продолжительности разработки НИР и ОКР, этапов завершения и внедрения отдельных вопросов). Кроме экономического эффекта в ТЭО указываются предполагаемые социальные результаты (рост производительности труда, качества продукции, повышение уровня безопасности и производственной санитарии, обеспечение охраны природы и окружающей среды). В результате составления ТЭО делается вывод о целесообразности и необходимости выполнения НИР и ОКР. Техничко-экономическое обоснование утверждается отраслевым министерством. После утверждения ТЭО конкретизируются цели и задачи исследования. Составляется библиографический список отечественной и зарубежной литературы, научно-технических отчетов по теме различных организаций соответствующего профиля, составляются аннотации литературных источников и в случае необходимости рефераты по теме, уясняются явления, процессы, предметы, которые должны охватить конкретное исследование, а также методы исследования (экспериментальные, теоретические и т. д.).

Целью теоретических исследований является изучение физической сущности предмета. В результате обосновывается физическая модель, разрабатываются математические модели и анализируются полученные таким образом предварительные результаты.

Перед организацией экспериментальных исследований разрабатываются задачи, выбираются методика и программы эксперимента. Его эффективность существенно зависит от выбора средств измерений. При решении этих задач необходимо руководствоваться инструкциями и ГОСТами.

Принимаемые методические решения формулируются в виде методических указаний на проведение эксперимента.

После разработки методик исследования составля-

ется рабочий план, в котором указываются объем экспериментальных работ, методы, техника, трудоемкость и сроки.

После завершения теоретических и экспериментальных исследований проводится общий анализ полученных результатов, осуществляется сопоставление гипотезы с результатами эксперимента. В результате анализа расхождений уточняются теоретические модели. В случае необходимости проводятся дополнительные эксперименты. Затем формулируются научные и производственные выводы, составляется научно-технический отчет.

Следующим этапом разработки темы является внедрение результатов исследований в производство и определение их действительной экономической эффективности. Внедрение фундаментальных и прикладных научных исследований в производство осуществляется через разработки, проводимые, как правило, в опытно-конструкторских бюро, проектных организациях, опытных заводах и мастерских. Разработки оформляются в виде опытно-технологических или опытно-конструкторских работ, включающих формулировки темы; цели и задачи разработки; изучение литературы; подготовку к техническому проектированию экспериментального образца; техническое проектирование (разработка вариантов технического проекта с расчетами и разработкой чертежей); изготовление отдельных блоков, их объединение в систему; согласование технического проекта и его технико-экономическое обоснование. После этого выполняется рабочее проектирование (детальная проработка проекта); изготавливается опытный образец; производятся его опробование, доводка и регулировка; стендовые и производственные испытания. После этого осуществляется доработка опытного образца (анализ производственных испытаний, переделка и замена отдельных узлов).

Успешное выполнение перечисленных этапов работы дает возможность представить образец к государственным испытаниям, в результате которых образец запускается в серийное производство. Разработчики при этом осуществляют контроль и дают консультации.

Внедрение завершается оформлением акта экономической эффективности результатов исследования.

5.1. Информатика как наука

Концепция ускорения социально-экономического развития страны, выдвинутая в решениях XXVII съезда КПСС, в значительной мере опирается на достижения научно-технического прогресса (НТП). Использование возможностей НТП во многом зависит от своевременного обеспечения предприятий, учреждений и организаций страны оперативной и полной информацией о достижениях науки и техники и эффективного ее использования в научно-исследовательском, проектно-конструкторском, производственном процессах и при принятии решения на всех уровнях управления.

При создании новой техники в случае неполноты, недостаточной достоверности или неоперативности информации практически невозможно составить представление о лучших мировых и отечественных образцах, в связи с чем уже на стадии проектирования может быть заложена техническая отсталость.

Не менее важное значение имеет задача обеспечения научных исследований удобной для восприятия информацией о важнейших научных достижениях, полученных в прошлом. Таким образом, задача развития общегосударственной системы сбора, обработки, хранения, эффективного поиска и передачи информации, основанной на использовании самых современных методов и средств (в первую очередь вычислительной техники), является чрезвычайно актуальной. Методы информатики успешно применяются для создания эффективных информационных систем и составляют основу для автоматизации научных исследований, проектирования, различных производственных процессов.

В настоящее время сформировалось понятие информатики как важной отрасли научного знания¹, включающей в себя несколько научных дисциплин, связанных с проблемой общения человека с ЭВМ, с созданием компьютерных систем.

В информатике можно выделить ряд направлений:

¹ См.: Корюкова А. А., Дера В. Г. Основы научно-технической информации. М., 1985.

техническое (инженерное), связанное с созданием вычислительной техники и разнообразных автоматизированных информационно-поисковых систем; программное, связанное с обеспечением вычислительной машины программами, позволяющими реализовать на ней задачи, решаемые пользователями; алгоритмическое, связанное с разработкой алгоритмов решения различных теоретических и практических задач и содержанием так называемых баз и банков данных.

Информационные системы. Разработка, создание и использование информационных систем для обеспечения широкого круга потребителей информацией о достижениях науки и техники, решения экономических и управленческих задач — важный раздел современной информатики. При этом термин «информатика» может использоваться для определения как соответствующей научной дисциплины, так и связанной с ней области деятельности. Именно такой подход имеется в виду при использовании ряда родственных терминов: общегосударственная система обработки и передачи информации, государственная система научно-технической информации, система информационного обеспечения ученых и специалистов и др. Обычно эти термины обозначаются понятиями «информационная система» и «система информационного обеспечения».

Важнейшим компонентом системы информационного обеспечения является новая научно-техническая информация об оригинальных идеях, научных результатов, фактах и т.д. При этом всегда существовала проблема «адресности», суть которой заключается в том, чтобы эта информация своевременно доставлялась именно тем пользователям, для которых она представляет непосредственный интерес. Система научной коммуникации стала оформляться в качестве самостоятельной системы, ответственной за хранение и распространение научных сведений и знаний. Активно развивались издательское дело, библиотеки, а позднее — реферативные, информационные и консультационные службы.

Библиотеки стали активно использовать в своей работе последние достижения науки и техники и прежде всего ЭВМ (и соответствующие системы памяти), объединенные с современными средствами связи. Система научной коммуникации постепенно стала приобретать главенствующую роль в посредничестве между разра-

ботчиками новых сведений и потребителями, заинтересованными в их непосредственном использовании.

Информационные продукты. Совокупность унифицированных сведений и услуг, представленных в некотором стандартизованном виде, получили название информационных продуктов. Примерами могут служить распечатанные результаты поиска в информационном массиве, специализированные издания, аналитические справки и т. д. Каждый тип информационного продукта требует специфической технологии его получения. Поэтому одни информационные системы стали специализироваться на производстве тех или иных конкретных видов информационных продуктов, другие (более мощные) оказались способными производить совокупность продуктов разного типа. В результате выделились специализированные и универсальные (интегральные) информационные системы.

Базы данных, информационные ресурсы. По мере развития вычислительной техники и средств хранения информации появилась возможность экономически оправданного накопления и хранения больших машинных информационных массивов (баз данных). В связи с их широким распространением, развитием методов и средств переработки этих данных в информационные продукты стала быстро развиваться индустрия информации, начался переход к «бесбумажной информатике».

Базы данных можно подразделить на *библиографические и фактографические*. Библиографические базы данных содержат так называемую «вторичную» информацию, т. е. сведения о публикациях. Соответствующая «первичная» информация (т. е. сами публикации: книги, статьи, патенты и т. д.) хранится в другом контуре информационной системы. Фактографические базы данных содержат сведения фактического характера и представляют собой конечный пользовательский продукт.

Базы данных могут быть отраслевыми, политематическими, «внутренними» (т. е. создаваемыми в рамках некоторой организации) или «внешними» (т. е. создаваемыми за пределами данной организации). Иногда базы данных создаются по признакам принадлежности документов к тому или иному виду (по патентам, диссертациям и т. д.) или по определенной направленности тематики. Например, в последнее время в интересах науки и техники создаются фактографические базы данных по свойствам материалов и веществ (Госстандарта СССР);

по важнейшему машиностроительному оборудованию (ГКНТ СССР); отраслевые базы данных по новым прогрессивным технологиям.

В нашей стране базы данных создаются в соответствии с планами их производства во всесоюзных и отраслевых информационных органах, а также ведущих научно-исследовательских институтах (табл. 5.1).

Информационная технология. Каждый тип информационного продукта требует специфической технологии его получения. Важнейшей составной частью этой технологии является соответствующее программное обеспечение в виде так называемых *пакетов прикладных программ* (ППП). В тех случаях, когда каждому программному продукту соответствует свой ППП, последний относят к проблемно-ориентированным или функциональным ППП. Если же один и тот же ППП позволяет получать целый ряд информационных продуктов, его обычно называют интегральным (табл. 5.2).

Таким образом, составляющими современного производства информационных продуктов являются: технические средства (ЭВМ, средства тиражирования и передачи информации), базы данных, ППП. Процедуры производства информационных продуктов из исходных баз данных оформляются в виде руководств, инструкций, нормативно-технических, организационных и научно-методических документов.

Для производства самих баз данных также требуется своя информационная технология. Так, с понятием «база данных» тесно связано понятие «банк данных». **Банк данных** — разновидность информационной системы для накопления больших объемов относительно однородных взаимосвязанных и изменчивых данных, их оперативного обновления и многоцелевого использования. В состав банка данных входят: база (базы) данных и комплекс средств ее создания и использования (программная система управления базами данных, языки, вычислительное оборудование, процедуры, персонал, методики).

Информационные сети. По мере развития средств связи и вычислительной техники они все в большей мере объединяются в единую информационную инфраструктуру, техническую основу которой составляют информационные сети. Через них потребитель получает возможность доступа практически к любым банкам данных, подсоединенным к сети.

Перечень некоторых баз данных, обрабатываемых в МЦНТИ

База данных	Состав информации и тематика	Вид документов	Начало обработки	Прирост за год, тыс.
МСИС НИР	Отчеты о НИР и диссертации стран — членов СЭВ по всем областям науки и техники	Рефераты на русском языке	01.01.73	40
INIS	Статьи, труды конференций, патенты, отчеты о НИР по атомной науке и технике	Рефераты на английском языке	01.01.77	70
INSPEC	Статьи, труды конференций, патенты, отчеты о НИР по физике, электротехнике, вычислительной технике и теории управления	То же	01.07.78	160
Energy Abstracts	Статьи, труды конференций, патенты, отчеты о НИР по технологии энергетики и энергетическому машиностроению	То же	01.01.79	Обработка закончена 31.12.81 Объем—48 тыс.

SPIN	Статьи по фундаментальной физике, астрофизике и астрономии	То же	01.01.79	25
CPI	Труды конференций, симпозиумов по всем областям науки и техники	Названия конференций и докладов	01.01.80	100
НТОЭ	Научно-технические отчеты по энергетике	Названия отчетов на английском языке	01.07.80	10
COMPENDEX	Статьи, труды конференций, патенты, отчеты о НИР по техническим и технологическим вопросам науки и техники	Рефераты на английском языке	01.01.82	80
Всего				485

Пакеты прикладных программ, применяемые в МЦНТИ

Пакет программ, операционная система, требуемая память	Функциональные особенности ППП, разработчик	Передача ППП потребителю		
		Права МЦНТИ на передачу	Что передается	Основа передачи
АДИОС ДОС, 60 Кбайт	Интегральная система с развитыми средствами ввода и контроля данных, введения тезауруса, генерация выходных форм, фактографического поиска, РОБОТРОН (ГДР)	Только в страны — члены МЦНТИ	Сгенерированные версии, рабочий проект	Договор с МЦНТИ
КАМА ОС, 100 Кбайт	Программная система телеуправления, решающая прикладные задачи телеобработки научно-технической информации, НИЦЭВТ (СССР)	—	—	—
АСОД ОС, 100 Кбайт	Система обработки документов, обеспечивающая ретроспективный поиск и диалоговую обработку запросов на ЭВМ с малой и средней конфигурацией, МЦНТИ	Без ограничений	Дистрибутивная МЛ, методические материалы, техническая документация	Договор с МЦНТИ
ДИАЛОГ ОС, 250 Кбайт	Многоотерминальная диалоговая информационно-поисковая система для ЭВМ с большой конфигурацией, МЦНТИ	То же	То же	То же

МУЛЬТИПЛЕКС ОС, 240 Кбайт	Система для обработки больших пакетов запросов в режиме избирательного распространения информации, МЦНТИ	»	То же	»
СКОФ ОС, 140 Кбайт	Система конвертирования файлов, обеспечивающая обработку баз данных в коммуникативном формате, МЦНТИ	»	То же	»
СКИФ ОС, 170 Кбайт	Система комплексной идентификации файлов, обеспечивающая анализ, селекцию и реорганизацию баз данных, МЦНТИ	»	То же	»
СПНТ ОС, 150 Кбайт	Система программирования набора текстов, обеспечивающая автоматический фотонабор информационных изданий и технической документации МЦНТИ	»	То же	»

Пакет программ, операционная система, требуемая память	Функциональные особенности ППП, разработчик	Передача ППП потребителю		
		Права МЦНТИ на передачу	Что передается	Основа передачи
ДИАЛИН ОС, 180 Кбайт	Система автоматизации лингвистических задач (составление и ведение словарей, индексирование документов и т. п.), МЦНТИ	—	—	—
CDS/ISIS, 250 Кбайт	Интегральная система, включающая средства интерактивного ввода, генерации выходных форм, фотонабора ЮНЕСКО	Без ограничений	Дистрибутивная МЛ, методические материалы, техническая документация	Договор с МЦНТИ и ЮНЕСКО
СЕКТОР ОС, 60 Кбайт	Система управления базами данных сетевой структуры ИНТЕРПРОГРАММА	—	—	—
ТЕЛЕСПРАВКА ОС, 230 Кбайт	Диалоговая информационная система, ИНТЕРПРОГРАММА	—	—	—

В настоящее время сосуществуют различные системы научной коммуникации. Часть из них реализована в традиционной форме через информационные центры и библиотеки, другая часть — через сети данных. По такому (смешанному) принципу организована, в частности, доставка информации потребителям в Государственной системе научной и технической информации (ГСНТИ) и соответственно в Международной системе НТИ стран — членов СЭВ (МСНТИ).

Потребители информации. Каждый потребитель обычно выдвигает свои специфические требования к информационной системе, его требования строго индивидуальны. Однако с точки зрения рационального создания информационных систем возможных потребителей целесообразно разделить на четыре категории, связанные с проведением научных исследований; с разработкой и проектированием новой техники; с принятием управленческих решений по созданию новой техники; с решением плано-управленческих задач (определение народнохозяйственных пропорций, разработка планов, установление перспектив развития и т. д.).

Приведенное разделение потребителей по категориям условно и позволяет в конечном итоге лучше сформулировать требования к конкретным информационным системам и тем самым повысить эффективность информационного обеспечения разного рода конечных потребителей.

5.2. Научные документы и издания

Структурной единицей, характеризующей информационные ресурсы и информационные продукты с количественной стороны, является научный документ¹, под которым понимается материальный объект, содержащий научно-техническую информацию и предназначенный для ее хранения и использования.

В зависимости от способа представления информации различают документы: текстовые (книги, журналы, отчеты и др.), графические (чертежи, схемы, диаграммы), аудиовизуальные (звукозаписи, кино- и видеофильмы), машиночитаемые (например, образующие базу данных, на микрофотоносителях) и др. Кроме того, документы подразделяются на первичные (содержащие непосредст-

¹ См.: Воробьев Г. Г. Документ: информационный анализ. М., 1973.

венные результаты научных исследований и разработок, новые научные сведения или новое осмысление известных идей и фактов) и вторичные (содержащие результаты аналитико-синтетической и логической переработки одного или нескольких первичных документов или сведения о них).

Первичные документы и издания. Как первичные, так и вторичные документы подразделяются на опубликованные (издания) и неопубликуемые. С развитием информационной технологии это разграничение становится все менее существенным. В связи с наличием в неопубликуемых документах ценной информации, опережающей сведения в опубликованных изданиях, органы НТИ стремятся оперативно распространять эти документы с помощью новейших средств репродуцирования.

В числе первичных документов — книги (непериодические текстовые издания объемом свыше 48 страниц); брошюры (непериодические текстовые издания объемом свыше четырех, но не более 48 страниц). Книги и брошюры подразделяются на платные и бесплатные, а также на научные, учебные, официально-документальные, научно-популярные и, наконец, по отраслям науки и научным дисциплинам. Среди книг и брошюр важное научное значение имеют монографии, содержащие всестороннее исследование одной проблемы или темы и принадлежащие одному или нескольким авторам, и затем сборники научных трудов, содержащие ряд произведений одного или нескольких авторов, рефераты и различные официальные или научные материалы.

Для учебных целей издаются учебники и учебные пособия (учебные издания). Это непериодические издания, содержащие систематизированные сведения научного и прикладного характера, изложенные в форме, удобной для преподавания и изучения.

Некоторые издания, публикуемые от имени государственных или общественных организаций, учреждений и ведомств, называются официальными. Они содержат материалы законодательного, нормативного или директивного характера.

Наиболее оперативным источником НТИ являются периодические издания, выходящие через определенные промежутки времени, постоянным для каждого года числом номеров. Традиционными видами периодических изданий являются газеты и журналы. К периодическим относятся также продолжающиеся

издания, выходящие через неопределенные промежутки времени, по мере накопления материала. Обычно это сборники научных трудов институтов, вузов, научных обществ, публикуемых без строгой периодичности под общим заглавием «Труды», «Ученые записки», «Известия» и др.

К специальным видам технических изданий принято относить нормативно-техническую документацию, регламентирующую научно-технический уровень и качество выпускаемой продукции (стандарты, инструкции, типовые положения, методические указания и др.). **Стандарт** — нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентным органом. В СССР действуют четыре категории стандартов: государственные (ГОСТы); отраслевые (ОСТы); республиканские стандарты союзных республик (РСТ) и стандарты предприятий (объединений) (СТП). В зависимости от содержания стандарты включают: технические условия и требования; параметры и размеры; типы; конструкции; марки; сортаменты; правила приемки; методы контроля; правила эксплуатации и ремонта; типовые технологические процессы и т. п. По принадлежности стандарты подразделяются на отечественные, стран — членов СЭВ, национальные зарубежных стран, фирм и ассоциаций, международных организаций (например, Международной организации мер и весов и т. д.).

Важное значение для постановки научно-исследовательских работ имеет **патентная документация**, представляющая собой совокупность документов, содержащих сведения об открытиях, изобретениях и других видах промышленной собственности, а также сведения об охране прав изобретателей. Патентная документация обладает высокой степенью достоверности, так как подвергается тщательной экспертизе на новизну и полезность.

Первичные непубликуемые документы могут быть размножены в необходимом количестве экземпляров и пользоваться правами изданий (рукописи и корректурные оттиски являются промежуточными этапами полиграфического процесса и не относятся к научным документам). К основным видам непубликуемых первичных документов относятся научно-технические отчеты, диссертации, депонированные рукописи, научные переводы, конструкторская документация, информацион-

ные сообщения о проведенных научно-технических конференциях, съездах, симпозиумах, семинарах.

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

В справочных изданиях (справочники, словари) содержатся результаты теоретических обобщений, различные величины и их значения, материалы производственного характера.

В обзорных изданиях содержится концентрированная информация, полученная в результате отбора, систематизации и логического обобщения сведений из большого количества первоисточников по определенной теме за определенный промежуток времени. Различают обзоры аналитические (содержащие аргументированную оценку информации, рекомендации по ее использованию) и реферативные (носящие более описательный характер). Кроме того, работники библиотек часто готовят библиографические обзоры, содержащие характеристики первичных документов как источников информации, появившихся за определенное время или объединенных каким-либо общим признаком.

Реферативные издания (реферативные журналы, реферативные сборники) содержат сокращенное изложение первичного документа или его части с основными фактическими сведениями и выводами. Реферативный журнал — это периодическое издание журнальной или карточной формы, содержащее рефераты опубликованных документов (или их частей). Реферативный сборник — это периодическое, продолжающееся или непериодическое издание, содержащее рефераты непубликуемых документов (в них допускается включать рефераты опубликованных зарубежных материалов).

Библиографические указатели являются изданиями книжного или журнального типа, содержащими библиографические описания вышедших изданий. В зависимости от принципа расположения библиографических описаний указатели подразделяются на систематические (описания располагаются по областям науки и техники в соответствии с той или иной системой классификации) и предметные (описания располагаются в порядке перечисления важнейших предметов в соответствии с предметными рубриками, расположенными в алфавитном порядке).

Вторичные непубликуемые документы

включают регистрационные и информационные карты, учетные карточки диссертаций, указатели депонированных рукописей и переводов, картотеки «Конструкторская документация на нестандартное оборудование», информационные сообщения. К ним принято относить также вторичные документы, которые публикуются, но рассылаются по подписке (Бюллетени регистрации НИР и ОКР, сборники рефератов НИР и ОКР и др.).

Документные классификации. Традиционным средством упорядочения документальных фондов являются библиотечно-библиографические (документные) классификации. Наибольшее распространение получила Универсальная десятичная классификация (УДК), которая используется более чем в 50 странах мира и юридически является собственностью Международной федерации по документации (МФД), отвечающий за дальнейшую разработку таблиц УДК, их состояние и издание. В СССР УДК введена с 1963 г. в качестве единой системы классификации всех публикаций по точным, естественным наукам и технике. УДК является международной универсальной системой, позволяющей детально представить содержание документальных фондов и обеспечить оперативный поиск информации, обладает возможностью дальнейшего развития и совершенствования. Отличительными чертами УДК являются охват всех отраслей знаний, возможность неограниченного деления на подклассы, индексация арабскими цифрами, наличие развитой системы определителей и индексов. В СССР издают полные, средние, отраслевые издания и рабочие схемы, а также методические пособия по классификации.

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

Каждый из классов разделен на десять разделов, которые, в свою очередь, подразделяются на десять более мелких подразделов и т. д. Для лучшей наглядности и удобства чтения всего индекса после каждых трех цифр, начиная слева, ставится точка (при чтении она не произносится, а отражается паузой).

Внутри каждого раздела применяется иерархическое построение от общего к частному с использованием того же десятичного кода. Детализация понятий осуществляется за счет удлинения индексов, при этом каждая последующая присоединяемая цифра не меняет значения и смысла предыдущих, а лишь уточняет их, обозначая более частное, узкое понятие. Например: 5 — Математика. Естественные науки; 53 — Физика, 536 — Термодинамика и т. д.

Наряду с основной таблицей в УДК имеются *вспомогательные таблицы* определителей, позволяющие проводить дальнейшую детализацию индексов. Эти определители отражают общие, повторяющиеся для многих предметов признаки. Определители делятся на специальные, используемые только в определенном разделе схемы, и общие, применяющиеся во всех ее разделах.

Общие определители УДК отражают категории и признаки, применяемые во всей системе: время (кавычки), место (скобки), язык (знак равенства), материалы (дефис, нуль, три), лица (дефис, нуль, пять), расы и народы (скобки, равенство), форму и характер материала (скобки, нуль); точки зрения (точка, нуль, нуль). Примеры использования общих определителей: =20 (на английском языке); (083.74) (стандарты и другие нормативные документы); (47+57) (СССР); (-20) (англичане); «1982.08.22» (22 августа 1982 г.); 003.1 (экономическая точка зрения); 621.789.1—033.5 (стеклянная тара); 622—05 (горняки).

Основные символы специальных разделителей следующие: дефис — служит для обозначения элементов, составных частей, свойств и других признаков предметов, выраженных основными индексами УДК (например, в разделах 62/69 определители —1/—9 служат для выражения технологических характеристик и деталей машин, в разделах 82/89 — для обозначения литературных форм и жанров и т. д.); .0 (точка, нуль) — отражает аспект рассмотрения, деятельность, процессы, операции, машины и оборудование и т. д. (например, 621.7.019 Дефекты обработки. Дефекты изделий и их контроль);

«(апостроф) — служит для создания комплексных понятий посредством слияния составляющих элементов, используется в разделах химии и химической технологии, металлургии, геологии (например, 546.32 «267 Цианистый калий»).

Для отражения отношений (связей) между понятиями используются знаки соединений, позволяющие объединять частные понятия и расширять новые понятия от частного к общему. Наиболее распространенные виды соединений индексов УДК: присоединение (+), произносится как «плюс» или «и» используется для объединения двух или более независимых друг от друга понятий (например, 629.76+629.73 Авиация и ракетная техника); распространение (/), произносится как «косая черта» или «от и до», используется для обобщения ряда последовательных индексов, не имеющих общего индекса (например, 622.332/.335 Уголь, включающий бурые угли, лигниты, каменные угли и антрацит); отношение (:), произносится как «двоеточие» или «отношение к», используется как для выражения отношения между двумя понятиями, так и для дальнейшего подразделения индексов основной таблицы (например, 31:63 Сельскохозяйственная статистика, где 31 — Статистика, а 63 — Сельское хозяйство).

Для облегчения работы с таблицами УДК к ним прилагается алфавитно-предметный указатель, с помощью которого по понятиям можно определить их местонахождение в схеме. Понятия в указателе расположены в алфавитном порядке, справа от каждого понятия приведен соответствующий индекс.

Информация о содержании зарубежных изданий. СССР ежегодно выписывает из большинства зарубежных стран более 15 тыс. изданий естественно-научных и технических журналов. Около 70 % зарубежных журналов получают центральные отраслевые органы НТИ и Республиканские институты научно-технической информации (РИНТИ), остальные — библиотеки и органы НТИ научно-исследовательских, проектно-конструкторских и других организаций.

Около половины из всех выписываемых зарубежных журналов ежегодно поступает в ГПНТБ СССР. В целях информирования специалистов о поступивших изданиях эта библиотека издает «Указатель иностранных журналов, выписанных ГПНТБ СССР», в котором названия журналов располагаются в алфавитном порядке. Через

1...2 дня с момента поступления журнала в библиотеку читатель уже может работать с ним, а при необходимости заказать копию любой статьи. (Журналы и книги, хранящиеся в ГПНТБ СССР, можно получить по межбиблиотечному абоненту. Этим же путем можно приобрести микрокопии или ксерокопии изданий.) ГПНТБ готовит также «Указатель научно-технических иностранных журналов, не выписанных в СССР», содержащий сведения об отраслях науки и техники, которым предназначено издание, названия журналов, издательства и их адреса. Руководствуясь этими сведениями, любая заинтересованная организация может выписывать нужные журналы из-за рубежа.

Перечень важнейших журналов (2 тыс. наименований) приводится в общесоюзном ежегоднике «Каталог оперативной сигнальной информации по иностранным журналам. Естественные науки. Техника». Этот каталог издает ГПНТБ СССР и рассылает во всеохватные, центральные отраслевые, республиканские и межотраслевые территориальные органы НТИ, которые, в свою очередь, направляют его на предприятия и в организации. К каталогу приложен указатель адресов организаций, осуществляющих сигнальную информацию.

Базы данных на магнитных лентах. С 1965 г. в мировой информационной практике появилась новая форма информационных изданий — библиографические и фактографические машиночитаемые базы данных (БД) на магнитных лентах. Внедрение в информационную практику БД позволяет осуществлять обмен машиночитаемыми носителями информации в международном масштабе.

В СССР машиночитаемые базы данных выпускают в рамках Государственной системы научно-технической информации (ГСНТИ) с годовым объемом БД более 2 млн. названий документов. Распространяются БД на условиях договора между организацией-поставщиком и приобретающей организацией. Ряд органов НТИ страны обмениваются БД с международными организациями.

Закономерности производства НТИ. Анализ источников информации. Рассмотренные источники информации образуют систему научных документов и изданий, для которой характерны определенные закономерности, отражающие развитие науки. Установлен ряд общих закономерностей, характеризующих рост и старение документов.

Рост числа журналов и количества содержащихся в них статей в основном характеризуется экспоненциальной зависимостью с разными показателями для разных научных областей. Так, например, рост числа библиографических журналов за последние 200 лет характеризуется экспоненциальной зависимостью с удвоением за 18 лет, а журналов по математике — с удвоением за 28 лет.

Старение документов заключается в том, что с увеличением сроков со времени выпуска изданий они теряют ценность как источники информации и по этой причине все меньше используются учеными и специалистами.

Наряду с исследованием общих закономерностей роста и старения документов, анализ и статическая обработка источников информации позволяют получить картину состояния и развития конкретных научных направлений (на основе анализа структуры документального потока) и выявить взаимосвязи между отдельными научными дисциплинами (направлениями), странами, школами, коллективами и учеными. Результаты анализа баз данных по запросам потребителей — специальный вид информационных продуктов, который по мере оснащения органов НТИ вычислительной техникой и соответствующим программным обеспечением получит все большее распространение.

5.3. Государственная система научно-технической информации

Государственная система научно-технической информации (ГСНТИ) представляет собой сложную систему, структурно отражающую управление народным хозяйством. Основными принципами ее создания и развития являются: централизация в переработке информационных ресурсов и в управлении системой; децентрализация в доведении информационных продуктов до потребителей; специализация в распределении функций между органами НТИ как при распределении потоков информации, так и при информационном обслуживании. В соответствии с этими принципами ГСНТИ имеет четырехуровневую организационную структуру: I — всесоюзные органы НТИ; II — центральные отраслевые органы НТИ (ЦООНТИ); III — межотраслевые республиканские институты НТИ (РИНТИ) и территориальные центры НТИ

(ЦНТИ); IV — отделы (бюро) НТИ объединений, предприятий, организаций. В состав ГСНТИ входят также специальные, научно-технические и технические библиотеки, а также Государственная служба стандартных справочных данных о свойствах веществ и материалов. В настоящее время ГСНТИ включает 12 всесоюзных, 90 центральных отраслевых, 14 республиканских, 113 межотраслевых территориальных органов НТИ и около 9 тыс. органов НТИ в организациях и на предприятиях.

Всесоюзные органы НТИ обеспечивают обработку наиболее полного потока первичных документов по тематике и виду, закрепленным за каждым из них.

ВИНИТИ (Всесоюзный институт научной и технической информации) выполняет функции головного научно-исследовательского информационного органа страны и обрабатывает поток опубликованной научно-технической литературы в области точных, естественных и технических наук (получает из 130 стран мира свыше 25 тыс. периодических и продолжающихся изданий, около 16 тыс. монографий и сборников на 66 языках мира), подготавливает и издает библиографические указатели, реферативные журналы, сигнальную информацию, экспресс-информацию, обзорную информацию.

ГПНТБ СССР (Государственная публичная научно-техническая библиотека СССР) выполняет функции общесоюзного научно-методического центра для научных, специальных и технических библиотек и Всесоюзного центра координации библиографической работы в области техники.

ВНТИЦентр (Всесоюзный научно-технический информационный центр) обрабатывает поток непубликуемых источников информации об исследованиях и разработках во всех областях науки и техники, осуществляет государственную регистрацию ведущихся в стране НИР и ОКР, создает общегосударственный фонд микрокопий отчетов о НИР, диссертаций, описаний алгоритмов и программ. Во ВНТИЦентр поступают также регистрационные карты на вновь начинаемые исследования и разработки, информационные сообщения о проведенных конференциях и совещаниях. Для организаций и предприятий ВНТИЦентр издает сигнальное издание «Бюллетень регистрации НИР и ОКР», периодическое издание «Сборник рефераторов НИР и ОКР», информационный бюллетень «Алгоритмы и программы», а также обзоры, би-

блиографические указатели отчетов и диссертаций по конкретным проблемам.

ВНИИПИ (Всесоюзный научно-исследовательский институт патентной информации Госкомизобретений СССР) осуществляет централизованную многоаспектную обработку публикуемой в мире патентной документации и комплектует государственный фонд патентной информации, выпускает ряд библиографических, реферативных и обзорных изданий, указатели к справочно-поисковому аппарату и к патентным фондам СССР, а также распространяет библиографическую информацию на магнитных лентах, микро- и ксерокопии описаний.

ИНИОН (Институт научной информации по общественным наукам) осуществляет сбор, переработку и хранение научной информации по общественным наукам, подготовку библиографической, реферативной и обзорной информации в виде печатных изданий, информационное обслуживание научных учреждений, вузов, государственных органов и общественных организаций.

ВКП (Всесоюзная книжная палата) является центром государственной библиографии СССР. В ее функции входят создание и хранение неприкосновенного Архива произведений печати нашей страны, государственная регистрация печатной продукции и информирование о ней (в настоящее время в Архиве собрано свыше 53 млн. документов), выпускает библиографические указатели «Летописи».

ВИМИ (Всесоюзный научно-исследовательский институт межотраслевой информации) осуществляет методическое руководство обязательным взаимным обменом информацией о научно-технических достижениях и передовом производственном опыте между организациями и предприятиями различных отраслей народного хозяйства с помощью информационных листов.

ВНИИКИ (Всесоюзный научно-исследовательский институт информации, классификации и кодирования) является головной организацией в стране в области нормативно-технической информации и пропаганды стандартизации, метрологии и управления качеством продукции.

ВЦП (Всесоюзный центр переводов) выполняет по заказам организаций переводы различных видов научно-технической литературы и документации с 30 иностранных языков на русский и с русского на иностранный.

ВДНХ СССР (Выставка достижений народного

хозяйства СССР) — постоянно действующая выставка для демонстрации достижений промышленности, строительства, транспорта, культуры и здравоохранения — активно пропагандирует достижения науки, техники, культуры и передовой производственный опыт. Для обслуживания специалистов работает информационный центр ВДНХ СССР.

ВНИИПМ (Всесоюзный научно-исследовательский институт проблем машиностроения) проводит государственную регистрацию, учет и подготовку информации по выпускаемому, намеченному к выпуску и снимаемому с производства оборудованию в соответствии с «Общесоюзным классификатором промышленной и сельскохозяйственной продукции», осуществляет справочно-информационное обслуживание предприятий и организаций, издает библиографические указатели и «Новые промышленные каталоги» по 20 сериям.

ВНИЦМВ (Всесоюзный научно-исследовательский центр по материалам и веществам) является центральным методическим органом ГСССД (Государственной службы стандартных справочных данных), издает библиографические указатели, реферативные сборники и обзоры (в том числе сборник «Информационный бюллетень ГСССД»), контролирует справочники с данными о свойствах веществ и материалов, издаваемые другими организациями.

ЦООНТИ (Центральные отраслевые органы НТИ) составляют основу ГСНТИ. В СССР их создано 90, но статус их неодинаков. В 32 общесоюзных министерствах созданы центральные научно-исследовательские институты информации, ведущие также и технико-экономические исследования. В других министерствах и ведомствах в качестве центральных отраслевых органов выступают центральные бюро (ЦБНТИ), центры (ЦНТИ) или отделы (ОНТИ) научно-технической информации. В состав ЦООНТИ, как правило, входят и центральные научные или научно-технические библиотеки.

РИНТИ (республиканские институты НТИ) относятся к третьему уровню ГСНТИ; ЦНТИ (межотраслевые территориальные центры НТИ) осуществляют информационное обслуживание органов управления республик, краев, областей и специалистов предприятий, организаций своего региона, используя для этого информационные продукты своих и всесоюзных (центральных отраслевых) органов НТИ.

Четвертый уровень ГСНТИ (ОНТИ, БТИ) составляют отделы, (бюро) НТИ предприятий, организаций, учреждений. В них собирается, анализируется, обобщается научно-техническая и патентная информация по актуальным для организации проблемам, которая затем доводится до сведения руководителей и специалистов, осуществляется контроль за подготовкой научно-технической, производственной и экономической информации для предоставления в другие информационные органы.

5.4. Международная система НТИ стран — членов СЭВ

В соответствии с межправительственным Соглашением НРБ, ВНР, ГДР, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР в 1969 году было принято решение о создании **Международного центра научной и технической информации (МЦНТИ)** для организации взаимного обмена информацией между странами — членами СЭВ. Позже членами МЦНТИ стали Республика Куба и Социалистическая Республика Вьетнам. В 1971 г. была принята «Комплексная программа дальнейшего углубления сотрудничества и развития социалистической интеграции стран — членов СЭВ», которой было предусмотрено создание **Международной системы научной и технической информации (МСНТИ)**. МЦНТИ ведет и координирует научно-исследовательские и проектные работы по созданию и освоению современных технических средств и информационной технологии, обеспечивает справочно-информационное обслуживание потребителей МСНТИ на основе комплексных информационных баз (КИБ), издает реферативные сборники, ведет обслуживание в режиме ИРИ, выдает фрагменты баз данных, копии отчетов о НИР и диссертаций из фонда комплексных информационных баз стран — членов СЭВ.

Информационная сеть МСНТИ должна обеспечивать дистанционный доступ специалистов стран — членов СЭВ в первую очередь к базам данных МСНТИ на основе диалоговых информационно-поисковых систем и телекоммуникационной передачи данных. В сети МСНТИ используются базы НТИ, создаваемые в МСНТИ, в международных информационных системах, а также ряд национальных БД стран — членов СЭВ.

5.5. Информационно-поисковые системы

В настоящее время принято выделять следующие классы информационных систем (ИС): системы массового информационного обслуживания (печать, радио, телевидение и т. д.); системы индивидуальной коммуникации и связи (почта, телефон, телеграф, телетайп); информационно-справочные системы, информационные системы управления (например, АСУ); системы научно-технической информации (Государственная система научно-технической информации — ГСНТИ, Международная система научно-технической информации стран — членов СЭВ — МСНТИ, научно-технические библиотеки и т. д.). Системы НТИ вводят и обрабатывают научно-техническую информацию, информационные системы управления — экономическую, справочные системы — учетную и статистическую (разновидность экономической) информации.

Ядром большинства реально действующих ИС являются информационно-поисковые системы (ИПС), осуществляющие формирование массивов информации, а также обработку, хранение и поиск информации (рис. 5.1). Некоторые из этих систем автоматизированы. Автоматизированная информационно-поисковая система (АИПС) (рис. 5.2) представляет собой взаимосвязанную совокупность языковых, логических, математических, информационных, технических и трудовых ресурсов, предназначенных для автоматизированного ввода, обработки, хранения и поиска информации.

Каждая АИПС предусматривает использование специального языка представления информации (ИПЯ), позволяющего однозначно описывать смысловое содержание документов и запросов, так как естественный язык для этих целей не подходит в силу своей высокой сложности и многозначности. ИПЯ — это специализированный искусственный язык, предназначенный для описания основного содержания (центральной темы) и формальных характеристик документов и запросов с целью информационного поиска (см. Приложение 1).

В зависимости от функциональных возможностей АИПС различают *документальные* (выдают оригиналы, копии документов или адреса введенных документов); *фактографические* (выдают данные, факты, сведения, со-

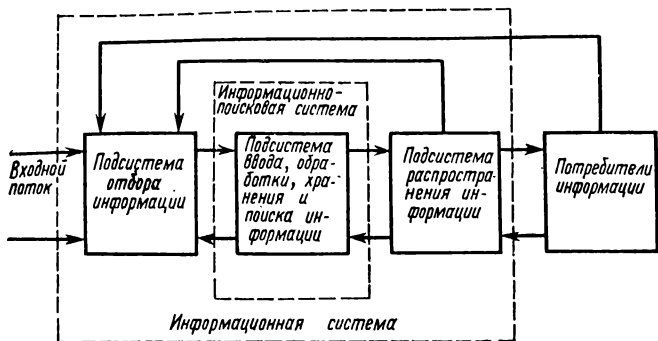


Рис. 5.1. Блок-схема функционирования информационной системы

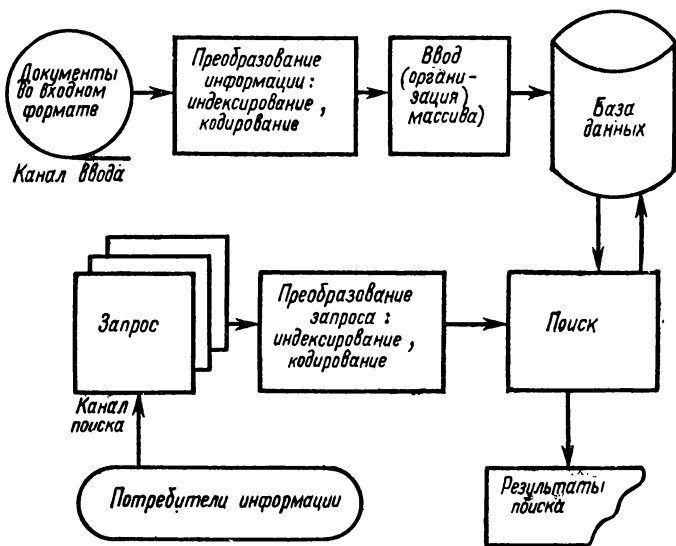


Рис. 5.2. Общая структура АИПС

держащиеся в явном виде во введенных документах); *информационно-логические* (выдают данные, полученные в результате некоторого логического вывода).

Документальные АИПС могут работать в режимах ретроспективного поиска (РЕТРО) и избирательного распространения информации (ИРИ). Режим РЕТРО

предполагает поиск в базе данных, накопленной, как правило, за много лет, по разовым запросам пользователей. Режим ИРИ предназначен для регулярного обеспечения пользователей вновь поступившей информацией в соответствии с их постоянно действующими запросами.

Большинство крупных современных информационных центров функционируют по принципу интегральной документальной АИПС, т.е. при однократном описании, индексировании и преобразовании документов в машиночитаемую форму обеспечивают их многократную и многоаспектную обработку и использование для производства разнообразных информационных продуктов. Автоматизированные информационно-поисковые системы (АИПС) объединяются в информационные сети.

Информационная сеть — это объединение информационных систем, взаимодействующих посредством каналов связи на основе разделения функций, координации, стандартизации, однократной обработки и многократного использования информации. В настоящее время созданы и активно действуют ряд международных информационных сетей. В качестве примеров таких сетей можно назвать EURONET/DIANE (страны ЕЭС, обеспечивают доступ к 96 базам данных), TUMNET (США, Канада, Великобритания, Франция, обеспечивает доступ к 200 документальным и 300 фактографическим БД), ARPANET (США, Западная Европа, использует спутниковые каналы связи).

Многие государства создали национальные информационные сети. В СССР также активно ведутся работы по созданию сетей. Так, под руководством АН СССР разрабатывается Академсеть на основе документальных баз данных различной тематической ориентации с доступом в диалоговом режиме: по естественным наукам (ВИНИТИ), общественным наукам (ИНИОН), по диссертациям, научно-исследовательским и конструкторским работам (ВНТИЦ), по патентной информации (ВНИИПИ), по нормативно-технической документации (ВНИИКИ), по энергетическим, топливным и сырьевым проблемам (МЦНТИ) и комплексные базы данных по тематике отдельных регионов. Предусматривается также создать ряд фактографических банков данных, в том числе по алгоритмам и программам (ВНТИЦ), по внедренным изобретениям и др.

5.6. Научно-техническая патентная информация

Патентная информация имеет юридическую и научно-техническую основу. Патентоведение занимается вопросами правовой охраны и защиты приоритета открытий и изобретений. Авторство охраняется законом. Результаты умственного труда, применяемые в промышленности, называют *промышленной собственностью*. Она разделяется на открытия, изобретения (см. 2.1), полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки, фирменные наименования.

Полезная модель — это отличающееся относительной новизной решение технической задачи, относящееся к устройству и имеющее явно выраженные пространственные формы (объем, компоновку). Под промышленным образцом понимаются особенности внешнего вида промышленного изделия, которые выполнены промышленным путем, придают изделию художественные (эстетические) достоинства и обладают новизной или оригинальностью. Товарный знак — это помещаемые на товарах или употребляемые при их рекламе обозначения, отличающие данные товары от аналогичных товаров других предприятий.

Чтобы защитить определенный вид промышленной собственности, необходимо подать заявку во Всесоюзный научно-исследовательский институт государственной патентной экспертизы для получения авторского свидетельства или патента. Авторское свидетельство предоставляет изобретателю права и льготы в соответствии с действующим законодательством, а исключительное право пользоваться и распоряжаться изобретением оставляет за собой государство. Авторское свидетельство действует бессрочно. Патент предоставляет патентодателю исключительное право распоряжаться изобретением. Патент действует только определенный срок (15... 18 лет).

В нашей стране действуют обе формы охраны авторских прав изобретателя, однако в том случае, когда изобретение было создано в процессе работы автора на государственном, общественном или кооперативном предприятии и финансировалось ими или выполнялось по их заданию, заявителю выдается только авторское свидетельство. Поэтому основную часть патентного фонда СССР составляют описания к авторским свидетельствам.

Патентная информация как источник научно-технической информации обладает оперативностью (как правило, предшествует публикации других информационных материалов), достоверностью (данные проверяются государственной патентной экспертизой), полнотой сведений (излагается суть открытий или изобретений, используется сквозная нумерация патентных документов).

Основной научно-технической ценностью патентной информации являются описания изобретений, которые согласно патентному законодательству не могут содержать неправильных сведений и должны отличаться новизной. Поэтому правильное использование патентной информации дает возможность осуществлять новые разработки на уровне лучших мировых образцов с учетом имеющихся решений и основных тенденций развития техники. В связи с этим перед началом разработки научно-исследовательской темы (проблемы) необходимо предварительно провести патентные исследования. Это комплекс работ, включающих поиск, отбор, анализ и целенаправленное использование патентной информации (патентной документации и литературы). Под патентной документацией понимается публикация официальными органами различных стран сведений об открытиях, изобретениях, промышленных образцах, полезных моделях, товарных знаках. Сведения публикуются в виде библиографических или реферативных данных или в виде полных описаний. Под патентной литературой понимаются различные издания (статьи, брошюры, книги, журналы, заметки и т. п.), посвященные различным вопросам патентной, патентно-правовой, патентно-лицензионной, патентно-информационной и изобретательской деятельности.

В зависимости от задач, решаемых разработчиками на различных стадиях НИР и ОКР, патентные исследования имеют следующие цели: обоснование включения темы в план работы организации и определение возможных потребителей объекта разработки; обоснование выбора пути решения задачи и обеспечение его патентоспособности и патентной чистоты¹, выбор опти-

¹ Патентоспособность — свойство технического решения быть защищенным в качестве изобретения на основе закона соответствующей страны. Патентная чистота — это юридическое свойство объекта, заключающееся в том, что он может быть использован в данной стране без опасности нарушения действующих на ее территории патентов.

мальных конструктивных и технологических решений; выявление предполагаемых изобретений и их проверка на новизну; оформление заявочных материалов на изобретение и государственную защиту; обоснование целесообразности патентования созданных изобретений за рубежом; проверка объекта разработки и его составных частей на патентную чистоту.

Основной объем работ по патентным исследованиям выполняется отделом-разработчиком при методической помощи патентного подразделения и отдела научно-технической информации (ОНТИ). При разработке регламента поиска обязанности распределяются так, что отдел-разработчик определяет предмет поиска (разбивка темы на составные части), круг стран и глубину поиска (период времени, за который проводится поиск). Патентное подразделение оказывает при этом помощь в классификации предметов поиска по Международной или национальной классификации изобретений, в определении требуемых источников информации, в обосновании видов поиска (тематический, именной и т. д.). Отдел научно-технической информации оказывает помощь разработчику в классификации предметов поиска по УДК и предоставляет имеющиеся информационные материалы для использования.

Источниками информации, используемыми в процессе патентных исследований, являются бюллетени патентных ведомств стран мира, описания изобретений, реферативная информация по изобретениям, публикации о внедренных изобретениях, рекламные материалы, отчеты о НИР, ОКР и о заграничных командировках, информация по отраслям народного хозяйства, а также отчеты о патентных исследованиях.

Наиболее оперативным источником патентной информации являются патентные бюллетени, в которых дается сигнальная информация для предварительного ознакомления и отбора нужных патентных материалов: формула (аннотация, реферат) изобретения с чертежом.

Описание изобретения (патентное описание) кроме технической информации, раскрывающей сущность изобретения, содержит элементы, определяющие объем правовой защиты. Например, описание изобретения в СССР должно отражать следующие обязательные пункты: название изобретения и класс Международной классификации изобретений, характеристику аналогов

изобретения, характеристику и критику прототипов, цель изобретения, сущность изобретения и его отличительные признаки, примеры конкретного выполнения и сведения о предполагаемой технико-экономической эффективности, формулу изобретения, в которой выделяются наиболее существенные его признаки, подлежащие правовой защите.

В зависимости от задач патентные поиски могут быть *тематическими* (предметными): поиск описаний изобретений в соответствии с заданной тематикой; *именными* (фирменными): поиск описаний изобретений по имени изобретателя или патентовладельца; *нумерационными*: описания изобретений отбирают по номеру авторского свидетельства, патента, заявки; поисками *патентов-аналогов*: описания изобретений отбираются по родовой зависимости (единство даты приоритета, номера приоритетной заявки и страны приоритета); *патентно-правовыми*: по сроку действия патента и других юридических правил, действующих в стране поиска.

Основным средством организации и поиска информации в мировом патентном фонде являются системы классификации изобретений. В ряде стран до настоящего времени применяются национальные классификации изобретений (НКИ). Однако рост объема мирового патентного фонда и развитие международного сотрудничества привели к необходимости создания единой классификации — Международной классификации изобретений (МКИ). МКИ и НКИ представляют собой многоступенчатые системы деления понятий, организованные по принципу от общего к частному, т.е. построенные по иерархическому способу.

Международная классификация изобретений создавалась в соответствии с положениями Европейской конвенции о международной патентной классификации (1954). МКИ периодически пересматривается для совершенствования системы с учетом развития науки и техники. Каждые пять лет выходит очередная редакция МКИ для индексирования документов текущей регистрации. Органом по внедрению МКИ является международное бюро Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС). В нашей стране МКИ была введена в качестве единой государственной классификации патентной документации в 1970 г.

МКИ охватывает все области знаний. В информаци-

онно-поисковом языке МКИ используются слова, фразы и словосочетания естественного языка, снабженные алфавитно-цифровой нотацией.

Все сферы материального производства в МКИ подразделяются на разделы, классы, подклассы, группы и подгруппы.

Первый классификационный ряд состоит из восьми *разделов*, которые обозначаются прописными латинскими буквами от А до Н. Раздел подразделяется на *классы*, индексы которых состоят из индекса раздела и двухзначного числа, например, А 01. Индекс подкласса состоит из индекса класса и прописной латинской буквы, например А 01 В.

Каждый подкласс разбит на подразделения, называемые *рубриками*. Среди рубрик различают основные (главные) *группы* и *подгруппы*. Индекс основной группы состоит из индекса подкласса, за которым следует одно-, двух- или трехзначное число с символом 00 после косой черты, например. А 01 В 1/00. Подгруппы образуют рубрики, подчиненные основной группе. Индекс подгруппы состоит из индекса подкласса, за ним следует одно-, двух- или трехзначный номер группы и двух- или трехзначный номер (вместо 00) после косой черты, например А 01 В 01/02.

Степень подчиненности подгруппы в группе определяется сдвигом текста вправо и точками, которые стоят перед текстом подгруппы и указывают на то, что подгруппа является рубрикой, подчиненной ближайшей рубрике с меньшим сдвигом текста и имеющей на одну точку меньше. Иерархические отношения между рубриками определяются всегда только количеством точек, стоящих перед текстом рубрики, а не присвоенными им индексами. Стоящие перед текстом рубрики точки как бы заменяют собой текст иерархически более старших рубрик, чтобы избежать повторения. Пример иерархического классифицирования с использованием подгруппы с шестью точками (рубрика В 64 С 25/30):

Раздел	В	Различные технологические процессы
Класс	В 64	Транспортирование
Подкласс	В 64 С	Воздухоплавание, авиация, космонавтика
Основная группа	В 64 С	Летательные аппараты тяжелее воздуха
		25/00 Посадочные устройства летательных аппаратов

Подгруппа с 1 точкой: 25/02. шасси

Подгруппа с 2 точками: 25/08.. подвижно закрепляемые, например сбрасываемые

Подгруппа с 3 точками: 25/10... убирающиеся складывающиеся и т. п.

Подгруппа с 4 точками: 25/18.... приводы

Подгруппа с 5 точками: 25/26..... контрольные или блокирующие устройства

Подгруппа с 6 точками: 25/30..... аварийно включаемые

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

Патентный фонд имеет справочно-поисковый аппарат, включающий классификации изобретений (МКИ, НКИ), различные указатели и таблицы соответствия. В состав указателей к системам классификации входит указатель классов изобретений (УКИ), который включает перечень рубрик классификации с указанием их подчиненности, и алфавитно-предметный указатель, включающий перечень ключевых понятий (терминов), расположенных в алфавитном порядке, и отнесенных к ним соответствующих индексов системы классификации. Кроме названных имеются указатели, содержащие библиографические данные о патентных документах текущей регистрации (описания изобретений): *нумерационный* (описания упорядочены по номерам документов); *систематический* (описания упорядочены по индексам системы классификации); *именной* (описания упорядочены по именам заявителей или патентовладельцев); *патентов-аналогов* (т. е. патентов, выданных в разных странах на одно и то же изобретение).

Таблицы соответствия индексов систем классификации изобретений служат вспомогательным материалом для установления аналогичных рубрик в различных классификациях. Обычно используются таблицы соответствия МКИ указателю классов изобретений конкретной страны и, наоборот, таблицы соответствия НКИ страны и МКИ.

Порядок проведения поиска в патентных фондах зависит от особенностей организации патентного фонда конкретной страны. Обычно вначале осуществляют

ется тематический (предметный) поиск, который целесообразно начинать с просмотра патентных бюллетеней стран с использованием в случае необходимости соответствующего патентного фонда. Если поиск ведется по США, Великобритании, Франции, ФРГ, Швейцарии, Японии или по странам СЭВ, то можно просмотреть реферативные издания НПО «Поиск» «Изобретения в СССР и за рубежом». Затем проводится именной (фирменный) поиск на основе именных указателей, издаваемых патентными ведомствами соответствующих стран, а также различных фирменных справочников. Необходимо также учесть, что в некоторых странах в именные указатели включаются только фирмы-патентовладельцы.

Нумерационный поиск можно проводить, если известен номер авторского свидетельства или патента и страна. Поиск от приоритетного патента к патентам-аналогам может производиться по нумерационным указателям приоритетных заявок или по указателям патентов-аналогов.

Патентно-правовой поиск проводится по соответствующим разделам официальных патентных бюллетеней и по спискам действующих патентов исключительного пользования. Например, ЦНИИПИ систематически издает справочно-информационный бюллетень об изменениях в фонде действующих патентов, а в ВПТБ ведется картотека по учету изменений сроков действия патентов в Великобритании, ФРГ, Швейцарии, США, Бельгии, Венгрии, ГДР, Дании, Индии, Нидерландах, Норвегии, Польше, Финляндии, Чехословакии, Швеции, Югославии. При проведении патентно-правового поиска следует иметь в виду, что время начала и срок действия охранного документа определяются патентным законодательством конкретной страны, причем в разных странах они различны.

5.7. Государственная система патентной информации (ГСПИ)

В состав ГСПИ как специализированной подсистемы ГСНТИ входят НПО «Поиск», Всесоюзная патентно-техническая библиотека (ВПТБ), межотраслевые республиканские и территориальные НТИ, центральные отраслевые органы НТИ, а также отделы и бюро НТИ и патентные подразделения предприятий, организаций, учреждений. Централизованная многоаспектная обработка публи-

куемой в мире патентной документации осуществляется НПО «Поиск» на основе автоматизированной системы патентной информации (АСПИ), в составе которой действуют 17 функциональных служб.

Справочно-информационный фонд АСПИ формируется на основе следующих источников информации: регистрируемые во Всесоюзном научно-исследовательском институте государственной патентной экспертизы (ВНИИГПЭ) отечественные изобретения (до 120 тыс. в год) и товарные знаки (до 5 тыс. в год), поступления в ВПТБ описаний зарубежных изобретений (около 600 тыс. сведений в год), изменения правового статуса зарегистрированных в СССР патентных документов (около 20 тыс. сведений в год), реферативная информация, поступающая от патентных ведомств стран мира об изобретениях текущей регистрации (до 40 тыс. документов в год) в составе национальных патентных бюллетеней, а также сведения об изменениях правового статуса патентных документов, еженедельные поступления библиографической информации из Международного центра патентной документации (ИНПАДОК) о патентных документах текущей регистрации на магнитных лентах (свыше 900 тыс. документов в год), очередная редакция МКИ (ВОИС направляет один раз в 5 лет), а также сведения от АСУ «Изобретение» о текущем использовании советских изобретений (свыше 60 тыс. сведений в год).

На основе обработки этих потоков осуществляется подготовка изданий, магнитных лент с библиографической информацией, микро- и ксерокопий описаний. Основными видами изданий НПО «Поиск» являются: библиографические издания «Внедренные изобретения», «Изобретения за рубежом», «Каталог переводов описаний изобретений к патентам», указатели к справочно-поисковому аппарату и к патентным фондам СССР ведущих капиталистических стран, стран — членов СЭВ и других зарубежных стран, «Каталог неопубликованных указателей и списков по патентным материалам», различные реферативные и обзорные издания, журнал «Вопросы изобретательства».

В настоящее время в мире действует около 300 информационных систем по патентной информации, часто имеющих узкую специализацию (по областям знаний и по странам) и лишь некоторые являются политематическими. В связи с этим появилась объективная необходимость создания в рамках МСНТИ (1973) Междунa-

родной системы патентной информации стран — членов СЭВ (МСПИ). Функции головного органа (ГО) МСПИ выполняет НПО «Поиск». За каждым выделенным национальным органом (ВНО) МСПИ закреплены определенные фрагменты мирового патентного фонда (по странам). В МСПИ ежегодно обрабатывается патентная информация по тематике всех классов МКИ. Это описания изобретений и бюллетени по 43 странам мира и двум международным организациям (Европейская патентная организация — ЕПО и Договор о патентной кооперации — РСТ), а также библиографическая информация на машиночитаемых носителях по 49 странам мира.

Потребителями МСПИ являются национальные органы научно-технической информации, государственные учреждения, предприятия, научно-исследовательские организации, а также индивидуальные потребители стран — членов МСНТИ. МСПИ предоставляет в распоряжение потребителей библиографический справочник «Фонды патентной документации стран — участниц МСПИ», ориентирующий потребителей МСПИ при оформлении заказов на получение копий патентных документов, реферативное издание «Изобретения в СССР и за рубежом», состоящее из 128 тематических выпусков (в которых содержится информация по официальным бюллетеням стран — членов СЭВ, а также Великобритании, США, Франции, ФРГ, Швейцарии, Японии), нумерационные, систематические, именные указатели, указатели патентов-аналогов, предметно-статистические указатели на уровне классов МКИ, копии патентных документов, информацию на магнитных лентах, нормативно-инструктивные материалы, обеспечивает информационное обслуживание потребителей в режиме ИРИ.

Дальнейшее развитие МСПИ определяется задачами патентно-информационного обеспечения Комплексной программы научно-технического прогресса стран — членов СЭВ на период до 2000 г. (КП НТП), утвержденной на 41-м заседании сессии СЭВ.

5.8. Организация работы с научной литературой

Каждому исследователю необходимо уметь искать и отбирать нужную литературу для своей работы, т. е. обладать знанием основ библиографии. Библиография ставит задачу информировать читателя об имеющихся печатных

изданиях, для чего составляются указатели, каталоги, обзоры и т. д.

Процесс ознакомления с литературными источниками по интересующей проблематике необходимо начинать с ознакомления со справочной литературой (универсальные и специальные энциклопедии, словари, справочники). Затем просматриваются учетно-регистрационные издания органов НТИ (ВИНИТИ, ВНИИЦ, ВКП, ГПНТБ и другие) и библиографические указатели фундаментальных библиотек. Так, Всесоюзная государственная библиотека иностранной литературы (ВГБИЛ) издает «Сводный бюллетень новых иностранных книг, поступивших в библиотеки СССР», Государственная библиотека СССР им. В. И. Ленина (ГБЛ) издает «Каталог кандидатских и докторских диссертаций», поступивших в библиотеку им. В. И. Ленина и Государственную научную медицинскую библиотеку, и «Информационный указатель библиографических списков и карточек, составленных библиотеками СССР».

Собственная библиография по интересующей проблеме составляется на основе библиотечных каталогов (это указатели произведений печати, имеющих в библиотеке), представляющих собой набор карточек, в которых содержатся сведения о книгах, журналах, статьях и т. д. В карточку книги вносятся ее автор, заглавие, вид издания, место издания, издательство, год издания, количество страниц. В карточке журнальной статьи указываются автор, заглавие, название журнала, год издания, том, номер выпуска, количество страниц. В карточке газетной статьи кроме автора и заглавия приводятся название газеты, год, число и месяц. При ссылке на документы и составлении перечня источников необходимо обращать внимание на знаки препинания между элементами библиографического описания и применять их только так, как дано в карточке.

Читательские каталоги, носящие справочно-рекомендательный характер, бывают трех видов: алфавитный, систематический и алфавитно-предметный.

Алфавитный каталог называется так потому, что его карточки расположены в алфавитном порядке фамилий авторов или заглавий произведений, если автор не указан. Благодаря этому все книги одного автора (индивидуального или коллективного) собраны в одном месте, но в некоторых случаях возможны отступления

от алфавитного принципа. Так, например, вне зависимости от названия партии (РСДРП, РКП(б), ВКП(б), КПСС) все эти издания собраны за разделителем «КПСС» и организованы внутри не в алфавитном, а в логическом порядке: КПСС, Программа партии, Устав партии, Высшие органы партии, Съезды, Конференции, Пленумы, далее идут официальные издания ЦК партии и произведения, посвященные деятельности партии. Материалы законодательного характера (правительственные постановления, указы, декреты и т. д.) нужно искать в каталоге под названием страны или республики.

Основным в советских библиотеках является систематический каталог. Карточки в нем расположены по отраслям знаний. Этот каталог позволяет подобрать литературу по определенным отраслям знаний, причем с его помощью можно постепенно сужать границы интересующих исследователя вопросов. Каталог позволяет также определить книги, имеющиеся в библиотеке по той или иной теме, или узнать автора и точное название книги, если известно только ее содержание.

В систематическом каталоге библиографические сведения приведены в систему знаний на основе применения специальной библиотечной классификации. Наиболее широко используется Универсальная десятичная классификация (УДК). Используется также и отечественная Библиотечно-библиографическая классификация (ББК) в крупнейших универсальных библиотеках СССР. Архивными учреждениями и государственными архивами нашей страны составлено несколько своих классификационных схем систематического типа. Среди них «Схема единой классификации документальных материалов в каталогах государственных архивов», схемы систематических каталогов, разработанные Центральным государственным архивом Октябрьской революции, схема Центрального государственного военно-исторического архива (ЦГВИА) СССР и др.

Ключом к систематическому каталогу является алфавитно-предметный каталог. В нем в алфавитном порядке перечисляются наименования отраслей знаний, отдельных вопросов и тем, по которым в отделах и подотделах систематического каталога собрана литература, имеющаяся в библиотеке.

При составлении собственной библиографии по проблеме необходимо внимательно просматривать списки литературы, находящиеся в конце книг, статей и т. д., или

литературу, указанную в сносках в уже найденных литературных источниках.

В процессе чтения литературы обязательно выявляются из ссылок и прикижных списков использованных работ новые источники, поэтому требуется постоянная систематизация материала, его упорядочение в соответствии с поставленной задачей. Это можно осуществить, например, с помощью картотеки, состоящей из карточек и разделителей. Лучше всего организовать три раздела: «Прочитать», «Выписки» и «Прочитано». Создание такой картотеки позволяет по существу заложить основы будущих научных публикаций. Однако информация, содержащаяся в отобранной для изучения литературе, подчас превышает действительные потребности для определенной работы. Отсюда вытекает необходимость предварительно выявлять все нужное и отбрасывать лишнее. Таким образом, закладываются элементы избирательного чтения (вначале беглый просмотр источника, ознакомление с названием его разделов и лишь потом подробное изучение выбранного содержания).

Важное значение для работы с научной литературой принадлежит организации рабочего места. Прежде всего рабочее место и инструмент, которым человек работает, должны быть привычны ему. Это сокращает до минимума время вработываемости, появляется условный рефлекс на рабочее место. На рабочем месте не должны появляться какие-либо новые предметы (объекты), которые привлекают внимание к себе и отвлекают от работы. Желательно до начала работы продумать и оценить, что может потребоваться в процессе работы, чтобы потом не искать для себя повода прервать начатое дело.

При работе с литературными источниками необходимо уметь правильно читать, понимать и запоминать прочитанное. Ученые выявили четыре основных способа обработки информации при чтении. Это чтения: побуквенное, послоговое, по словам (просматривается первый слог первого слова и первые буквы второго слова, остальная же часть слова угадывается), по понятиям (из текста выбираются только отдельные ключевые слова, а затем синтезируется мысль, содержащаяся в одном или нескольких предложениях). Чтение по понятиям характерно для людей, имеющих определенные навыки, большой запас знаний для понимания материала и хорошую память.

Для понимания сложного текста необходимо не только быть внимательным при чтении, иметь знания и уметь их применять, но и владеть определенными мыслительными приемами. Один из них заключается в необходимости воспринимать не отдельные слова, а предложения и даже целые группы предложений, т. е. абзацы. При этом используется так называемая антиципация — смысловая догадка. Быстро читающий человек обычно по нескольким буквам угадывает слово, по нескольким словам — фразу, по нескольким фразам — смысл целого абзаца.

Необходимо стремиться именно так читать изучаемый материал. Для этого можно использовать так называемый дифференциальный алгоритм (рис. 5.3, а), в соответствии с которым обработка каждого абзаца начинается с выявления ключевых слов, несущих основную смысловую нагрузку, после чего строятся смысловые ряды, т. е. происходит сжатие текста путем выделения ключевых слов и образования на их основе лаконичных выражений (это как бы просеивание текста, в итоге которого остаются зерна смысла). После сжатия текста происходит процесс его качественного преобразования, в результате которого в обрабатываемом сообщении выявляется только истинное значение его содержания.

При обучении быстрому чтению ставится задача воспитания новых привычек, которые ускоряют чтение. Первый путь повышения скорости чтения — выявление скрытых резервов мозга, активизация процессов мышления при чтении. Один из путей решения этой задачи — использование алгоритмов.

Интегральный алгоритм (рис. 5.3, б) определяет последовательность действий при восприятии текста. Слово «интегральный» означает, что действие алгоритма распространяется на весь текст в целом. Для использования интегрального алгоритма необходимо запомнить все его блоки, понимать и представлять себе их содержание. Современная структурная лингвистика утверждает, что все общественно-политические и научно-технические тексты обладают чрезмерной избыточностью — до 75 %. Найти и сосредоточить внимание при чтении на содержательных элементах текста и помогает интегральный алгоритм чтения. При его использовании значительно сокращается время обработки неинформативных элементов текста.

При освоении методики быстрого чтения необходимо

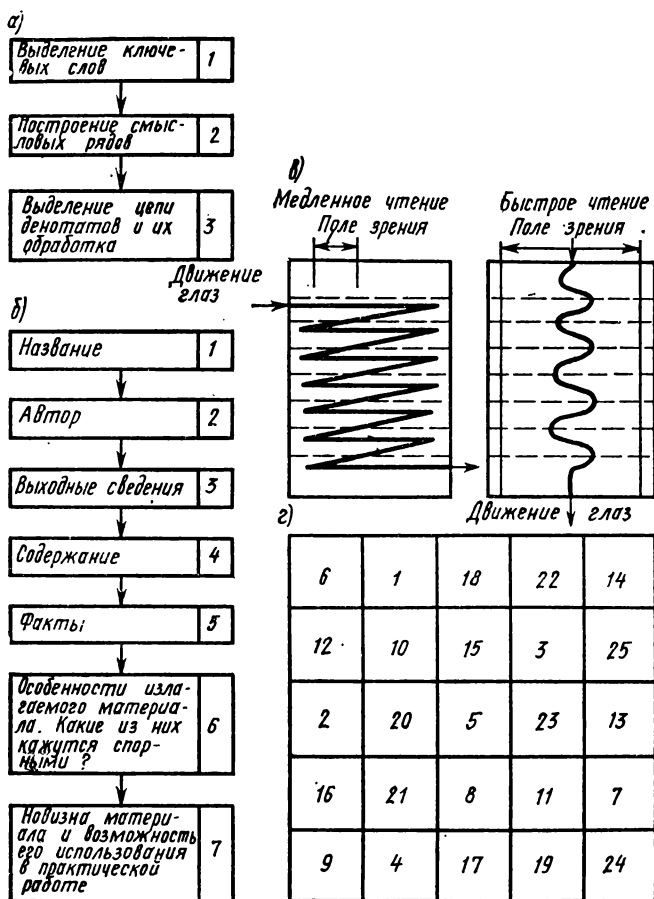


Рис. 5.3. Средства повышения скорости чтения

отучиться от проговаривания и овладеть приемами чтения, при которых восприятие текста происходит крупными информативными блоками. Этому способствует такая техника чтения, при которой глаза читающего двигаются с небольшой скоростью вертикально сверху вниз по воображаемой линии, проведенной по центру страницы без движений по строчке слева направо и обратно. При быстром чтении движение глаз более экономичное, поскольку глаза проходят всю страницу текста по кратчайшему пути: прямой вертикальной линии (рис. 5.3, в).

Для того чтобы практически осуществить такой способ чтения, необходимо иметь хорошо развитое периферическое зрение. В качестве инструмента для упражнений, позволяющих расширить поле зрения, используют таблицы Шульте (рис. 5.3, г). При работе с таблицами ставится задача: концентрируя взгляд в центре таблицы, видеть ее всю целиком и назвать все цифры по порядку (от 1 до 25) за время не более 25 с. Такая тренировка с таблицами Шульте заключается в том, что «помогает мозгу» так изменить программу восприятия текста, чтобы в единицу времени воспринималось наибольшее количество смысловой информации.

Если в процессе быстрого чтения встречается существенно новая информация, возможно отклонение взгляда читающего от вертикальной линии. Однако наблюдения показывают, что это происходит достаточно редко.

Чтение информационного материала должно завершаться запоминанием. Это процесс памяти, в результате которого происходит закрепление нового путем связывания с уже приобретенным ранее. Характерной чертой запоминания является его избирательность. В соответствии с целями деятельности различают два вида запоминания: произвольное (ненамеренное) и произвольное (запоминание с помощью мнемических действий, целью которых является само запоминание). Важную роль в произвольном запоминании играют мотивы, побуждающие запоминать, и рациональные приемы запоминания.

Для произвольного запоминания важно, чтобы прочитанный материал был понят, понимание предопределяет интерес к деятельности, гарантирует эмоциональный подъем, что и способствует еще более глубокому запоминанию. Вместе с тем надо уметь концентрировать внимание на изучаемом материале. Наблюдательность и память жестко связаны. Воспитывая внимание, можно улучшить наблюдательность и память.

Необходимо также сознательно поставить цель запоминания. Процесс запоминания требует больших усилий от человека и без сформированной цели коэффициент полезного действия запоминания оказывается очень малым.

Запоминаемый материал следует логически осмыслить: составить план заучиваемого материала, разбить его на части, выделить в них опорные пункты, по которым легко ассоциируется все содержание данной части

материала. При этих условиях материал приобретает четкую, расчлененную и упорядоченную форму и лучше запоминается.

В процессе запоминания целесообразно включать все анализаторы (все виды памяти) и использовать приемы «мнемотехники», суть которых состоит в создании всяких искусственно придуманных связей. Многие, например, знают фразу «каждый охотник желает знать, где сидит фазан», первые буквы которой помогают раскрыть последовательность цветов в спектре (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый). Полезно также повторение запоминаемого материала.

Процесс чтения не всегда можно совместить с одновременной выпиской необходимых сведений. В таких случаях можно пользоваться при чтении определенной системой разметок на полях книги или журнала. Можно, например, ставить буквы: Л — там, где указана интересная литература, Т — термин, Ц — цитата и т. д.

При работе с литературой используются выписки (обязательное условие выписок — точное указание источника и места, откуда это выписано). Целесообразно выписки делать на карточках, что облегчает их хранение и использование.

При заполнении карточек следует учитывать, что два самостоятельных вопроса заносить на одну и ту же карточку нельзя, так как это затруднит их классификацию и хранение. Карточка должна содержать обозначение ее содержания, номер или шифр, указывающий ее место в карточке, дату заполнения, библиографические данные. Записи на карточке следует располагать на одной стороне, они должны быть четкими и достаточно полными. При выписывании цитат необходимо сохранять абсолютную точность при передаче мыслей автора его словами и выражениями, ставить их в кавычки. Пропуски в цитате допускаются (отмечаются многоточием), но они не должны изменять смысла высказывания. Цитата обязательно должна быть снабжена указанием источника.

Одной из форм хранения информации являются вырезки из газет и журналов. Для систематизации необходимо иметь картотеку вырезок с указанием источника на каждой вырезке.

В процессе работы над изучаемым материалом часто составляется план в целях более четкого выявления логической структуры текста, записи системы, в которой излагает материал данный автор, подготовки к выступ-

лению, а также для написания какой-либо работы, записи своих мыслей с новой систематизацией материала. В плане могут встречаться отдельные цифры и другие фактические сведения, которые хотя и не являются собственно планом, но помогают в будущем его использовании (например, при выступлении).

При проработке нового материала полезно составлять конспект. Это сжатое изложение самого существенного в данном материале. Конспект должен быть кратким и точным в выражении мыслей автора своими словами. Иногда можно воспользоваться и словами автора, обязательно оформляя их как цитату. Максимально точно записываются: формулы, определения, схемы, трудные для понимания места, от которых зависит понимание главного, все новое, неизвестное, чем часто придется пользоваться и что трудно получить из других источников, а также цитаты, статистика.

Важно также уметь выполнять научное реферирование материала и составление научного обзора. Реферирование — это краткое изложение первичного документа (или его части) с основными фактическими сведениями и выводами. В результате получается реферат, который содержит тему, предмет (объект) исследований, цель, метод проведения работы, полученные результаты, выводы, область применения.

Научный обзор — это текст, содержащий синтезированную информацию сводного характера по какому-либо вопросу или ряду вопросов, извлеченную из некоторого множества специально отобранных для этой цели первичных документов. Обзоры различаются по предмету анализа, цели составления, назначению, видам используемых первоисточников, широте тематики, наличию сопоставлений и прогнозов, периодичности подготовки, функциональному назначению в документальной системе, характеру оформления и др. Научные обзоры публикуют в виде статей в журналах, статей в продолжающихся изданиях, статей в трудах конференций и симпозиумов, а также в монографиях и научно-технических отчетах.

Требования к видам, структуре и оформлению обзорных изданий определяет ГОСТ 7.23—80. В соответствии с ГОСТом обзор должен содержать следующие элементы: реферат, вводную часть, аналитическую часть, выводы (обязательные элементы); рекомендации и приложение (необязательные элементы).

В вводной части обзора обосновывается выбор темы с указанием актуальности и значимости вопроса, назначения обзора, временного интервала анализируемого периода, видов используемых источников, тематических границ анализа рассматриваемого вопроса.

Аналитическая часть содержит анализ и его результаты, обобщение и оценку систематизированных сведений о состоянии рассматриваемых и нерешенных вопросов использованные методы и средства исследования, состояние исследований и разработок, достигнутый научно-технический уровень, организационно-экономическую ситуацию, тенденции развития.

Обзоры стареют значительно медленнее, чем первичные научные документы. После появления в современной научно-технической литературе 30...40 статей по какому-либо вопросу возникает потребность в обзорной статье, аккумулирующей сведения по этому вопросу на данный момент времени.

ГЛАВА VI

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1. Задачи и методы теоретического исследования

Целью теоретических исследований является 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.

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

Задачами теоретического исследования являются: обобщение результатов исследования, нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных; расширение результатов исследования на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований; изучение объекта, недоступного для непосредственного исследования; повышение надежности

экспериментального исследования объекта (обоснования параметров и условий наблюдения, точности измерений).

При проведении теоретических исследований, основанных на общенаучных методах анализа и синтеза, широко используются расчленение и объединение элементов исследуемой системы (объекта, явления).

Метод расчленения предложен французским философом и естествоиспытателем Р. Декартом. В своей работе «Правила для руководства ума» он пишет: «Освободите вопрос от всех излишних представлений и сведите его к простейшим элементам». В процессе расчленения выделяются существенные и несущественные параметры, основные элементы и связи между ними. Следует, однако, отметить, что каждый объект можно расчленить разными способами и это существенно влияет на проведение теоретических исследований, так как в зависимости от способа расчленения процесс изучения объекта может упроститься или при неправильном расчленении, наоборот, усложниться. После расчленения объекта изучается вид взаимосвязи элементов и осуществляется моделирование этих элементов. Наконец, элементы объединяются в сложную модель объекта.

На всех этапах построения модели объекта производится его упрощение и вводятся определенные допущения. Последние должны быть осознанными и обоснованными. Неверные допущения могут приводить к серьезным ошибкам при формулировании теоретических выводов.

При построении моделей объекта исследования должны использоваться наиболее общие принципы и закономерности. Это позволяет учесть все допущения, принятые при получении формализованных теорий, и точно определять область их применения.

Противоположным расчленению является метод объединения и связанный с ним комплексный подход к изучению объекта, которые чаще всего объединяются под названием «общая теория систем» или «системология».

Общая теория систем (ОТС) возникла на основе изучения некоторых биологических объектов и явлений и впервые была сформулирована Л. Берталанфи.

Со временем в структуре общей теории систем выделились два направления. Цель первого направления — развитие ОТС как некоторой философской концепции, включающей в себя такие понятия, как принцип системности, системный подход, системный анализ и т. д.

В другом направлении общая теория систем представляет собой некоторый математический аппарат, претендующий на строгое описание закономерностей формирования и развития любых систем.

ОТС базируется на трех постулатах. Первый постулат утверждает, что функционирование систем любой природы может быть описано на основе рассмотрения формальных структурно-функциональных связей между отдельными элементами систем. Влияние материала, из которого состоят элементы систем, проявляется в формальных характеристиках системы (ее структуре, динамике и т. д.). Второй постулат состоит в том, что организация системы может быть определена на основе наблюдений, проведенных извне посредством фиксирования состояний только тех элементов системы, которые непосредственно взаимодействуют с ее окружением. Третий постулат заключается в том, что организация системы полностью определяет ее функционирование и характер взаимодействия с окружающей средой. Эти постулаты дают возможность определить организацию системы, исходя из характеристик взаимодействия с внешней средой, и характеристики взаимодействия, исходя из организации системы.

Диалектическое требование изучать объект во всех его связях получило в общей теории систем свое дальнейшее развитие в форме ряда принципов: системности (целостное представление объектов); релятивности системы (любое множество предметов можно рассматривать как систему и как несистему); универсальности системы. Этот принцип направлен против абсолютизации отдельных систем и способов их образования, т. е. любое множество можно рассматривать как систему и как несистему в определенных аспектах и фиксированных условиях.

Теоретические исследования включают: анализ физической сущности процессов, явлений; формулирование гипотезы исследования; построение (разработка) физической модели; проведение математического исследования; анализ теоретических решений; формулирование выводов. Если не удастся выполнить математическое исследование, то формулируется рабочая гипотеза в словесной форме с привлечением графиков, таблиц и т. д. В технических науках необходимо стремиться к применению математической формализации выдвинутых гипотез и выводов.

В процессе теоретических исследований приходится непрерывно ставить и решать разнообразные по типам и сложности задачи в форме противоречий теоретических моделей, требующих разрешения.

В логико-психологическом аспекте задача — это несогласованные или противоречивые информационные процессы (системы), соотношение между которыми вызывает потребность в их преобразовании. В процессе решения задачи противоречия между указанными информационными процессами или системами устраняются.

Структурно любая задача включает условия и требования (рис. 6.1). Условия — это определение информационной системы, из которой следует исходить при решении задачи. Требования — это цель, к которой нужно стремиться в результате решения. Условия и требования могут быть исходными, привлеченными и искомыми. *Исходные* условия даются в первоначальной формулировке задачи (исходные данные). Если их оказывается недостаточно для решения задачи, то исследователь вынужден привлекать новые данные, называемые *привлеченными*. *Искомые* данные или искомые условия — это привлеченные условия, которые требуется отыскать в процессе решения задачи.

Условия и требования задачи находятся в противоречии, они неоднократно сталкиваются, сопоставляются, сближаются между собой. Такое преобразование структурных компонентов задачи продолжается до тех пор, пока не будет решена сама задача.

Процесс проведения теоретических исследований состоит обычно из нескольких стадий. Оперативная стадия включает проверку возможности устранения технического противоречия, оценку возможных изменений в среде, окружающей объект, анализ возможности переноса решения задачи из других отраслей знания (ответить на вопрос: «Как решаются в других отраслях знаний задачи, подобные данной?»), применение «обратного» решения (ответить на вопрос: «Как решаются задачи, обратные данной, и нельзя ли использовать эти решения, взяв их со знаком минус?») или использования «прообразов» природы (ответить на вопрос: «Как решаются в природе более или менее сходные задачи?»). Вторая стадия исследования является синтетической, в процессе которой определяется влияние изменения одной части объекта на построение других его частей, определяются необходимые изменения других объектов,

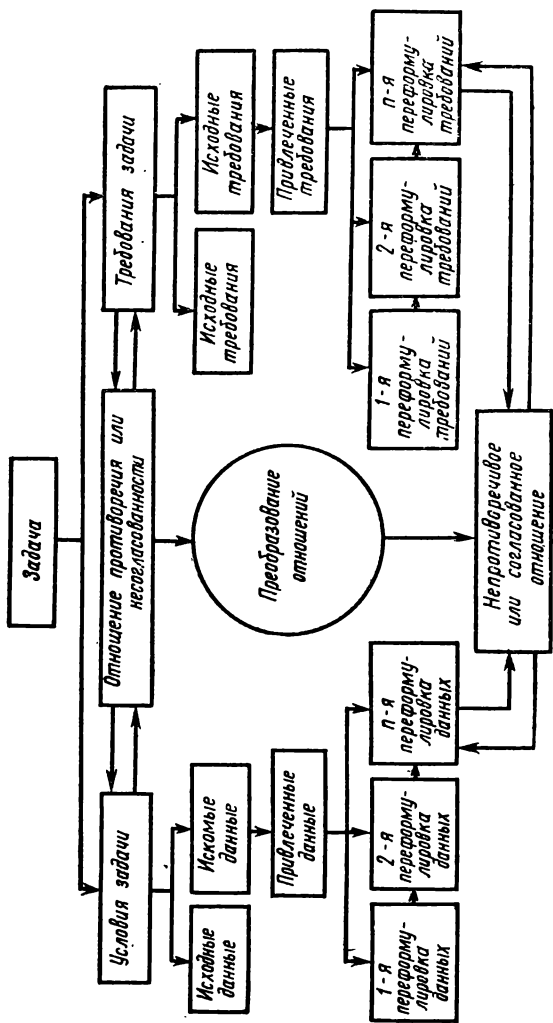


Рис. 6.1. Структурные компоненты решения задачи

работающих совместно с данным, оценивается возможность применения измененного объекта по новому, и найденной технической идеи при решении других задач.

Выполнение названных предварительных стадий дает возможность приступить к стадии постановки задачи, в процессе которой определяется конечная цель решения задачи, проверяется возможность достижения той же цели решения задачи «обходными» (может быть, более простыми) средствами, выбирается наиболее эффективный путь решения задачи и определяются требуемые количественные показатели. В связи с этим при необходимости уточняются требования применительно к конкретным условиям практической реализации полученного решения задачи.

Аналитическая стадия включает определение идеального конечного результата (ответить на вопрос: «Что желательно получить в самом идеальном случае?»), выявляются помехи, мешающие получению идеального результата, и их причины, определяются условия, обеспечивающие получение идеального результата с целью найти, при каких условиях исчезнет «помеха».

Постановка задачи является наиболее трудной частью ее решения. Умение увидеть скрытое основное отношение задачи в самом начале решения, а следовательно, умение поставить задачу, выделить ее из огромной массы окружающих, привходящих обстоятельств и, наконец, добраться до ее завуалированной сущности — залог успеха в достижении поставленной цели. Чем быстрее задача ставится, тем быстрее она приходит в состояние предрешения. Все это указывает на то, что четкая формулировка основного отношения задачи — важнейший этап ее решения. Следует при этом иметь в виду, что преобразование в начале расплывчатой формулировки задачи в четкую, определенную (переформулировка) часто облегчает решение задач.

Решение теоретических задач должно носить творческий характер. Творческие решения часто не укладываются в заранее намеченные планы. Иногда оригинальные решения появляются «внезапно», после, казалось бы, длительных и бесплодных попыток. Часто удачные решения возникают у специалистов смежных областей знания, на которых не давит груз известных решений. Творческие решения представляют по существу разрыв привычных представлений и взгляд на явления с другой точки зрения. Следует особо подчеркнуть, что собственные

творческие мысли (оригинальные решения) возникают тем чаще, чем больше сил, труда, времени затрачивается на постоянное обдумывание путей решения теоретической задачи, чем глубже научный работник увлечен исследовательской работой.

При разработке теорий наряду с вышеизложенными методами используются и другие. Немалую роль при построении любых теорий играют, например, логические методы и правила, носящие нормативный характер. К числу таких правил относятся правила вывода, образования сложных понятий из простых, установления истинности сложных высказываний и т. д. Специальными принципами построения теорий служат также принципы формирования аксиоматических теорий, критерии непротиворечивости, полноты и независимости систем аксиом и гипотез и др.

Теоретические исследования играют большую роль в процессе познания объективной действительности, поскольку они позволяют глубоко проникнуть в сущность природных явлений, создавать постоянно развивающуюся научную картину мира. Теоретическое исследование является функцией мышления, которая состоит в том, чтобы открыть, проверить, частично освоить различные области природы, создать и развить мировоззрение.

В этом процессе познание природы раскрывается все более полно, но с каждой новой подтвержденной гипотезой выдвигает все больше проблем. Таким образом, с ростом объективных знаний одновременно увеличивается и область открытых вопросов, подлежащих решению, так как каждый найденный ответ лишь приближает к познанию абсолютной истины, но не может достигнуть ее.

6.2. Использование математических методов в исследованиях

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

Математическая формулировка задачи обычно представляется в виде чисел, геометрических образов, функций, систем уравнений и т. п. Описание объекта (явления) может быть представлено с помощью

непрерывной или дискретной, детерминированной или стохастической и другими математическими формами.

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

Первым этапом математического моделирования является постановка задачи, определение объекта и целей исследования, задание критериев (признаков) изучения объектов и управления ими. Неправильная или неполная постановка задачи может свести на нет результаты всех последующих этапов.

Весьма важным на этом этапе является установление границ области влияния изучаемого объекта. Границы области влияния объекта определяются областью значимого взаимодействия с внешними объектами. Данная область может быть определена на основе следующих признаков: границы области охватывают те элементы, воздействие которых на исследуемый объект не равно нулю; за этими границами действие исследуемого объекта на внешние объекты стремится к нулю. Учет области влияния объекта при математическом моделировании позволяет включить в эту модель все существенные факторы и рассматривать моделируемую систему как замкнутую, т. е., с известной степенью приближения, независимую от внешней среды. Последнее значительно упрощает математическое исследование.

Следующим этапом моделирования является выбор типа математической модели. Выбор типа математической модели является важнейшим моментом, определяющим направление всего исследования. Обычно последовательно строится несколько моделей. Сравнение результатов их исследования с реальностью позволяет установить наилучшую из них.

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

Линейность устанавливается по характеру статической характеристики исследуемого объекта. Под *статической* характеристикой объекта понимается связь между величиной внешнего воздействия на объект (величиной

входного сигнала) и максимальной величиной его реакции на внешнее воздействие (максимальной амплитудой выходной характеристики системы). Под *выходной* характеристикой системы понимается изменение выходного сигнала системы во времени. Если статическая характеристика исследуемого объекта оказывается линейной, то моделирование этого объекта осуществляется с использованием линейных функций. Нелинейность статической характеристики и наличие запаздывания в реагировании объекта на внешнее воздействие являются яркими признаками нелинейности объекта. В этом случае для его моделирования должна быть принята нелинейная математическая модель.

Применение линейной математической модели значительно упрощает ее дальнейший анализ, поскольку такая модель позволяет пользоваться принципом суперпозиции. *Принцип суперпозиции* утверждает, что когда на линейную систему воздействуют несколько входных сигналов, то каждый из них фильтруется системой так, как будто никакие другие сигналы на нее не действуют. Общий выходной сигнал линейной системы по принципу суперпозиции образуется в результате суммирования ее реакции на каждый входной сигнал.

Установление динамичности или статичности осуществляется по поведению исследуемых показателей объекта во времени. Применительно к детерминированной системе можно говорить о статичности или динамичности по характеру ее выходной характеристики. Если среднее арифметическое значение выходного сигнала по разным отрезкам времени не выходит за допустимые пределы, определяемые точностью методики измерения исследуемого показателя, то это свидетельствует о статичности объекта. Применительно к вероятностным системам их статичность устанавливается по изменчивости уровня ее относительной организации. Если изменчивость этого уровня не превышает допустимые пределы, то система определяется как статичная.

Весьма важным является выбор отрезков времени, на которых устанавливается статичность или динамичность объекта. Если объект на малых отрезках времени оказался статичным, то при увеличении этих отрезков результат не изменится. Если же статичность установлена для крупных отрезков времени, то при их уменьшении результат может измениться и статичность объекта может перейти в динамичность.

При выборе типа (класса) модели вероятностного объекта важно установление его стационарности. Обычно о стационарности или нестационарности вероятностных объектов судят по изменению во времени параметров законов распределения случайных величин. Чаще всего для этого используют среднее арифметическое случайной величины $M(\tau_i)$ и среднее квадратическое отклонение случайных величин σ_i ($i=1, 2, \dots, n$) от среднего арифметического и среднего квадратического отклонения во времени.

Из ряда средних арифметических $M(\tau_1), M(\tau_2), \dots, M(\tau_i)$ выбирается минимальное значение $M(\tau_{\min})$ и строятся интервалы с границами

$$M(\tau_{\min}) + \Delta x, \quad M(\tau_{\min}) - \Delta x,$$

где Δx — точность методики измерения исследуемого показателя.

Если значение $M(\tau_i)$ укладывается в этот интервал, то объект определяется как стационарный по среднему арифметическому $M(\tau)$.

Аналогично определяется стационарность по среднему квадратическому отклонению.

Граничные значения σ при установлении стационарности определяются по формулам

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{D_1}{n}}, \quad \sigma_2 = \sqrt{\frac{D_2}{n}},$$

или

$$D_1 = \left\{ \sum_{i=1}^n [x_i - (M(\tau_{\min}) + \Delta x)]^2 \right\} \frac{1}{n-1};$$

$$D_2 = \left\{ \sum_{i=1}^n [x_i - (M(\tau_{\min}) - \Delta x)]^2 \right\} \frac{1}{n-1};$$

здесь n — число наблюдений.

Если все значения σ укладываются в интервал $\sigma_1 \dots \sigma_2$, то объект считается стационарным. В противном случае объект определяется как вероятностный нестационарный, даже если величина среднего арифметического M не изменяется во времени.

Установление общих характеристик объекта позволяет выбрать математический аппарат, на базе которого строится математическая модель. Выбор математического аппарата может быть осуществлен в соответст-

вии со схемой, представленной на рис. 6.2. Как видно из данной схемы, выбор математического аппарата не является однозначным и жестким.

Так, для детерминированных объектов может использоваться аппарат линейной и нелинейной алгебры,

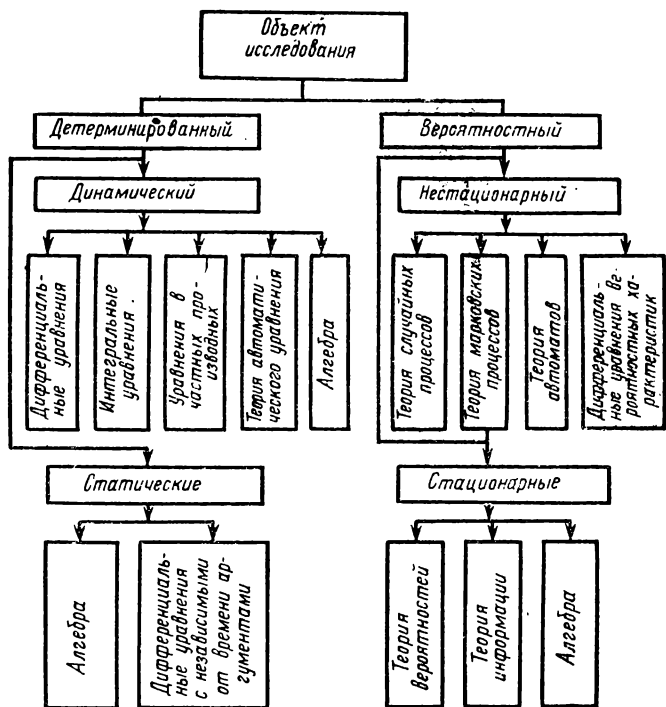


Рис. 6.2. Математический аппарат для построения математической модели

теории дифференциальных и интегральных уравнений, теории автоматического регулирования.

Адекватным математическим аппаратом для моделирования вероятностных объектов являются теория детерминированных и случайных автоматов с детерминированными и случайными средами, теория случайных процессов, теория марковских процессов, эвристическое программирование, методы теории информации, методы теории управления и оптимальные модели.

При описании квазидетерминированных (вероятно-

стно-детерминированных) объектов может использоваться теория дифференциальных уравнений с коэффициентами, подчиняющимися определенным законам.

Цель и задачи, которые ставятся при математическом моделировании, играют немаловажную роль при выборе типа (класса) модели. Практические задачи требуют простого математического аппарата, а фундаментальные — более сложного, допускают прохождение иерархии математических моделей, начиная от чисто функциональных и кончая моделями, использующими твердо установленные закономерности и структурные параметры.

Не меньшее значение на выбор модели оказывает анализ информационного массива, полученного как результат аналитического обзора результатов исследований других авторов или поискового эксперимента. Деление массива на зависимые и независимые факторы, на входные и выходные переменные, предварительный поиск взаимосвязи между различными данными выборки позволяет определить адекватный математический аппарат.

Анализ информационного массива позволяет установить непрерывность или дискретность исследуемого показателя и объекта в целом.

В непрерывных объектах все сигналы представляют собой непрерывные функции времени. В дискретных объектах все сигналы квантуются по времени и амплитуде. Если сигналы квантуются только по времени, т.е. представляются в виде импульсов с равной амплитудой, то такие объекты называют дискретно-непрерывными.

Установление непрерывности объекта позволяет использовать для его моделирования дифференциальные уравнения. В свою очередь, дискретность объекта предопределяет использование для математического моделирования аппарата теории автоматов.

Кроме вышеизложенного на установление типа (класса) математической модели может оказать существенное влияние необходимость определенного отбраживания гипотезы.

Учет целей и задач математического моделирования, характера гипотезы и анализа информационного массива позволяет конкретизировать модель, т.е. в выбранном типе (классе) моделей определить их вид. Выбор вида математической модели в данном их классе явля-

ется третьим этапом математического моделирования. Данный этап связан с заданием областей определения исследуемых параметров объекта, т.е. значения, которые являются допустимыми, и установлением зависимостей между ними. Для количественных (числовых) параметров зависимости задаются в виде систем уравнений (алгебраических или дифференциальных), для качественных — используются табличные способы заданий функций.

Если параметры описываются противоречивыми зависимостями, то определяются их весовые коэффициенты, выраженные в долях единицы, баллах. Тем самым противоречивые зависимости переводятся в вероятностные.

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

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

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

Если заранее известен характер изменения исследуемого показателя, то число возможных структур алгебраических моделей резко сокращается и предпочтение отдается той структуре, которая выражает наиболее общую закономерность или общеизвестный закон. Если характер изменения исследуемого показателя заранее неизвестен, то ставится поисковый эксперимент. Предпочтение отдается той математической формуле, которая дает наилучшее совпадение с данными поискового эксперимента.

Результаты поискового эксперимента и априорный информационный массив позволяют установить схему взаимодействия объекта с внешней средой по соотношению входных и выходных величин. В принципе возможно установление четырех схем взаимодействия:

одномерно-одномерная схема (рис. 6.3, а) — на объект воздействует только один фактор, а его

поведение рассматривается по одному показателю (один выходной сигнал);

одномерно-многомерная схема (рис. 6.3, б) — на объект воздействует один фактор, а его поведение оценивается по нескольким показателям;

многомерно-одномерная схема (рис. 6.3, в) — на объект воздействует несколько факторов, а его поведение оценивается по одному показателю;

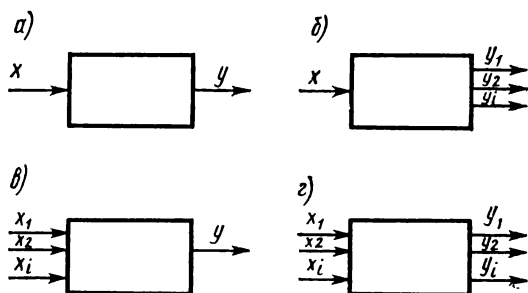


Рис. 6.3. Схемы взаимодействия объекта с внешней средой

многомерно-многомерная схема (рис. 6.3, г) — на объект воздействует множество факторов и его поведение оценивается по множеству показателей.

При одномерно-одномерном взаимодействии статического стационарного детерминированного объекта с внешней средой постоянное входное воздействие связывается с постоянным выходным сигналом через постоянный коэффициент. Если же этот объект является нестационарным, то указанная связь описывается различными функциями $y=f(x)$. Чаще всего данная функция описывается полиномом.

В случае обнаружения многомерно-одномерной схемы статический стационарный детерминированный объект описывается следующей моделью:

при равнозначности внешних воздействий

$$y = a \sum_{i=1}^m x_i;$$

при неравнозначности внешних воздействий

$$y = \sum_{i=1}^m a_i x_i,$$

где a_i — постоянный коэффициент; m — число внешних воздействий (факторов).

Для статического нестационарного объекта (при той же схеме взаимодействия) часто используется модель в виде полного степенного полинома:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_1} a_{ij} x_i x_j + \\ + \sum_{i=1}^{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} \sum_{v=1}^{m_2} a_{ijv} x_i x_j x_v + \dots,$$

где m_1, m_2 — число парных и тройных сочетаний факторов ($m_1 = C_m^2$; $m_2 = C_m^3$).

При одномерно-многомерной схеме статический стационарный и нестационарный объект описывается аналогично одномерно-одномерной схеме взаимодействия статического стационарного объекта с внешней средой. При этом определяются отдельно математические модели входного воздействия с каждым выходным сигналом. Выходные сигналы считаются независимыми.

Многомерно-многомерное взаимодействие сводится к многомерно-одномерному и математическая модель объекта принимается аналогичной изложенной выше. Для нестационарного одномерно-одномерного (многомерного) взаимодействия алгебраические функции могут представлять собой решение дифференциальных уравнений. При этом необходимо рассматривать производные математического ожидания по переменному фактору. Например, экспоненциальная зависимость может являться решением следующего дифференциального уравнения:

$$\frac{d\bar{y}}{dx} + a\bar{y} = a\bar{y}^m \quad (\bar{y} = 0 \text{ при } x = 0),$$

где \bar{y} — максимальное значение математического ожидания.

Выбор вида модели динамического объекта сводится к составлению дифференциальных уравнений. Модель динамического объекта может быть построена и в классе алгебраических функций. Однако такой подход является ограниченным, так как не позволяет в математическом описании учесть влияния входных воздействий на динамику выхода без существенной перестройки самих алгебраических функций (структуры и коэффициентов).

Поэтому по полноте модели отдается предпочтение математическим моделям, построенным в классе дифференциальных уравнений.

Если интересующие исследователя переменные являются только функциями времени, то для моделирования используются обыкновенные дифференциальные уравнения. Если же эти переменные являются также функциями пространственных координат, то для описания таких объектов недостаточно обыкновенных и следует пользоваться более сложными дифференциальными уравнениям в частных производных.

Методология моделирования динамических систем в классе дифференциальных уравнений существенно зависит от схемы взаимодействия объекта со средой и степени знания входа и выхода объекта.

Рассмотрим случай, когда вход и выход объекта известны.

При одномерно-одномерном и одномерно-многомерном взаимодействии детерминированного объекта со средой структура дифференциального уравнения определяется по виду выходной характеристики объекта для типового входного воздействия (например, ступенчатого).

Одной из наиболее простых выходных характеристик объекта является линейная (рис. 6.4, а). Такое изменение выхода определяется решением дифференциального

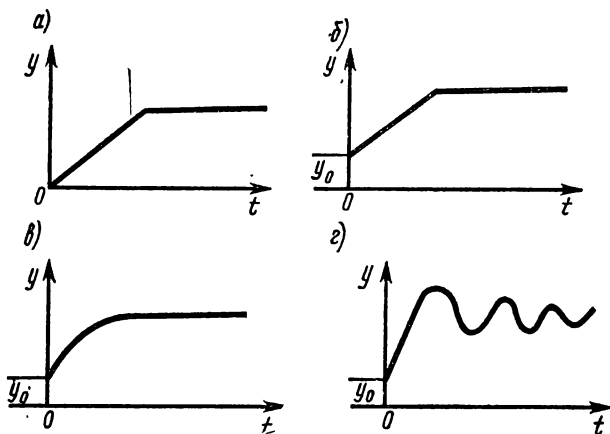


Рис. 6.4. Выходные характеристики детерминированного объекта при ступенчатом внешнем воздействии

уравнения

$$\frac{dy}{dt} = kx, \quad y_0 = 0,$$

где $k > 0$ — коэффициент размерности и пропорциональности; y_0 — начальное значение выходного сигнала; t — время.

Если $y_0 \neq 0$, то выходная характеристика объекта соответствует рис. 6.4, б. Однако дифференциальное уравнение остается неизменным.

Более сложный вид реакции объекта на ступенчатое входное воздействие (рис. 6.4, в) может быть описан полным неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\frac{dy}{dt} + a_0 y = kx, \quad y(0) = y_0,$$

где a_0 — коэффициент дифференциального уравнения.

Реакция объекта, соответствующая рис. 6.4, г, позволяет использовать в качестве математической модели объекта дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = kx, \quad y(0) = y_0.$$

Рассмотренные виды математических моделей соответствуют постоянному входному воздействию ($x = \text{const}$). Если входные воздействия являются некоторыми функциями времени, в частности алгебраическими, то в приведенных дифференциальных уравнениях изменяются правые части $x = f(t)$.

При многомерно-одномерном взаимодействии (в случае детерминированного объекта) динамические модели также ищут в классе дифференциальных уравнений. При этом допускается, что входные факторы являются независимыми по их действию на объект. Все факторы приводятся к сумме коэффициентами чувствительности в правой части дифференциального уравнения. Дифференциальное уравнение подбирается по виду выходной характеристики объекта.

Если допущение о независимости действия факторов неправомерно, то предварительно устанавливается влияние каждого из факторов на выходной показатель объекта и по виду выходных характеристик подбираются соответствующие дифференциальные уравнения. При одновременном действии факторов полагается, что выход-

ная характеристика объекта представляет собой сумму решений независимых дифференциальных уравнений, соответствующих каждому фактору.

Для многомерно-многомерного взаимодействия построение динамических моделей может быть сведено к многомерно-одномерной схеме взаимодействия.

При отсутствии априорной информации о входе и выходе объекта дифференциальные уравнения, моделирующие динамику объекта, составляются на основе предположений или знаний о свойствах и структуре объекта.

Универсального метода составления дифференциальных уравнений нет, можно лишь использовать некоторые общие подходы к составлению уравнений первого порядка.

Геометрические или физические задачи обычно приводят к одному из следующих трех видов уравнений:

- 1) дифференциальные уравнения в дифференциалах;
- 2) дифференциальные уравнения в производных;
- 3) простейшие интегральные уравнения с последующим преобразованием их в дифференциальные уравнения.

Рассмотрим, как составляются уравнения каждого из приведенных видов в отдельности.

1. Уравнения в дифференциалах. При составлении дифференциальных уравнений первого порядка удобно применять «метод дифференциалов». Сущность его заключается в том, что из условия задач составляются приближенные соотношения между дифференциалами. Для этого малые приращения величин заменяются их дифференциалами, неравномерно протекающие физические процессы в течение малого промежутка времени dt рассматриваются как равномерные.

Эти допущения и замены не отражаются на окончательных результатах вследствие того, что замена приращений дифференциалами сводится к отбрасыванию бесконечно малых высших порядков малости. Так как отношение дифференциалов функции и аргумента является пределом отношения их приращений, то по мере того, как приращения стремятся к нулю, принятые допущения выполняются с большой точностью. Получающиеся при этом дифференциальные уравнения оказываются точными, если они однородны и линейны относительно дифференциалов.

Рассмотрим геометрический пример на применение метода дифференциалов.

Пусть перед исследователем стоит задача определения поверхности вращения, по которой нужно отшлифовать зеркало рефлектора, чтобы выходящие из одной точки световые лучи после отражения в зеркале пересекались в другой точке.

По сути, данная задача сводится к нахождению уравнения сечения искомой поверхности меридианной плоскостью, проходящей через точку F_2 , в которой помещается источник света, и точку F_1 , в которой пересекаются отраженные лучи (рис. 6.5).

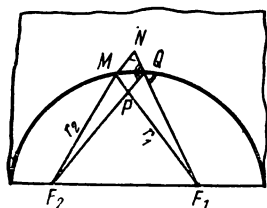


Рис. 6.5. Расчетная схема

Пусть MQ — малая дуга этого сечения. Будем ее считать прямолинейным отрезком. Опишем из точек F_1 и F_2 , как из центров, дуги MN и MP окружностей радиусами $F_1M=r_1$ и $F_2M=r_2$. Эти дуги также будем считать прямолинейными отрезками.

Треугольники MQN и MQP — прямоугольные ($\angle MNQ$ и $\angle MPQ$ — прямые) с общей гипотенузой MQ .

Пользуясь известным законом оптики о равенстве углов падения и отражения, а также свойством равенства вертикальных углов, находим, что $\angle MQN = \angle MQP$ и $\Delta MQN = \Delta MQP$. Отсюда следует, что $QN = QP$. Так как $QN = \Delta r_1$, а $QP = \Delta r_2$, то, заменяя приращения радиусов-векторов r_1 и r_2 их дифференциалами, имеем

$$dr_1 + dr_2 = 0.$$

Дифференциальное уравнение составлено. Оно легко интегрируется. Для этого перепишем его следующим образом:

$$d(r_1 + r_2) = 0,$$

откуда находим общий интеграл

$$r_1 + r_2 = C.$$

Итак, сечение искомой поверхности меридианной плоскостью является эллипсом. Следовательно, зеркало рефлектора надо отшлифовать по поверхности эллипсоида вращения.

2. Уравнения в производных. Для составления дифференциальных уравнений используется видо-

измененный метод дифференциалов, который именуют методом производных.

Сущность метода производных заключается в том, что из условия задачи составляются приближенные соотношения между скоростями изменения функции и аргумента. При этом часто используется геометрическая интерпретация скорости — угловой коэффициент касательной. Отсутствие бесконечно малых в методе производных кажущееся, поскольку скорость изменения исследуемой величины сама появилась из рассмотрения бесконечно малых элементов.

При исследовании роста числа публикаций в науке исходят из допущения, что скорость роста $\frac{dy}{dt}$ пропорциональна достигнутому уровню y числа публикаций. Это тождественно утверждению, что относительная скорость роста $\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = \text{const.}$

Указанное допущение позволяет составить дифференциальное уравнение в форме

$$\frac{dy}{dt} = ky,$$

или

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = k \quad (k > 0),$$

где $k = \text{const}$, характеризующая в среднем отклики на публикации в той или иной области знания.

Решение этого дифференциального уравнения имеет вид

$$y = ae^{kt},$$

где a — постоянная, характеризующая некоторое начальное число публикаций.

3. Простейшие интегральные уравнения. При рассмотрении работы сил, объемов тел, площадей криволинейных поверхностей их можно описать при помощи определенного интеграла или интегральных формул. В случае если при таком описании неизвестные функции попадают под знак интеграла, то получаемая формальная запись называется интегральным уравнением.

Последующее дифференцирование интегрального уравнения преобразует его в дифференциальное.

Для иллюстрации метода построения интегральных уравнений с последующим преобразованием их в дифференциальные рассмотрим следующую задачу.

Пусть нужно найти закон прямолинейного движения материальной точки массы m , если известно, что работа действующей на точку силы пропорциональна времени t , прошедшему от начала движения. Начальный путь и начальная скорость равны соответственно s_0 и v_0 .

Из курса механики известно, что в случае прямолинейного перемещения точки, когда направления силы и скорости совпадают, работа $A = \int_{s_0}^s F(u) du$, где $F(u)$ — действующая на точку сила.

По условию задачи

$$A = kt.$$

Сравнивая оба выражения для A , находим

$$\int_{s_0}^s F(u) du = kt.$$

Дифференцированием по s получаем

$$F(s) = k \frac{dt}{ds},$$

а так как $\frac{ds}{dt} = v$ — скорость движения и

$$\frac{dt}{ds} = \frac{1}{ds/dt} = \frac{1}{v},$$

то

$$F(s) = \frac{k}{v}.$$

С другой стороны, из второго закона Ньютона следует, что

$$F(s) = m \frac{dv}{dt}.$$

Сравнивая оба выражения для $F(s)$, составляем дифференциальное уравнение

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{k}{v}.$$

Общее решение этого уравнения представляется в виде

$$\frac{mv^2}{2} = kt + C_1.$$

При начальном условии $v=v_0$ при $t=0$ находим, что

$$C_1 = mv_0^2/2.$$

Следовательно,

$$v = \sqrt{\frac{2k}{m} t + v_0^2}.$$

Заменяя v на $\frac{ds}{dt}$ и интегрируя, находим

$$s = \frac{m}{3k} \left(\frac{2k}{m} t + v_0^2 \right)^{3/2} + C_2.$$

При $t=0$ $s=s_0$, следовательно,

$$C_2 = s_0 - \frac{mv_0^3}{3k}.$$

Таким образом, закон движения материальной точки принимает вид

$$s = \frac{m}{3k} \left(\frac{2k}{m} t + v_0^2 \right)^{3/2} + s_0 - \frac{mv_0^3}{3k}.$$

При составлении дифференциальных уравнений регулируемых объектов необходимо прежде всего определить условия получения равновесного режима работы объекта, т. е. уравнение статического равновесия.

Во многих случаях уравнение статического равновесия оказывается общим для различных объектов исследования. Например, при поступательном движении исследуемый объект будет находиться в состоянии статического равновесия (движение будет равномерным) только в том случае, когда движущие силы F_d равняются силам сопротивления F_c . Уравнение статического равновесия принимает вид

$$F_d - F_c = 0.$$

В том случае, когда объект исследования (коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания, роторы электродвигателя и генератора, турбины и т. д.) совершает вращательное движение, то условием статического равновесия является равенство крутящего момента M_d моменту сопротивления M_c , т. е. $M_d - M_c = 0$.

При выполнении этого условия вращение вала будет равномерным.

Для регулируемого резервуара, в котором необходи-

мо поддерживать постоянный уровень, условием статического равновесия является уравнение

$$V_{\text{пр}} - V_{\text{расх}} = 0,$$

где $V_{\text{пр}}$ — приход жидкости в резервуар; $V_{\text{расх}}$ — расход жидкости.

Аналогично выглядит уравнение статического равновесия регулятора ресивера с газом или паром

$$G_{\text{пр}} - G_{\text{расх}} = 0,$$

где $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{расх}}$ — массы приходящего и уходящего из ресивера газа.

Если регулируемым объектом является объем, в котором должна поддерживаться постоянная температура, то условие статического равновесия получает вид

$$Q_{\text{пр}} - Q_{\text{расх}} = 0,$$

где $Q_{\text{пр}}$ — количество теплоты, поступающей в объем за единицу времени; $Q_{\text{расх}}$ — количество теплоты, уходящей из объема в единицу времени.

Переходный процесс в исследуемом объекте может появиться только в том случае, если будет нарушено статическое равновесие. Появление приращения одного из членов уравнения статического равновесия неминуемо повлечет приращения и второго члена уравнения, причем такие приращения, как правило, не равны между собой. В результате условие статического равновесия нарушается и тогда при поступательном движении

$$F_{\text{д}} + \Delta F_{\text{д}} \neq F_{\text{с}} + \Delta F_{\text{с}};$$

при вращательном движении

$$M_{\text{д}} + \Delta M_{\text{д}} \neq M_{\text{с}} + \Delta M_{\text{с}};$$

при заполнении резервуара жидкостью

$$V_{\text{пр}} + \Delta V_{\text{пр}} \neq V_{\text{расх}} + \Delta V_{\text{расх}};$$

при заполнении ресивера газом

$$G_{\text{пр}} + \Delta G_{\text{пр}} \neq G_{\text{расх}} + \Delta G_{\text{расх}};$$

при нарушении теплового режима

$$Q_{\text{пр}} + \Delta Q_{\text{пр}} \neq Q_{\text{расх}} + \Delta Q_{\text{расх}}.$$

Полученные неравенства могут быть упрощены, если учесть в них условие статического равновесия:

$$\Delta F_{\text{д}} \neq \Delta F_{\text{с}}; \quad \Delta M_{\text{д}} \neq \Delta M_{\text{с}}; \quad \Delta V_{\text{пр}} \neq \Delta V_{\text{расх}};$$

$$\Delta G_{\text{пр}} \neq \Delta G_{\text{расх}}; \quad \Delta Q_{\text{пр}} \neq \Delta Q_{\text{расх}}.$$

Таким образом, при нарушении условий статического равновесия в исследуемом объекте возникает избыток или недостаток движущих сил (или моментов), поступления жидкости, газа, избыток или недостаток теплоты. Этот избыток или недостаток вызывает изменение характера работы объекта.

Дальнейшее преобразование полученных неравенств осуществляется путем привлечения общеизвестных зависимостей, принципов, законов или анализа выходных характеристик объекта, полученных в поисковом эксперименте. При этом могут использоваться феноменологические законы (такие, как законы Гука, Фурье), полуэмпирические соотношения (например, дополнительное соотношение Ньютона в теории удара) и чисто эмпирические соотношения.

Нарушение статического равновесия исследуемого объекта, имеющего поступательное движение, приведет к ускоренному или замедленному движению. Так как движущийся объект обладает массой m и ускорением a , то на основании принципа Даламбера уравнение динамического равновесия (уравнение движения) может быть записано в виде

$$ma = \Delta F_{\text{д}} - \Delta F_{\text{с}},$$

или, так как

$$a = \frac{dv}{dt},$$

где v — скорость движения; t — время, то

$$m \frac{dv}{dt} = \Delta F_{\text{д}} - \Delta F_{\text{с}}.$$

Для объекта, имеющего вращательное движение, уравнение динамического равновесия записывается также на основании принципа Даламбера. Если J — приведенный к оси вала двигателя момент инерции вращающихся или возвратно-поступательно движущихся деталей и ω — угловая скорость вращения вала, то уравнение движения получает вид

$$J \frac{d\omega}{dt} = \Delta M_{\text{д}} - \Delta M_{\text{с}}.$$

При нарушении статического равновесия работы резервуара в нем происходит накапливание (в алгебраическом смысле) жидкости и, как следствие, изменение ее уровня.

Если dV — изменение объема жидкости в резервуаре за время dt , то

$$dV = (\Delta V_{\text{пр}} - \Delta V_{\text{расх}}) dt,$$

или

$$\frac{dV}{dt} = \Delta V_{\text{пр}} - \Delta V_{\text{расх}}.$$

При нарушении равновесия в работе ресивера количество газа в нем изменяется на величину dG за элементарный интервал времени dt , поэтому

$$dG = (\Delta G_{\text{пр}} - \Delta G_{\text{расх}}) dt,$$

откуда

$$\frac{dG}{dt} = \Delta G_{\text{пр}} - \Delta G_{\text{расх}}.$$

Нарушение теплового режима некоторого объема приводит к изменению количества теплоты, сосредоточенной в выбранном объеме, на dQ за интервал времени dt , поэтому

$$dQ = (\Delta Q_{\text{пр}} - \Delta Q_{\text{расх}}) dt,$$

или

$$\frac{dQ}{dt} = \Delta Q_{\text{пр}} - \Delta Q_{\text{расх}}.$$

Сравнение полученных дифференциальных уравнений для различных регулируемых объектов показывает их идентичность.

Их дальнейшее преобразование возможно на основе знания физики общих свойств газа, теплопередачи и т. п. Например, известно, что состояние идеальных газов описывается уравнением Клапейрона

$$pV = GTR,$$

где p — давление газа в ресивере; V — объем ресивера; G — количество газа, находящегося в ресивере; T — абсолютная температура газа; R — газовая постоянная.

Из уравнения состояния следует

$$G = \frac{pV}{RT}.$$

Тогда уравнение динамического равновесия ресивера преобразуется к виду

$$\frac{V}{RT} \frac{dp}{dt} = \Delta G_{\text{пр}} - \Delta G_{\text{расх}}.$$

Описание приращений в правой части рассмотренных уравнений также требует предварительного знания их связи со свойствами объекта.

Введение в уравнения динамического равновесия зависимостей, описывающих приращения, часто приводит к повышению порядка дифференциальных уравнений. Однако при некотором упрощении порядок дифференциальных уравнений удастся снизить. Таким упрощением в большинстве случаев является пренебрежение инерционностью объекта или линеаризация приращений. Для линеаризации последних часто используют разложение функции в ряд Маклорена.

Пусть, например, крутящий момент объекта (вала двигателя), имеющего вращательное движение, зависит от угловой скорости вращения ω и положения h органа управления топливного насоса двигателя¹, т. е.

$$M_d = f(\omega, h).$$

Для определения приращения крутящего момента двигателя в зависимости от приращения ω и h полученную функцию следует разложить в ряд Маклорена:

$$M_d + \Delta M_d = M_d + \frac{\partial M_d}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial^2 M_d}{\partial \omega^2} \frac{d\omega^2}{2!} + \dots + \\ + \frac{\partial M_d}{\partial h} dh + \frac{\partial^2 M_d}{\partial h^2} \frac{dh^2}{2!} + \dots$$

Если в разложении заменить бесконечно малые величины $d\omega$ и dh величинами $\Delta\omega$ и Δh конечными, но достаточно малыми, то ряд будет иметь вид

$$M_d + \Delta M_d = M_d + \frac{\partial M_d}{\partial \omega} \Delta\omega + \frac{\partial^2 M_d}{\partial \omega^2} \frac{\Delta\omega^2}{2!} + \dots + \\ + \frac{\partial M_d}{\partial h} \Delta h + \frac{\partial^2 M_d}{\partial h^2} \frac{\Delta h^2}{2!} + \dots$$

Производные в этом разложении должны подсчитываться в положении равновесия режима работы двигателя, при котором выполняется условие статического равновесия.

При малых конечных приращениях $\Delta\omega$ и Δh и непрерывности функции $M_d = f(\omega, h)$ можно отбросить без внесения существенной ошибки все члены ряда с $\Delta\omega$ и Δh в степенях выше первой, т. е. практически произве-

¹ См.: Крутов В. И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания. М., 1979.

сти замену действительной функции $M_d = f(\omega, h)$ ее касательной в точке равновесного режима (такая замена обычно называется линеаризацией). После линеаризации приращение крутящего момента принимает вид

$$\Delta M_d = \frac{\partial M_d}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial M_d}{\partial h} \Delta h.$$

Пусть момент сопротивления является лишь функцией угловой скорости

$$M_c = f(\omega).$$

Тогда после разложения этой функции в ряд Маклорена и линеаризации получим

$$\Delta M_c = \frac{dM_c}{d\omega} \Delta \omega.$$

После подстановки преобразованных приращений в уравнение динамического равновесия объекта получаем

$$J \frac{d\omega}{dt} + \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M_d}{\partial \omega} \right) \Delta \omega = \frac{\partial M_d}{\partial h} \Delta h.$$

Любые дифференциальные уравнения — это модель целого класса явлений, т. е. совокупность явлений, характеризующихся одинаковыми процессами. При интегрировании уравнений получают большое количество решений, удовлетворяющих исходному дифференциальному уравнению. Чтобы получить из множества возможных решений одно, удовлетворяющее только рассматриваемому процессу, необходимо задать дополнительные условия дифференциальному уравнению. Они должны четко выделить изучаемое явление из всего класса явлений.

Условия, которые раскрывают все особенности данного уравнения, называются условиями однозначности и характеризуются следующими признаками: геометрией системы (форма и размеры тела); физическими свойствами тела (теплопроводность, влагопроводность, упругость и т. д.); начальными условиями, т. е. состоянием системы в начальный момент; граничными условиями, т. е. условиями взаимодействия системы на границах с окружающей средой. Начальные и граничные условия называют *краевыми*.

Рассмотренные примеры выбора вида модели объекта имеют отношение лишь к таким объектам, которые могут рассматриваться как детерминированные.

Рассмотрим способы выбора вида математических моделей для вероятностных объектов. Как и ранее, для

статических объектов под стационарностью входа будем понимать постоянное его значение. Если входной сигнал принимает несколько значений, то его будем считать нестационарным.

Пусть имеется одномерно-одномерная схема взаимодействия объекта с внешней средой. Если воздействие на входе объекта постоянно во времени, то в качестве математической модели статического вероятностного объекта может выступать некоторый закон распределения выходной величины. Если входное воздействие может принимать различные значения и каждому значению соответствует ряд значений выходной величины объекта, то в качестве модели вероятностного объекта принимается набор законов распределения выходной величины для всех значений входного воздействия.

При моделировании вероятностных объектов помимо законов распределения входных и выходных величин существенна связь между ними. Поэтому в состав модели включают коэффициенты взаимной корреляции и функции

$$H_m = f(x); \quad R = f(x); \quad y_{\text{ср}} = f(x); \quad \sigma = f(x),$$

где x — входное воздействие; H_m — максимальная энтропия выходных характеристик; R — относительная организация выходных характеристик; $y_{\text{ср}}$ — среднее значение выходной величины; σ — среднеквадратичное отклонение выходных величин.

Максимальная энтропия выходных характеристик оценивается по формуле

$$H_m = \log_2 n,$$

где n — число состояний объекта.

Для оценки числа состояний объекта используется формула

$$n = \frac{y_{\text{max}} - y_{\text{min}}}{\Delta y},$$

где y_{max} , y_{min} — максимальное и минимальное значения выходной величины; Δy — точность измерения выходных величин.

Относительная организация выходных характеристик оценивается по формуле Ферстера:

$$R = 1 - \frac{H}{H_m},$$

где

$$H = - \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{N} \log_2 \frac{m_i}{N} ;$$

здесь m_i — число появлений y_i значения выходной характеристики; N — полное число наблюдений выходных характеристик.

При многомерно-одномерной схеме взаимодействия статического вероятностного объекта с внешней средой задача математического моделирования сводится к одномерно-одномерной схеме для каждого сочетания постоянных входных воздействий.

Нестационарный случай отличается тем, что каждое входное воздействие может принимать несколько значений. При этом для каждого конкретного сочетания задача анализа связи между входами и выходом может решаться аналогично задаче для многомерно-одномерной стационарной схемы.

Оценка степени связи выхода с входами проводится путем сопоставления статических параметров и вычисления коэффициентов взаимной корреляции.

Моделирование объекта при одномерно-многомерной и многомерно-многомерной схемах взаимодействия производится аналогично вышеизложенному.

Рассмотрим далее моделирование динамических режимов вероятностных объектов.

При одномерно-одномерной схеме взаимодействия объекта с внешней средой и многократном поступлении на его вход одной и той же функции времени $x(t)$ возможны два случая:

на выходе объекта наблюдается стационарный случайный процесс;

на выходе объекта наблюдается нестационарный случайный процесс.

В первом случае в качестве математической модели выходной величины объекта принимается закон распределения значений выходной величины, имеющий одни и те же параметры для всех срезов по времени. Срезы по времени принимаются с интервалом Δt . Модель дополняется зависимостями

$$H_m(i, \Delta t) = f(x);$$

$$R(i, \Delta t) = f(x), \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Эти зависимости могут быть представлены алгебраи-

ческой функцией или дифференциальными уравнениями.

Во втором случае (нестационарный выход объекта) в качестве математической модели объекта принимаются функциональные связи

$$m_y(i, \Delta t) = f(x);$$

$$\sigma_y(i, \Delta t) = f(x), \quad i = 1, 2, 3, \dots,$$

где $m_y(i, \Delta t)$ — математическое ожидание распределения выходных величин y по дискретным отрезкам времени с шагом Δt ; $\sigma(i, \Delta t)$ — среднеквадратическое отклонение.

Эти связи также описываются с помощью алгебраических или дифференциальных уравнений.

Если на вход объекта многократно поступают различные функции времени $x_i(t)$, то их рассматривают как случайные реализации случайного процесса. Для каждого сечения во времени $(i, \Delta t)$ определяются информационные и вероятностные характеристики $H_m^x, R_x, m_x, \sigma_x$. Аналогично, для каждой совокупности выхода для тех же сечений по времени $(i, \Delta t)$ определяются информационные и вероятностные характеристики $H_m^y, R_{yi}, m_{yi}, \sigma_{yi}$.

В качестве математической модели объекта принимаются функциональные связи

$$H_m^y(i, \Delta t) = f_{1i}[H_m^x(i, \Delta t)];$$

$$R_{yi}(i, \Delta t) = f_{2i}[R_x(i, \Delta t)];$$

$$m_{yi}(i, \Delta t) = f_{3i}[m_x(i, \Delta t)];$$

$$\sigma_{yi}(i, \Delta t) = f_{4i}[\sigma_x(i, \Delta t)] \quad (i = 1, 2, \dots, k).$$

Иногда все массивы реализаций выходной величины рассматриваются как единый массив. В этом случае в качестве математической модели объекта принимаются функциональные связи между обобщенными параметрами выхода и параметрами входа.

При многомерно-одномерной схеме взаимодействия вероятностного объекта со средой в нестационарном режиме в качестве его математической модели принимаются функциональные зависимости:

$$H_m^y = f_{11}(H_m^{x_1}); \quad m_y = f_{31}(m_{x_1});$$

$$\dots \dots \dots$$

$$H_m^y = f_{1m}(H_m^{x_1}); \quad m_y = f_{3m}(m_{x_n});$$

$$R_y = f_{21}(R_{x1}); \quad \sigma_y = f_{11}(\sigma_{x1});$$

.

$$R_y = f_{2m}(R_{xm}); \quad \sigma_y = f_{2m}(\sigma_{xm}).$$

При одномерно-многомерной схеме взаимодействия объекта в нестационарном режиме в качестве математической модели объекта принимаются функциональные зависимости

$$H_m^{yi} = f_{1i}(H_m^x);$$

$$R_y^i = f_{2i}(R_x);$$

$$M_{yt} = f_{3i}(m_x);$$

$$\sigma_{yi} = f_{4i}(\sigma_x) \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

При многомерно-многомерной схеме взаимодействия в нестационарном режиме устанавливаются функциональные зависимости информационных и вероятностных характеристик для каждого входа и выхода. При этом можно считать, что любой выход зависит от всех входов, и соответственно выбрать вид математических моделей.

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

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

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

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

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

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

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

Контроль физического смысла сводится к проверке физического содержания промежуточных соотношений, используемых при построении математической модели.

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

6.3. Аналитические методы

Вторым 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.

Под *внешним* правдоподобием исследования понимается ожидаемая степень адекватности математической модели реальному объекту по интересующим исследователя свойствам.

Под *внутренним* правдоподобием исследования понимается ожидаемая степень точности решения полученных уравнений, которые приняты за математическую модель объекта.

Если вид модели уже выбран, то внешнее правдоподобие модели считается фиксированным и выбор метода исследования будет целиком определяться необходимой степенью внутреннего правдоподобия.

В подавляющем большинстве случаев при выборе метода исследования руководствуются принципом соответствия внешнего и внутреннего правдоподобия, аналогичным известному правилу приближенных вычислений: степень точности вычислений должна соответствовать степени точности исходных данных. Однако в зависимости от условий и задач исследования возможны отклонения от принципа. Перечислим некоторые из них:

1) если речь идет о разработке нового единого метода исследований, который предполагается применять к широкому, заранее не фиксированному, классу моделей, то нужно стремиться к максимальному внутреннему правдоподобию исследования независимо от уровня внешнего правдоподобия;

2) если осуществляется проверка внешнего правдоподобия модели, то внутреннее правдоподобие избранного метода проверки должно быть максимальным;

3) если модель настолько проста, что для нее легко получить точное решение, то искусственно понижать строгость решения бессмысленно.

В других случаях предпочтение отдается «принципу равного правдоподобия».

Выбор метода исследования тем эффективнее, чем больше имеется сведений о конечном решении задачи. Такие сведения могут быть получены путем прикидочных исследований модели или ее элементов.

В процессе прикидочных исследований осуществляется сравнение величин отдельных членов уравнений в изучаемом диапазоне изменения переменных и параметров задачи. Относительно малые слагаемые отбрасываются, нелинейные зависимости заменяются на линейные. Некоторые из компонентов модели аппроксимируются грубыми уравнениями. Все это позволяет быстро получить грубое решение задачи.

Знание, хотя бы самое грубое, качественных и количественных характеристик искомого решения помогает при выборе точности метода исследования. Иногда даже грубое решение оказывается достаточным. В качестве примера можно привести задачу о поиске экспериментального значения функции. Если точка экстремума является стационарной, то даже грубая ошибка в ее отыскании мало скажется на подсчете этого значения. Поэтому применение высокоточных методов поиска такого экстремума нерационально. Громоздкие точные вычисления в этом случае создают лишь иллюзию точности. В случае применения грубой математической модели не следует применять громоздкие вычислительные методы.

Выбор метода исследования математической модели во многом предопределен ее видом.

Статические системы, представленные при помощи алгебраических уравнений, исследуются с помощью определителей, метода итераций, методов Крамера и Гау-

са. В случае затруднений с аналитическими решениями используются приближенные методы: графический метод; метод хорд; метод касательных; метод итераций. В последнем случае, который требует контроля точности (числа значащих цифр) в зависимости от грубости вычислительного метода, целесообразно применение ЭВМ.

Исследование динамических режимов функционирования объекта, представленных в классе дифференциальных уравнений, также предопределяется классом, к которому относится решаемое уравнение.

Если в результате решения алгебраических уравнений получаются числа, то при решении дифференциальных уравнений получаются функции.

Для решения дифференциальных уравнений широко используются метод разделения переменных, метод подстановки, метод интегрирующего множителя, метод качественного анализа и т. п. Для получения приближенных решений используют метод последовательных приближений, метод функциональных рядов, метод Рунге—Кутты, численные методы интегрирования и т. п.

Для подробного изучения моделей динамических систем, построенных в классе дифференциальных уравнений, используется качественная теория дифференциальных уравнений.

Качественная теория дифференциальных уравнений позволяет изучить все возможные решения — регулярные и особые.

В основе качественной теории лежит понятие фазового портрета системы. Построение фазового портрета иллюстрируется следующим примером. Пусть рассматривается система, описываемая следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0;$$

при начальных условиях

$$\begin{aligned} y(0) &= y_0, \\ \frac{\partial y(0)}{\partial t} &= \dot{y}_0. \end{aligned}$$

Частное решение этого уравнения представляется в виде

$$y = y_0 \cos \omega t + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \sin \omega t.$$

Принимая $\frac{dy}{dt}$ за новую искомую функцию и вводя обозначения

$$y = z_1;$$

$$\frac{dy}{dt} = z_2,$$

преобразуем исходное дифференциальное уравнение в систему уравнений первого порядка:

$$\dot{z}_1 = z_2;$$

$$\dot{z}_2 = -\omega^2 z_1;$$

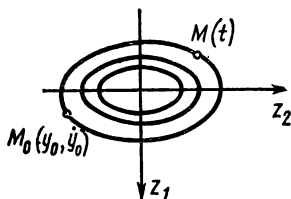
при начальных условиях

$$z_1(0) = y_0, \quad z_2(0) = \dot{y}_0.$$

Частное решение имеет вид

$$z_1 = y_0 \cos \omega t + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \sin \omega t;$$

$$z_2 = -y_0 \omega \sin \omega t + \dot{y}_0 \cos \omega t.$$



Из полученной системы уравнений для z_1 и z_2 , исключая t , имеем

$$\frac{z_1^2}{\rho_0^2} + \frac{z_2^2}{(\omega \rho_0)^2} = 1;$$

где

$$\rho_0 = \sqrt{y_0^2 + \frac{\dot{y}_0^2}{\omega^2}} > 0.$$

Рис. 6.6. Фазовый портрет системы

Последнее уравнение описывает эллипс на плоскости $z_1 z_2$. Следовательно, частное решение для z_1 и z_2 выражается зависимостью от времени текущих координат точки $M(t)$, которая начинает свое движение в момент $t=0$ от точки $M_0(y_0, \dot{y}_0)$ и движется по эллипсу (рис. 6.6).

Точка $M(t)$ называется *изображающей точкой*. Траектория такой точки называется *фазовой траекторией*.

Изменяя начальные условия, можно получить семейство фазовых траекторий, которое называется *фазовым портретом*, а плоскость $z_1 z_2$, на которой расположено это семейство, — *фазовой плоскостью*.

В строительстве ряд задач исследуется с помощью интегральных уравнений, содержащих искомую функцию $\varphi(s)$ под знаком интеграла:

$$h(x)\varphi(x) - \lambda \int_a^s k(x,s)\varphi(s)ds = f(x),$$

где $h(x)$, $\varphi(x)$ — известные функции x ; λ — постоянный параметр, который называют собственным числом; $k(x,s)$ — заданная функция, которую называют ядром интегрального уравнения.

Общего метода решения интегральных уравнений даже линейного типа $h(x)=0$, $\varphi(x)=0$ не существует. Интегральное уравнение является решением дифференциального. Например, решением дифференциального уравнения первой степени

$$p = E_y s_y + \eta \frac{ds}{dt}$$

является интегральное уравнение

$$s = e^{-E_y t / \eta} \times \\ \times \left(s_y + \frac{1}{\eta} \int_0^t p e^{-E_y t' / \eta} dt' \right).$$

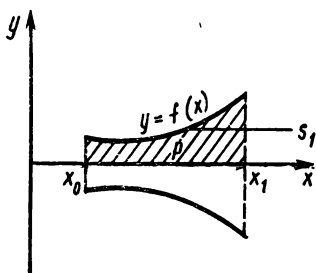


Рис. 6.7. Схема к понятию функционала

Если $p = p_0 = \text{const}$, то имеем

$$s = \frac{p_0}{E_y} (1 - e^{-E_y t / \eta}).$$

Это позволяет сводить решение дифференциальных уравнений к решению интегральных и наоборот.

Многие задачи исследуются с помощью вариационного исчисления. Чтобы сформулировать задачу вариационного исчисления, вводят понятие функционала. Имеем плоскую кривую $y=f(x)$ с областью определения $x_0 \leq x \leq x_1$ (рис. 6.7). Нетрудно видеть, что длина кривой s_1 , площадь p криволинейной трапеции, объем тела вращения v зависят от вида заданной кривой $y=f(x)$

$$s_1 = \int_{x_0}^{x_1} \sqrt{1 + [y'(x)]^2} dx; \quad p = \int_{x_0}^{x_1} y(x) dx; \quad v = \pi \int_{x_0}^{x_1} [y(x)]^2 dx.$$

Таким образом, функция $y=f(x)$ однозначно определяет величины s_1, p, v , т. е. она играет роль своеобразного «аргумента».

В этом случае величины s_1, p, v называют функционалами относительно функции $y=f(x)$.

Суть задачи вариационного исчисления состоит в том, что если задан функционал $F(y')$ в области $x_0 \leq x \leq x_1$, то требуется найти такую функцию $y=f(x)$ в заданной области определения функционала $F(y')$, при которой этот функционал принимает минимальное или максимальное значение.

При исследовании процессов методами вариационного исчисления находят такие закономерности, при которых их развитие энергетически наиболее экономно. Очень часто они описываются экспоненциальными функциями, удовлетворяющими принципам вариационного исчисления.

При теоретических исследованиях широко используется теория функций комплексной переменной. В основе этой теории лежит положение о комфортном преобразовании, согласно которому две пересекающиеся кривые $z_1 z_2$ и $z_1 z_3$ из области z всегда можно перенести в область ω соответственно кривым $\omega_1 \omega_2$ и $\omega_2 \omega_3$, сохраняя равенство углов между кривыми и в каждой паре. Это позволяет изменить координаты таким образом, чтобы упростить громоздкие математические преобразования.

Рассмотренные аналитические методы, как правило, позволяют успешно решать лишь относительно простые задачи. В то же время все чаще возникает необходимость использования сложных дифференциальных уравнений или их систем со сложными начальными и граничными условиями (часто нелинейными). Их решение весьма сложно или неизвестно, в этих случаях прибегают к тем или иным приближенным вычислениям с помощью численных методов.

Идея численных методов (методы конечных разностей или сеток) заключается в следующем:

1. В плоской области G , в которой разыскивается решение, строится сеточная область G_h , состоящая из одинаковых ячеек (рис. 6.8) и приближающаяся к области G .

2. Заданное дифференциальное уравнение заменяется в узлах построенной сетки соответствующим конечно-разностным уравнением.

3. На основании граничных условий устанавливают

ся значения искомого решения в граничных узлах области G_h .

Решив полученную систему конечно-разностных уравнений (для чего необходимо решить алгебраическую систему с большим числом неизвестных), найдем значения искомой функции в узлах сетки, т.е. будем иметь численное решение поставленной задачи. Выбор сеточной области производится в зависимости от конкретной задачи, но во всех случаях контур сеточной области G_h следует выбирать так, чтобы он возможно лучше аппроксимировал контур заданной области G . Сеточная область может состоять из квадратных, прямоугольных, треугольных и других клеток.

В качестве примера использования численных методов может служить решение задачи виброформования бетонной смеси. Бетонная смесь при вибрации моделируется в виде сплошной упруговязкой среды, а математическая модель процесса виброформования представлена в виде

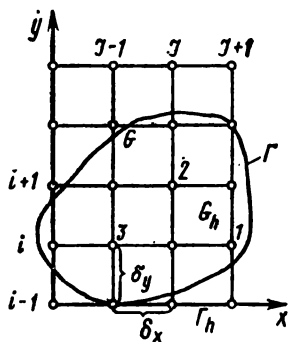


Рис. 6.8. Сеточная область G_h с контуром Γ для плоской области G , в которой производится решение двумерного дифференциального уравнения

$$\rho \frac{dv_x}{dt} = E \frac{\partial^2 l}{\partial x^2} + \eta \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right),$$

где ρ — плотность бетонной смеси; t — время; x, y — декартовы координаты; v_x — составляющая скорости бетонной смеси вдоль направления распространения колебаний; E — модуль упругости; l — смещение элемента бетонной смеси; η — коэффициент динамической вязкости.

Первый член в правой части уравнения, описывающего процесс виброформования, представляет собой упругую составляющую среды, а второй — вязкую.

Решение полученного уравнения аналитическими методами является чрезвычайно сложным и обычно в литературе не приводится. Для практического использования оно может быть решено с использованием ЭЦВМ, для чего его необходимо представить в конечно-разностном (безразмерном) виде. Для этого введем следующие обо-

значения:

$$u = l/A\omega, \quad W = v_x/A\omega,$$

$$dx = dy = cdt,$$

где c — скорость распространения колебаний в бетонной смеси; $A\omega$ — амплитуда колебаний.

Тогда математическая модель процесса виброформования бетонной массы выразится уравнением

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{c^2}{\omega} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + v \left(\frac{d^2 W}{dx^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right).$$

При численном интегрировании на ЭЦВМ это уравнение представляют в разностном виде, для чего производные заменяются конечно-разностными отношениями. Выбрав шаг δx по оси x и δy по оси y , построим сетку $x_i = x_0 + i\delta x$; $y_j = y_0 + j\delta y$ ($i, j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) (см. рис. 6.8). Тогда для первой производной функции $f(x)$ получим следующие варианты записи:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f_{i+1} - f_i}{\delta x}; \quad \frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f_i - f_{i-1}}{\delta x}; \quad \frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\delta x};$$

для второй производной

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \approx \frac{f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1}}{\delta x^2},$$

где f_{i+1} , f_i , f_{i-1} — значения функции f в узлах интегрирования соответственно.

Значение функции в данном нулевом узле через шаг интегрирования по времени δt обозначается через $W_0^{\delta t}$, где W_0 — значение функции в нулевом узле в данный момент времени. С учетом принятых обозначений модель виброформования бетонной массы примет вид

$$W_0^{+\delta t} = W_0 + \frac{1}{\delta t} \left[\frac{v\omega}{c^2} (\Delta_x^2 W + \Delta_y^2 W) + \Delta_x^2 u \right],$$

где

$$\frac{\Delta_x^2 W}{\delta x^2} + \frac{\Delta_y^2 W}{\delta y^2} \approx \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}; \quad \Delta_x^2 u \approx \partial^2 u;$$

$$\frac{\Delta_x^2 W}{\delta x^2} = \frac{W_{i,j+1} - 2W_{i,j} + W_{i,j-1}}{\delta x^2};$$

$$\frac{\Delta_y^2 W}{\delta y^2} = \frac{W_{i+1,j} - 2W_{i,j} + W_{i-1,j}}{\delta y^2};$$

$$\frac{\Delta_x^2 u}{\delta x^2} = \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\delta x^2};$$

$\delta t + \delta t \omega$ — безразмерное время;

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{W_0^{+\delta t} - W_0}{\delta t}.$$

Обозначим через $\delta W = W_0^{+\delta t} - W_0$ приращение безразмерной скорости за время δt и, разделив левую и правую части уравнения на δt , получим

$$a = \frac{\delta W}{\delta t} = \frac{1}{\delta t^2} [\bar{k} (\Delta_x^2 W + \Delta_y^2 W) + \Delta_x^2 u],$$

где a — безразмерное ускорение элементарного объема среды; $\bar{k} = \frac{\nu \omega}{c^2} = \frac{\eta \omega}{E}$ — безразмерный критерий подобия, представляющий отношение силы вязкостного трения к динамическому давлению.

Реализация предложенного алгоритма заключается в следующем. На основании последнего уравнения определяется безразмерное ускорение в заданном узле сетки интегрирования с использованием известных значений безразмерной скорости и перемещения в данный момент времени. Значения безразмерных перемещений и скорости в заданном узле сетки интегрирования в последующий момент времени определяется по формулам

$$u^{+\delta u} = u + W \delta t + \frac{1}{2} a \delta t^2; \quad W^{+\delta t} = W + a \delta t.$$

Описанный процесс повторяется по всем узлам сетки интегрирования для данного момента времени. Это позволяет определять значения безразмерного ускорения для последующего момента времени по всем узлам сетки интегрирования.

С учетом начальных условий $u = -1$, $W = 0$ и граничных, выраженных в виде $u_r = f_1(t)$ и $W_r = f_2(t)$, можно последовательно получить численные значения скоростей и перемещений по всем узлам сетки интегрирования в функции координат и времени. Использование полученных значений u и W позволяет сравнительно просто определить напряженное состояние вибрируемой бетонной смеси (рис. 6.9). Естественно, что вычисления в этом случае громоздки и необходимо использование специальных программ и ЭЦВМ.

Использование аналитических методов решения ма-

тематических задач является основным методом современного научного исследования. Однако громоздкость моделей и прямых методов решения уравнений затрудняет получение конечных решений. Поэтому в решении практических задач (особенно управленческих) нашли

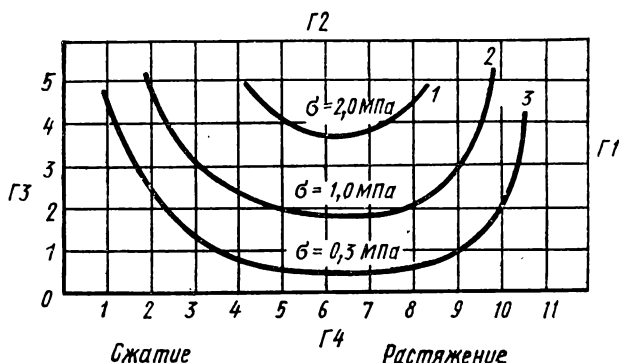


Рис. 6.9. Распределение кривых равного значения динамического давления в модели формы с бетонной смесью при верхней свободной поверхности.

Фазовый угол $\alpha=0^\circ$, частота колебаний 20 Гц, амплитуда — 3,5 мм; 1 — $\sigma=2,0$ МПа; 2 — $\sigma=1,0$ МПа; 3 — $\sigma=0,3$ МПа; 4 — $\sigma=0,1$ МПа

широкое применение методы преобразования исходных уравнений (логарифмирование, преобразований Лапласа, Фурье и т. д.).

Логарифмирование уравнений является простейшим способом преобразований.

Пусть нам необходимо получить решение простейшего уравнения

$$y = a^{0,2},$$

которое называется *оригиналом функции*.

Возведение числа a в степень 0,2 прямыми методами затруднительно. Поэтому осуществляется преобразование данного уравнения при помощи логарифмирования

$$\log y = 0,2 \log a$$

— это уравнение называется *изображением функций*.

При логарифмировании функция переводится из пространства оригиналов в пространство изображений и операция возведения в степень сводится к умножению чисел 0,2 и $\log a$, что не встречает никаких затруднений.

При помощи антилогарифмирования полученный результат переводится из пространства изображений в пространство оригиналов.

Приведенный пример хорошо иллюстрирует и является аналогом преобразований Лапласа и преобразований Фурье.

Смысл указанных преобразований аналогичен логарифмированию. Например, в преобразованиях Лапласа исходная функция времени переводится из пространства оригиналов в пространство изображений при помощи интеграла

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt,$$

где p — оператор Лапласа $\left(p = \frac{d}{dt}\right)$.

Перевод функции из пространства изображений в пространство оригиналов осуществляется при помощи интеграла

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} F_p e^{pt} dp.$$

Величина c выбирается так, чтобы обеспечить сходимость интеграла.

Преобразование Лапласа широко используется при решении дифференциальных и интегральных уравнений. В процессе решения этих уравнений широко используются таблицы преобразований функции, так же как это делается в случае логарифмирования.

Основываясь на методе преобразования функций, решаются задачи анализа переходных процессов в системах управления. В процессе анализа оперируют передаточными функциями.

Под передаточной функцией понимается отношение преобразования Лапласа выходной координаты линейной системы к преобразованию входной координаты при нулевых начальных условиях:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)},$$

где $W(p)$ — передаточная функция; $x(p)$ — преобразование Лапласа входного сигнала; $y(p)$ — преобразование Лапласа выходного сигнала.

Вид передаточной функции может быть получен из дифференциального уравнения системы управления путем замены операции дифференцирования по времени оператором Лапласа p , а операции интегрирования по времени — заменой $1/p$.

Например, если система управления описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dy(t)}{dt} + ay(t) = kx(t),$$

то, произведя замену $\frac{d}{dt}$ на p и переходя к изображениям, получаем

$$py(p) + ay(p) = kx(p).$$

Такое представление дифференциального уравнения называется операционным.

Для нахождения передаточной функции этой системы достаточно произвести несложные алгебраические преобразования. В результате получим

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{k}{p+a}.$$

Кроме метода передаточных функций для анализа систем управления широко используется метод частотных характеристик, который составляет теоретическую базу обобщенного гармонического анализа.

Под *частотной характеристикой* системы понимают отношение комплексных изображений выходной и входной амплитуд в установившемся режиме гармонических колебаний

$$W(j\omega) = \frac{A_2(\omega)}{A_1} e^{j\varphi(\omega)},$$

где A_1 — амплитуда синусоидального входного сигнала; ω — круговая частота; $A_2(\omega)$ — амплитуда колебаний выходной координаты; $\varphi(\omega)$ — сдвиг по фазе синусоидальных колебаний выходной координаты.

Аналитически $W(j\omega)$ можно получить из передаточной функции заменой параметра преобразования Лапласа p на $j\omega$ с последующим выделением модуля комплексного числа и фазового сдвига.

Частотные характеристики систем управления используют при анализе устойчивости, качества переходных процессов и динамической точности, синтеза корректирующих устройств.

Кроме перечисленных при решении управленческих задач широко используются: метод пространства состояний; метод компараментального анализа; информационные методы.

6.4. Вероятностно-статистические методы

Во многих случаях необходимо исследовать не только детерминированные, но и случайные, вероятностные (стохастические) процессы. Обычно технологические процессы выполняются в условиях непрерывно меняющейся обстановки: вынужденные простои машин; неравномерная работа транспорта; непрерывное изменение внешних (например, метеорологических) факторов и т.д. Те или иные события могут произойти или не произойти. В связи с этим приходится анализировать случайные, вероятностные или стохастические связи, в которых каждому аргументу соответствует множество значений функции. Наблюдения показали, что, несмотря на случайный характер связи, рассеивание имеет вполне определенные закономерности. Для таких статистических законов теория вероятностей позволяет представить исход не одного какого-либо события, а средний результат случайных событий и тем точнее, чем больше число анализируемых явлений. Это связано с тем, что, несмотря на случайный характер событий, они подчиняются определенным закономерностям, рассматриваемым в теории вероятностей.

Теория вероятностей изучает случайные события и базируется на следующих основных показателях. Совокупность множества однородных событий случайной величины x составляет первичный статистический материал. Совокупность, содержащая самые различные варианты массового явления, называют *генеральной совокупностью* или большой выборкой N . Обычно изучают лишь часть генеральной совокупности, называемой *выборочной совокупностью* или малой выборкой N_1 . Вероятностью $p(x)$ события x называют отношение числа случаев $N(x)$, которые приводят к наступлению события x к общему числу возможных случаев N :

$$p(x) = N(x)/N. \quad (6.1)$$

Теория вероятностей рассматривает теоретические распределения случайных величин и их характеристики. Математическая статистика занимается спо-

собами обработки и анализа эмпирических событий. Эти две родственные науки составляют единую математическую теорию массовых случайных процессов, широко применяемую в научных исследованиях.

В математической статистике важное значение имеет понятие о частоте события $\bar{y}(x)$, представляющего собой отношение числа случаев $n(x)$, при которых имело место событие к общему числу событий n :

$$\bar{y}(x) = n(x)/n. \quad (6.2)$$

При неограниченном возрастании числа событий частота $y(x)$ стремится к вероятности $p(x)$. Частота $y_{i0} = n(x)/\Sigma n(x)$ характеризует вероятность появлений случайной величины и представляет собой ряд распределения (рис. 6.10), а плавная кривая — закон (функцию) распределения $F(x)$.

Вероятность случайной величины (события) — это количественная оценка возможности ее появления. Достоверное событие имеет вероятность $p=1$, невозможное событие $p=0$. Следовательно, для случайного события $0 \leq p(x) \leq 1$, а сумма вероятностей всех возможных значений

$$\sum_0^n p_i = 1. \quad (6.3)$$

В исследованиях иногда недостаточно знать функцию распределения. Необходимо еще иметь ее характеристики: среднеарифметическое и математическое ожидания, дисперсию, размах ряда распределения.

Пусть среди n событий случайная величина x_i повторяется n_1 раз, величина x_2 — n_2 раза и т.д. Тогда среднеарифметическое значение x имеет вид

$$\bar{x} = \sum_1^n (x_i n_i)/n. \quad (6.4)$$

Размах можно использовать для ориентировочной оценки вариации ряда событий:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (6.5)$$

где x_{\max} , x_{\min} — максимальное и минимальное значения измеренной величины или погрешности.

Если вместо эмпирических частот y_1, \dots, y_n принять их вероятности p_1, \dots, p_n , то это даст важную характери-

стику распределения — математическое ожидание:

$$m(x) = \sum_1^n x_i p_i. \quad (6.6)$$

Пусть, например, имеется пять измерений одной выборки: $x_1=1$; $x_2=2$; $x_3=3$; $x_4=4$; $x_5=5$ с вероятностями $p_1=0,10$; $p_2=0,15$; $p_3=0,45$; $p_4=0,30$; $p_5=0$. В этом случае среднее значение $x=15/5=3,0$, а математическое ожидание составит в соответствии с формулой (6.6) $m(x) = 1 \times 0,10 + 2 \times 0,15 + 3 \times 0,45 + 4 \times 0,30 + 5 \times 0 = 2,95$.

Для непрерывных случайных величин математическое ожидание определяется интегралом

$$m(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x p(x) dx, \quad (6.7)$$

т. е. оно равно действительному значению x_d наблюдаемых событий. Таким образом, если систематические погрешности измерений полностью исключены, то истинное значение измеряемой величины равно математическому ожиданию, а соответствующая ему абсцисса называется *центром распределения*. Площадь, расположенная под кривой распределения (рис. 6.10), соответствует единице вследствие того, что кривая охватывает все результаты измерений. Для одной и той же площади можно построить большое количество кривых распределения, т. е. они могут иметь различное рассеяние. Мерой рассеяния (точности измерений) является дисперсия или среднеквадратичное отклонение. Таким образом, дисперсия характеризует рассеивание случайной величины по отношению к математическому ожиданию и вычисляется с помощью формулы

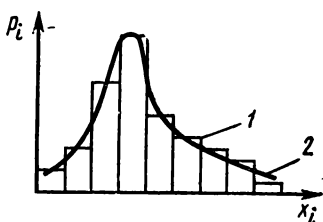


Рис. 6.10. Общий вид распределения случайных величин:

1 — гистограмма; 2 — кривая распределения

$$D(x) = \sum_1^n (x_i - m(x))^2 p_i. \quad (6.8)$$

Для рассмотренного выше примера $D(x) = (1 - 2,95)^2 \cdot 0,10 + (2 - 2,95)^2 \cdot 0,15 + (3 - 2,95)^2 \times 0,45 + (4 - 2,95)^2 \cdot 0,30 + (5 - 2,95)^2 \cdot 0 = 0,83$.

Важной характеристикой теоретической кривой распределения является среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}. \quad (6.9)$$

Коэффициент вариации

$$k_b = \sigma/m(x) \quad (6.10)$$

применяется для сравнения интенсивности рассеяния в различных совокупностях, определяется в относительных единицах ($k_b < 1$).

Выше были рассмотрены основные характеристики теоретической кривой распределения, которые анализирует теория вероятностей. В статистике оперируют с эмпирическими распределениями. Основной задачей статистики является подбор теоретических кривых по имеющемуся эмпирическому закону распределения. Пусть в результате n измерений случайной величины получен ряд ее значений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. При первичной обработке таких рядов их вначале группируют в интервалы и устанавливают для каждого из них частоты y_i и \bar{y}_{0i} . По значениям x_i и \bar{y}_{0i} строят ступенчатую гистограмму частот и вычисляют характеристики эмпирической кривой распределения. Основными характеристиками эмпирического распределения являются среднеарифметическое значение $\bar{x} = \sum_1^n x_i/n$, дисперсия $D = \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2/n$ и среднеквадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{D}$. Значения этих величин соответствуют величинам \bar{x} , $D(x)$ и $\sigma(x)$ теоретического распределения.

В исследованиях наиболее часто применяется закон нормального распределения (рис. 6.11)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{[x - m(x)]^2}{2\sigma^2} \right]. \quad (6.11)$$

Это уравнение соответствует функции нормального распределения при $m(x) \neq 0$ (рис. 6.11, а). Если совместить ось ординат с точкой m , т. е. $m(x) = 0$ (рис. 6.11, б), и принять $\sigma^2 = 1$, то знаки нормального распределения описываются зависимостью

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right), \quad (6.12)$$

если за единицу масштаба принять дисперсию σ^2 .

Для оценки рассеяния обычно пользуются величиной σ . Чем меньше σ , тем меньше рассеяние, т. е. большинство наблюдений мало отличается друг от друга

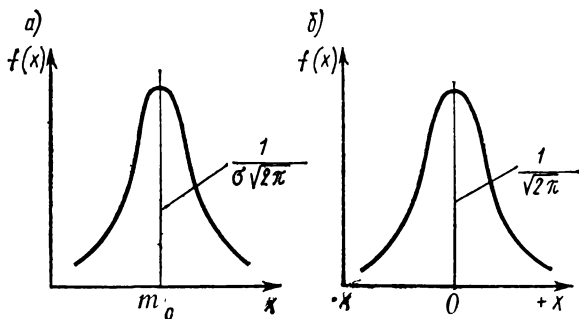


Рис. 6.11. Общий вид кривой нормального распределения:

$a - m(x \neq 0; b - m(x) = 0$

(рис. 6.12). С увеличением σ рассеяние возрастает, вероятность появления больших погрешностей увеличивается, а максимум кривой распределения (ордината, равная $\left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right)$ уменьшается. Поэтому величину $y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ при $\sigma=1$ или $y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$ называют *мерой точности*.

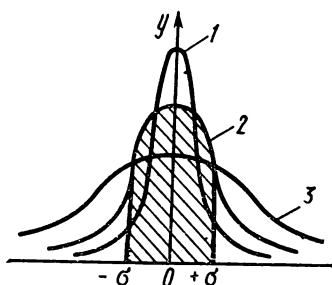


Рис. 6.12. Характер рассеяния кривой нормального распределения:

$1 - \sigma=0,5; 2 - \sigma=1,0; 3 - \sigma=2,0$

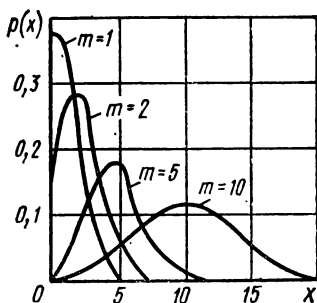


Рис. 6.13. Общий вид кривой распределения Пуассона

Таким образом, чем меньше σ , тем больше сходимость результатов измерений, а ряд измерений более точен, среднеквадратичное отклонение определяет закон распределения. Отклонения $+\sigma$ и $-\sigma$ соответствуют точкам перегиба кривой (заштрихованная площадь на рис. 6.12). Вероятность того, что случайные события не выйдут за эти пределы, составляет 0,683. В общем случае для предела $\pm t\sigma$ вероятность того, что событие x_i попадает в данный предел, вычисляется по распределению Лапласа

$$\Phi(x) = \frac{2}{2\pi} \int_0^t e^{-x_i^2} dx. \quad (6.13)$$

При анализе многих случайных дискретных процессов пользуются распределением Пуассона.

Так, вероятность появления числа событий $x=1, 2, 3, \dots$ в единицу времени определяется законом Пуассона (рис. 6.13) и подсчитывается по формуле

$$p(x) = \frac{m^x}{x!} e^{-m} = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t}, \quad (6.14)$$

где x — число событий за данный отрезок времени t ; λ — плотность, т. е. среднее число событий за единицу времени; λt — число событий за время t , $\lambda t = m$.

Распределение Пуассона относят к редким событиям, т. е. $p(x)$ — вероятность того, что событие в период какого-то испытания произойдет x раз при очень большом числе измерений m . Для закона Пуассона дисперсия равна математическому ожиданию числа наступления события за время t , т. е. $\sigma^2 = m$. Пуассоновский процесс можно задать параметрами x и m .

Например, в процессе наблюдений установлено, что за 5 мин на погрузку под экскаватор в среднем поступает шесть автосамосвалов. Какова вероятность поступления 10 автомобилей за 5 мин?

В этом случае $x=10$, $\lambda t=6$, $p(x) = \frac{\sigma^{10} e^{-6}}{10!} = 0,041$.

Как видно, эта вероятность очень мала.

Для исследования количественных характеристик некоторых процессов (время обслуживания автомобилей на станции технического обслуживания, время отказов машин и изделий, длительность телефонных разговоров и т. д.) можно применять показательный закон распределения (рис. 6.14, а). Плотность вероятности

сти показательного закона выражается зависимостью $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$. Здесь плотность является величиной, обратной математическому ожиданию $\lambda = 1/m(x)$, кроме того, $\sigma^2 = [m(x)]^2$.

В различных областях исследований широко применяется закон распределения Вейбулла (рис. 6.14, б) $f(x) = n\mu^n x^{n-1} e^{-\mu^n x^n}$, где n, μ — параметры закона; x — аргумент (чаще принимаемый как время).

Исследуя процессы, связанные с постепенным снижением параметров (ухудшением свойств материалов во времени, деградация конструкций, процессы старения, износовые отказы в машинах и др.), применяют закон γ -распределения (рис. 6.14, в)

$$f(x) = (\lambda^\alpha / \alpha!) x^{\alpha-1} e^{-\lambda x};$$

где λ, α — параметры. Если $\alpha=1$, γ -функция превращается в показательный закон (см. рис. 6.14, а).

При исследовании многих процессов, связанных с установлением расчетных характеристик, материалов и т. п., используют закон распределения Пирсона (рис. 6.14, г), чаще всего представляемый в виде $f(x) = a e^{dx} \left(1 + \frac{x}{b}\right)^{db}$,

где a — максимальная ордината; d, b — соответственно расстояния от максимальной ординаты до центра распределения C и начала координат O .

Кроме приведенных выше применяют и другие виды распределений, например, Рэля β -распределение, Шарлье, Гудрича.

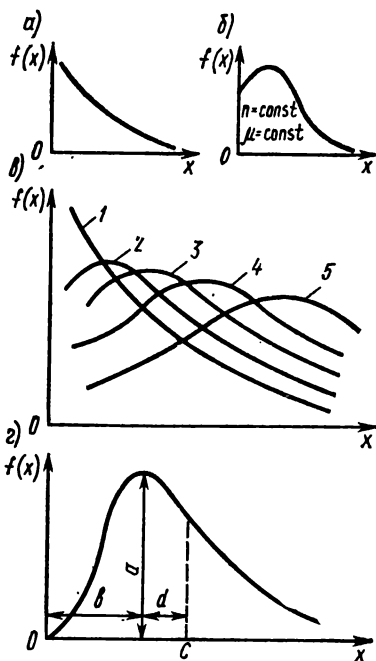


Рис. 6.14. Кривые распределения:

а — показательное; б — Вейбулла; в — γ -распределения (1 — $\alpha=1$; $\lambda=1$; 2 — $\alpha=3$; $\lambda=1$; 3 — $\alpha=4$; $\lambda=1,5$; 4 — $\alpha=5$; $\lambda=2$; 5 — $\alpha=6$; г — Пирсона

При исследовании вероятностных систем широкое распространение получили дисперсионный, регрессионный, корреляционный и спектральный анализы, а также их различные комбинации (например, корреляционно-спектральный анализ).

В исследованиях часто возникает необходимость выявления факторов или их комбинаций, существенно влияющих на исследуемый процесс, так как при измерениях какой-либо величины результаты обычно зависят от многих факторов. Практика показывает, что основными факторами, как правило, являются техническое состояние прибора и внимание оператора. Для установления основных факторов и их влияния на исследуемый процесс используется дисперсионный одно- и многофакторный анализ. Суть однофакторного дисперсионного анализа рассмотрим на примере. Пусть необходимо проверить степень точности группы m приборов и установить, являются ли их систематические ошибки одинаковыми, т. е. изучить влияние одного фактора-прибора на погрешность измерения. Каждым прибором выполнено n измерений одного и того же объекта, а всего nm измерений. Отдельное измерение x_{ij} , где i — номер прибора, имеющий значения от 1 до m ; j — номер выполненного на этом приборе измерения, изменяющийся от 1 до n . Дисперсионный анализ допускает, что отклонения подчиняются нормальному закону распределения, в соответствии с которым вычисляют для каждой серии измерений среднеарифметическое значение и среднюю из показаний первого прибора и т. д. для каждого из n_i измерений и m_i приборов. В результате расчетов устанавливают величину Q_1

$$Q_1 = n \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{x})^2,$$

называемую суммой квадратов отклонений между измерениями серий. Она показывает степень расхождения в систематических погрешностях всех m приборов, т. е. характеризует рассеивание исследуемого фактора между приборами.

Здесь \bar{x}_i — среднеарифметическое для n измерений; \bar{x} — среднеарифметическое для всех серий измерений, т. е. общее среднее значение.

Определяется также величина Q_2 по формуле

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2,$$

где x_{ij} — отдельное i -е измерение на j -м приборе.

Величину Q_2 называют суммой квадратов отклонений внутри серии. Она характеризует остаточное рассеивание случайных погрешностей одного прибора.

При таком анализе допускается, что центры нормальных распределений случайных величин равны (или равны с определенной степенью точности), в связи с чем все mn измерения можно рассматривать как выборку из одной и той же нормальной совокупности. Чтобы убедиться в возможности такого допущения, вычисляют критерий

$$J = \frac{Q_1/(m-1)}{Q_2/m(n-1)},$$

числитель и знаменатель которого представляют собой дисперсии σ^2 для m и nm наблюдений. В зависимости от значений $k_1 = m-1$ и $k_2 = m(n-1)$ числа степеней свободы и вероятности p (например, 0,95; 0,99 и др.) составлены табличные значения J_T . Если $J \leq J_T$, то считается, что в данном примере все приборы имеют одинаковые (допустимые) систематические ошибки.

Дисперсионный анализ является многофакторным, если он имеет два фактора и более. Суть его принципиально не отличается от однофакторного, но существенно увеличивается количество расчетов.

Методы теории вероятностей и математической статистики часто применяются в теории надежности, широко используемой в различных отраслях науки и техники. Под надежностью понимают свойство изделия (объекта) выполнять заданные функции (сохранять установленные эксплуатационные показатели) в течение требуемого периода времени. Обеспечение надежности (исключение отказов, нарушений работоспособности) продукции стало одной из основных народнохозяйственных задач. В теории надежности отказы рассматривают как случайные события. Для количественного описания отказов применяются математические модели — функции распределения вероятностей интервалов времени. Наиболее часто применяются законы нормального и экспоненциального распределения, закон Вейбулла и некоторые другие.

Основной задачей теории надежности является прогнозирование (предсказание с той или иной вероятностью) различных показателей безотказной работы (долговечности, срока службы и т. д.), что связано с нахождением вероятностей.

Для исследования сложных процессов вероятностного характера применяют метод Монте - Карло, с помощью которого отыскивается наилучшее решение из множества рассматриваемых вариантов. Этот метод статистического моделирования или статистических испытаний основан на использовании случайных чисел, моделирующих вероятностные процессы. Результаты решения метода позволяют установить эмпирические зависимости исследуемых процессов. Математической основой метода является закон больших чисел, разработанный П. Л. Чебышевым, который формулируется так: при большом числе статистических испытаний вероятность того, что среднеарифметическое значение случайной величины стремится к ее математическому ожиданию, равна 1, т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p \left\{ \left| \frac{\sum x_i}{n} - m(x) \right| < \varepsilon \right\} \rightarrow 1,$$

где ε — любое малое положительное число.

Из этой формулы видно, что по мере увеличения числа испытаний n среднеарифметическое неограниченно (асимптотически) приближается к математическому ожиданию.

Последовательность решения задач методом Монте-Карло сводится к сбору, обработке и анализу статистических наблюдений исследуемого процесса: отбору главных, отбрасыванию второстепенных факторов и составлению адекватной математической модели (уравнений, графиков, циклограмм и т. д.); составлению алгоритмов и решению задачи на ЭВМ.

Для решения задач методом Монте-Карло необходимо иметь статистический ряд, знать закон его распределения, среднее значение \bar{x} и математическое ожидание $m(\bar{x})$, среднеквадратичное отклонение. С помощью метода можно получить сколько угодно заданную точность решения, т. е. $\bar{x} \rightarrow m(x)$. При нормальном законе распределения точность результатов, полученных методом Монте-Карло, оценивается по формуле $p |\bar{x} - m(x)| < \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$.

Пусть, например, по условию задачи задана допустимая ошибка ε_D . Если при имеющемся числе ряда n_1 и σ_1 ошибка ε_{D_1} окажется больше, чем ε_D , то необходимо увеличить число испытаний до n_2 и вычислить новое значение ошибки ε_{D_2} и т. д., пока не будет соблюдаться условие $\varepsilon_{D_j} \leq \varepsilon_D$ (j — число испытаний). Следует при этом подчеркнуть, что решение задач методом Монте-Карло эффективно лишь с использованием быстродействующих ЭВМ.

При исследованиях процессов и объектов в последнее время стали применять методы, основанные на теории массового обслуживания (ТМО), в целях отыскания условия наибольшей эффективности работы системы «требование — обслуживание». Под обслуживанием понимают удовлетворение какой-либо заявки. Таким образом, в ТМО система состоит из числа (потока) требований, обслуживающего прибора (аппарата) и выходящего потока. В зависимости от условий функционирования системы число требований создает очередь на обслуживание.

Основными характеристиками ТМО являются: интенсивность поступления требований или заявок на обслуживание λ ; интенсивность обслуживания (пропускная способность прибора обслуживания) μ ; коэффициент использования системы $\varphi = \lambda/\mu$; время ожидания в очереди до обслуживания t_0 ; длительность обслуживания t_1 ; время обслуживания в системе t_{06} ; число требований в очереди n ; математическое ожидание числа требований в системе n_c . Эти характеристики имеют следующие соотношения: $t_1 = 1/\mu$; $t_{06} = \bar{t}_0 + \bar{t}_1$; $n = n_c \varphi$; $\bar{t}_0 = n/\lambda$.

Знак «—» означает, что при расчете принимаются средние случайные значения λ , t_0 , t_1 , t_{06} , n . Распределение времени обслуживания по длительности чаще всего выражается показательным законом.

В ТМО интенсивность обслуживания всегда выше интенсивности требования, т. е. $\varphi < 1$. Тем не менее, несмотря на то, что $\mu > \lambda$, возникают очереди на обслуживание, поскольку t_{06} по ряду причин величина переменная, а интервал между обслуживанием неритмичен. Задачей ТМО в конечном счете является установление наиболее достоверных зависимостей между интенсивностью потока требований и производительностью (пропускной способностью, количеством и эффективностью обслужива-

ния) системы. Показателями эффективности функционирования системы могут быть t_0 , t_1 , $t_{об}$, приведенная стоимость и др.

Теория массового обслуживания базируется на анализе случайных процессов. При решении тех или иных практических задач в каждом случае должны приниматься индивидуальные решения.

Для оптимизации различных процессов используются методы теории игр, которая рассматривает развитие процессов в зависимости от случайных ситуаций. Теорию игр можно назвать математической теорией конфликтов, связанных с тем, что интересы двух сторон не совпадают. Примером конфликтной ситуации являются, например, спортивные игры. Как правило, теория игр рассматривает конфликтные ситуации при частичном или полном отсутствии данных об обстановке. Поэтому могут быть и случайные ходы, эффект от которых можно оценить в среднем математическим ожиданием. Методы теории игр применяются также не только при исследовании действительно конфликтных ситуаций, но и при решении таких задач, в которых в качестве «противника» выступает, например, природа. Такие задачи обычно возникают при строительстве различных сооружений, в сельском хозяйстве, метеорологии и др. С помощью теории игр можно оценивать наиболее благоприятные и неблагоприятные ситуации и на их основе принимать оптимальное для данных условий решение.

При анализе математического результата, полученного в результате теоретического исследования, часто ставятся задачи оптимизации исследуемых процессов, для чего используются методы оптимизации с математическим программированием: аналитические, градиентные, автоматические с самонастраивающимися моделями.

Оптимизация аналитическими методами состоит в определении экстремального значения некоторой функции $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в области значений параметров x_1, x_2, \dots, x_n . Однако при оптимизации сложных реальных процессов классические аналитические методы используются редко и вместо них применяется метод наискорейшего (градиентного) спуска и подъема. Суть метода можно понять из следующего примера. Допустим, что необходимо найти экстремум целевой функции $f(x_1, x_2)$, описывающей некоторую поверхность (рис. 6.15). Для нахождения экстремума выбирается любая точка поверхности $A_0(x_{01}, x_{02})$, затем определяется наиболее крутое

направление подъема или спуска, которое называют градиентом и обозначают \vec{g} . По направлению градиента начинается движение с шагом $c\vec{g}$ к оптимуму (c — постоянная величина, зависящая от точности измерения). В результате достигается новая точка $A_1 (x_{11}, x_{22})$, в которой повторяют описанную процедуру до тех пор, пока не определится точка с действительным экстремумом.

На практике встречаются задачи оптимизации, когда при нахождении экстремума целевая функция f и граничные уравнения ее области оказываются линейными. При решении задачи такого класса чаще всего применяются методы линейного программирования, заключающиеся в нахождении экстремума критерия оптимальности в задачах с линейными уравнениями. Целевая функция в таких случаях выражается в виде суммы $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \min(\max)$. Ограничения задаются в виде линейных неравенств

$$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{im} x_m \geq b_i;$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где a_{ij} , b_i , c_i — константы; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ — независимые переменные.

В настоящее время задачи линейного программирования изучены достаточно полно и для многих из них имеются стандартные программы для ЭВМ.

В некоторых случаях приходится использовать нелинейное программирование. Целевая функция в таких случаях записывается в виде суммы линейных слагаемых

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_j x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_i x_j.$$

Среди задач нелинейного программирования встречаются и такие, в которых ограничения не имеют дискретных переменных. В них функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ непрерывные и выражаются частными производными. Эти задачи

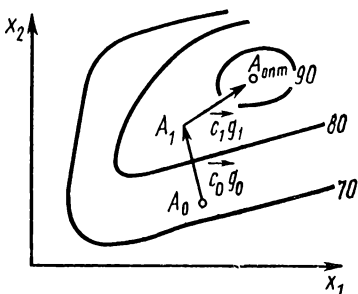


Рис. 6.15. Схема движения к оптимуму по градиенту (крутое выходение)

иногда называют классическими задачами оптимизации, поскольку решаются классическими методами на основе дифференциального исчисления.

Среди задач нелинейного программирования встречаются задачи целочисленного линейного программирования. В этом случае в качестве ограничений выставляется особое требование о целостности переменных значений. Задача представляется в виде суммы

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где $x_j \geq 0$, $j = 1, 2, \dots, n$ — целые числа.

Решение большого количества технических задач методами линейного и нелинейного программирования обеспечивает определенный экономический эффект.

Некоторые производственные процессы непрерывно изменяются. К числу таких могут быть отнесены процессы управления производством. В связи с изменением условий производства приходится рассматривать все новые ситуации. Решение таких практических задач с учетом различных ситуационных изменений можно осуществить с помощью метода динамического программирования.

Динамическое программирование («динамическое планирование») представляет собой математический метод оптимизации решений, специально приспособленный к многошаговым (или многоэтапным) операциям. Пусть, например, какая-то исследуемая операция представляет собой процесс, развивающийся во времени и распадающийся на ряд «шагов» или «этапов». Некоторые операции расчленяются на шаги естественно (например, при планировании хозяйственной деятельности — хозяйственный год), в других операциях разделение на шаги приходится вводить искусственно (например, подъем температуры, изотермическая выдержка, остывание).

В основу задач динамического программирования положены принципы оптимального управления процессом в соответствии с заданной целью и состоянием системы в рассматриваемый период времени независимо от изменившихся условий, которые привели систему в данное состояние.

Целевая функция выражается в таких случаях суммой

$$\omega = \sum_{k=0}^{N-1} f_0[x(k), u(k)] = \max(\min),$$

где N — общее число интервалов (шагов); $u(k)$ — управляющие воздействия; $x(k)$ — значение координаты в дискретные моменты времени t .

При оптимальном управлении данный функционал должен быть минимизирован (или максимизирован). Оптимальный процесс станет известен, если будут найдены соответствующие значения управляющего воздействия u_0, u_1, \dots, u_{N-1} во все дискретные моменты времени $k=0, 1, \dots, N-1$, имеющие определенные ограничения. Чтобы решить задачу динамического программирования, необходимо отыскать минимум (максимум) сложной дискретной функции большого количества переменных. Метод динамического программирования сводит эту задачу к минимизации простых функций в обратном порядке — от конца к началу процесса.

Для оптимизации процесса методами линейного или динамического программирования нет стандартных решений. В каждом конкретном случае применяют свой метод.

Следует иметь в виду, что при решении задач оптимизации могут возникнуть случаи, когда вследствие оптимизации какого-либо одного процесса ухудшится другой. Поэтому при оптимизации необходимо соблюдать так называемую комплексность решения, при которой испытываются все особенности процесса.

Рассматривая задачу по этапам, необходимо оценивать обстановку в целом, которая может меняться в результате оптимизации исследуемого процесса.

Выше были отмечены особенности лишь некоторых математических методов теоретических исследований. Детальное их изучение и получение практического опыта применения возможно путем ознакомления со специальной литературой в зависимости от профиля исследования.

ГЛАВА VII

МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУЧНОМ И ТЕХНИЧЕСКОМ ТВОРЧЕСТВЕ

7.1. Подобие и моделирование в научных исследованиях

Методы теории подобия и моделирования широко применяются в различных научных исследованиях.

Моделирование можно определить как метод практического или теоретического опосредованного оперирования объектом. При этом исследуется не сам объект, а промежуточный вспомогательный, находящийся в некотором объективном соответствии с самим познаваемым объектом и способный на отдельных этапах познания представлять в определенных отношениях изучаемый объект¹, а также давать по исследованию модели информацию об объекте.

При моделировании важна та помощь, которую оно оказывает при вскрытии качественных и количественных свойств явлений одинаковой физической природы и явлений, разнородных по своей физической сущности. В природе вследствие ее материального единства имеются некоторые общие соотношения и простейшие формы, что позволяет делать широкие практические обобщения, в ряде случаев отвлекаясь в процессе познания от деталей происходящих явлений. Таким образом, при моделировании всегда должны присутствовать некоторые соотношения, устанавливающие условия перехода от модели к исследуемому объекту (оригиналу). Такие соотношения носят название масштабов². Моделирование включает научные исследования, направленные на решение как общеполитических и общенаучных проблем (первый аспект), так и на решение конкретных научно-технических задач (второй аспект), где моделирование выступает как инструмент исследования. Приемы анализа и аппарат решения при этом различны, но метод одинаково требует установления критериев подобия, т. е.

¹ См.: *Кирпичев М. В.* Теория подобия. М., Изд-во АН СССР, 1953; *Веников В. А., Веников Г. В.* Теория подобия и моделирования. М., 1984; *Подчуфаров Ю. Б., Мозонечков В. А.* Физическое моделирование системы автоматического моделирования. Тула, 1984; *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Моделирование систем. М., 1985; *Копылов И. П.* Математическое моделирование электрических машин. М., 1987; *Краснощекоев П. С.* Математические модели в исследовании операций. М., 1984.

² Масштабы не устанавливаются, когда под моделированием в его чисто математическом аспекте понимают только установление некоей совокупности соотношений (например, формул, уравнений, неравенств, логических условий и т. д.), определяющих характеристики состояния системы. Соотношения эти могут быть представлены в виде явных функций от параметров системы, входных сигналов начальных условий и времени.

В ряде случаев рассматривается математическая модель, представляющая собой совокупность каких-либо уравнений. При этом под моделированием понимают именно технику составления и решения уравнений, что выходит за рамки настоящей работы.

словесной или математической формулировки тех условий, при которых модель может считаться закономерно отражающей (в том или ином смысле) оригинал.

Подобие явлений, характеризующееся соответствием (в частном случае пропорциональностью) величин, участвующих в изучаемых явлениях, происходящих в оригиналах и в моделях, по степени соответствия параметров модели и оригинала может быть трех видов.

Абсолютное подобие, требующее полного тождества состояний или явлений в пространстве и времени, представляет собой абстрактное понятие, реализуемое только умозрительно.

Полное подобие — подобие тех процессов, протекающих во времени и пространстве, которые достаточно полно для целей данного исследования определяют изучаемое явление. Например, можно считать, что синхронный генератор имеет полное электромеханическое подобие другому генератору, если все процессы изменений токов, напряжений, вращающих моментов на валу, изменение во времени и пространстве распределения магнитных и электрических полей отличаются в этих генераторах только масштабами. При этом нагрев или механические напряжения в отдельных деталях генератора могут быть неподобными, так как они не оказывают существенного влияния на подлежащие исследованию электромеханические явления. Однако они могут быть наиболее существенными при исследовании тепломеханических процессов и т. д.

Неполное подобие связано с изучением процессов только во времени или только в пространстве. Так, электромеханические процессы в синхронном генераторе могут быть подобны во времени, без соблюдения геометрического подобия полей внутри машины.

Приближенное подобие реализуется при некоторых упрощающих допущениях, приводящих к искажениям, заранее оцениваемым количественно.

С точки зрения адекватности физической природы модели и оригинала моделирование может быть *физическое*, осуществляемое при одинаковой физической природе изучаемых явлений; *аналоговое*, требующее соответствия в том или ином смысле параметров сравниваемых процессов. Например, одинаковой формы уравнений, описывающих физически разнородные явления: *математическое*, предусматривающее формальные преобразова-

ния уравнений, облегчающие их решение. Так, если дифференциальное уравнение (А), описывающее физический процесс, преобразовано в уравнение (В), то, установив соответствующие функциональные связи, можно рассматривать А и В в качестве подобных процессов. Условия нелинейного подобия могут быть найдены для систем, параметры которых различно зависят от параметров режима.

Теоремы о подобии. Все перечисленные выше виды подобия подчиняются некоторым общим закономерностям, которые принято называть теоремами о подобии. Этих теорем три. Первая и вторая получены, исходя из предположения, что речь идет о явлениях, подобие которых заранее известно. Они устанавливают соотношения между параметрами заведомо подобных явлений, не указывая способов определения подобия между явлениями и путем реализации подобия при построении моделей. Ответ на последний вопрос дает третья теорема. Она определяет условия, необходимые и достаточные для того, чтобы явления оказались подобными.

Первая теорема подобия. У явлений, подобных в том или ином смысле (физически, математически и т. д.), можно найти определенные сочетания параметров, называемые критериями подобия, имеющими одинаковые (численно или по функциональным проявлениям) значения. Следует заметить, что справедливо и обратное положение: если критерии подобия численно одинаковы, то явления подобны.

Рассмотрим различные применения первой теоремы: случай подобных процессов, описываемых однородными уравнениями

$$y_j^1/y_n^1 = y_j^2/y_n^2 = \dots = y_j^s/y_n^s, \quad (7.1)$$

где 1, 2, ..., s — номера процесса; y_j , y_n — параметры соответственно модели и объекта. Индексы, характеризующие номер процесса, можно опустить и записать (7.1) в более общем виде:

$$\pi_j = y_j/y_n = \text{idem}, \quad (7.2)$$

где idem означает «соответственно одинаково для всех рассмотренных процессов»; π — критерии подобия.

Критерии подобия любого явления могут преобразовываться в критерии другой формы с помощью операций умножения или деления ранее найденных критериев друг на друга. Так, если какие-либо критерии $\pi_R = \text{idem}$

и $\pi_{k+j} = \text{idem}$, то $\pi_R \pi_{k+j} = \text{idem}$; $\pi_R / \pi_{R+j} = \text{idem}$; $1/\pi_R = \text{idem}$; $R\pi_R = \text{idem}$, где R — любая постоянная величина.

Если уравнения процесса характеризуют его протекание во времени и пространстве с доступной и необходимой для данного исследования полнотой, то в этом случае условия (7.2) — критерии полного подобия. Если уравнения характеризуют протекание процесса или только во времени, или только в пространстве, то (7.2) — критерии неполного подобия. Наконец, если исходные уравнения перед определением критериев будут упрощены, в них будут отброшены какие-то заведомо влияющие факторы и т. д., то найденные из них критерии (7.2) будут называться критериями приближенного подобия.

В табл. 7.1...7.4 приведены критерии подобия для некоторых наиболее характерных процессов.

В случае подобных процессов, описываемых уравнениями с неоднородными функциями (трансцендентные, сложные и т. д.), аргументы неоднородных функций должны быть равны, так как они в этом случае являются критериями подобия¹. Так, например, если в функциях $y_i = R \sin axu$; $\varphi = R \sin Axy$ выполняется условие $y_i \neq \varphi_i$, то подобие процессов характеризуется равенством $axu = Axy$. Возможны условно подобные процессы, подобие которых выполняется при введении переменных масштабов (квазиподобие).

Первая теорема о подобии справедлива и в более сложных случаях, когда уравнения процессов на первый взгляд неодинаковы, но введение переменных масштабов параметров времени или пространства дает возможность установить соответствие между оригиналом и моделью. Возможны, например, два случая подобия: обычное геометрическое, когда куб преобразуется в подобный куб (другого размера), и так называемое аффинное, когда куб преобразуется в параллелепипед. Могут реализовываться и более сложные преобразования, например, когда шар (глобус) представляется в виде плоскостной модели (карты); это — конформное преобразование.

Вторая теорема подобия. Всякое полное уравнение физического процесса, записанное в определенной системе единиц, может быть представлено в виде зависимости между безразмерными соотношениями из входящих

¹ Если аргумент неоднородной функции — сумма, то каждый из членов этой суммы представляет собой критерий подобия.

Критерии механического и гидродинамического подобия

Критерий	Формульное выражение
Ньютона	$Fl^2/Ml = [Ne]$
Гомохронности, характеризующей однородность процессов во времени	$vt/l = [Ho]$
Фруда	$v^2/ql = [Fr]$
Эйлера	$\rho/\rho v^2 = [Eu]$
Рейнольдса, характеризует процессы в несжимаемой жидкости	$\rho v/\mu_0 = [Re]$
Архимеда, характеризует процессы движения жидкости при различной ее плотности	$\frac{gl^3}{\gamma_0^2} \frac{\rho - \rho}{\rho} = [Ar]$
Законы подобия гидротурбины	$P^{op} = P^m \left(\frac{D^{cp}}{D^m} \right) \sqrt{\left(\frac{H^{op}}{H^m} \right)^3},$ $n^{op} = n^m \left(\frac{D^m}{D^{op}} \right) \sqrt{\frac{H^{op}}{H^m}},$ $M_{мех}^{op} = M_{мех}^m \left(\frac{D^{op}}{D^m} \right)^3 \frac{H^{op}}{H^m}.$

t — время;
 M — масса;
 l — геометрический размер;
 v — скорость;
 g — ускорение силы тя-
 жести;
 p — сила, давление;

ρ — плотность жидкости;
 μ_0 — вязкость;
 γ_0 — коэффициент кинемати-
 ческой вязкости;
 P — мощность турбины;
 D — диаметр;
 H — напор;
 $M_{мех}$ — механический момент.

в уравнение параметров, которые и есть критерии подобия.

Теорема указывает на возможность своего рода замены переменных и сокращения их числа с m размерных до n безразмерных величин, с переходом к критериальному уравнению. Таким образом, упрощается обработка аналитических и экспериментальных исследований, так как связь между безразмерными критериями подобия π чаще всего проще. Но не только этим определяется зна-

Критерии электрического подобия

Общие критерии	Формульное выражение
Подобия электромагнитных явлений	$\pi_1 = \frac{\mu \gamma l^2}{t} = \text{idem};$
	$\pi_2 = \varepsilon / \gamma t = \text{idem}$
Гомохронности	$[H_0] = \omega t = \text{idem}$
Подобия процессов при нелинейных магнитных материалах (идентичность относительных характеристик)	$\mu_* = \mu / \mu_K = f(H / H_K) = \text{idem}$
Подобие цепей	$\pi_* L_a = L_a / R_a t = \text{idem}$
	$\pi_* c_a = c_a / G t = \text{idem}$
Подобие цепей с взаимной индукцией при одинаковом масштабе токов во взаимосвязанных цепях	$\pi_{*ab} = M_{ab}^2 / L_a L_b = \text{idem}$
Электродинамическое подобие	$\pi = M_{ab}^2 / R_a R_b t^2 = \text{idem}$
Подобие цепей с взаимной индукцией при разном масштабе токов во взаимосвязанных цепях	$T_{*j} = \frac{T_j}{t} = \text{idem}$
	$T_{*ab} = M_{ab} / R_a t = \text{idem}$
	$T_{*ab} = M_{ab} / R_b t = \text{idem}$

μ — коэффициент магнитной проницаемости;

γ — проводимость, удельная среда;

l — геометрический размер;

t — время;

ε — диэлектрическая постоянная;

ω — угловая скорость: $\omega = 2\pi f$;

f — частота;

H_K — напряженность поля в точке K ;

L — индуктивность цепи;

R — омическое сопротивление;

C — емкость;

G — проводимость на единицу длины электрической линии;

M — взаимоиндуктивность;

T — постоянная времени.

чение теоремы. Весьма существенно, что переход к безразмерным соотношениям позволяет распространить результаты исследования, проведенного применительно к конкретному явлению, на ряд подобных явлений.

Пусть, например, какой-то процесс описывается линейным дифференциальным уравнением третьего порядка

Критерии электрического подобия

Критерий	Формульное выражение
Дополнительные условия подобия систем с распределенными параметрами	$R_0 G_0 l^2 = \text{idem}$
Приближенного электромагнитного и электродинамического подобия	$T_1 = T_2 = \text{idem}$
Намагничивания ферромагнитных тел	$l \sqrt{\gamma \mu' \omega} = \text{idem}$
Электромагнитного подобия движущейся среды	$\lambda \mu v / t^{-2} = \text{idem}$

Таблица 7.4

Критерии теплового подобия

Критерий	Формульное выражение
Фурье	$at/l^2 = \text{idem} = [Fo]$ (здесь $a = \lambda/c_p \xi$ — коэффициент температуропроводности; λ — коэффициент теплопроводности; c_p — коэффициент теплоемкости; ξ — удельный вес)
Пекле (для движущейся жидкости с заданным тепловым состоянием)	$vl/a = \text{idem} = [Pe]$
Нуссельта	$al/\lambda = \text{idem} = [Nu]$
Кирпичева	$Rl/\lambda = \text{idem} = [Ki]$
Прандтля	(здесь R — коэффициент теплопередачи) $\gamma_0/a = \text{idem} [Pr]$

$$A_3 \frac{d^3 \varphi}{dt^3} + A_2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + A_1 \frac{d\varphi}{dt} + A_0 \varphi = 0,$$

где t — время; $A_3(c^3)$; $A_2(c^2)$; $A_1(c)$ — коэффициенты, имеющие постоянные значения и размерности и A_0 — безразмерный.

Путем введения подстановкой $t = q\tau$ безразмерного времени τ уравнение можно привести к безразмерному

виду

$$\frac{d^3 \varphi}{d\tau^3} + \chi \frac{d^2 \varphi}{d\tau^2} + \xi \frac{d\varphi}{d\tau} + \varphi = 0,$$

где

$$\chi = (A_2/A_3) \sqrt{A_0/A_3} \quad \text{и} \quad \xi = (A_1/A_3)^3 \sqrt{(A_0/A_3)^3}$$

— безразмерные коэффициенты (критерии подобия) функциональных зависимостей $\varphi = f(\tau)$.

Третья теорема подобия. Необходимыми и достаточными условиями подобия являются пропорциональность сходственных параметров, входящих в условия однозначности, и равенство критериев подобия изучаемого явления.

Три общие теоремы о подобии дополняются положениями, оказавшимися весьма существенными при решении многих практических задач.

Однако к теоремам подобия имеется ряд дополнительных положений, которыми необходимо руководствоваться при моделировании.

Дополнительные положения: 1. Подобие сложных систем, состоящих из нескольких подсистем, соответственно подобных в отдельности, обеспечивается подобием всех сходственных элементов, являющихся общими для подсистем. Как следствие этого положения утверждается, что подобные сложные системы остаются подобными после любых упрощений, если только эти упрощения были проведены в системах соответственно одинаково.

2. Все теоремы и условия подобия, справедливые для систем различной сложности, могут быть распределены на нелинейные системы, или системы с переменными параметрами, если выполняются условия совпадения относительных характеристик, сходственных параметров, являющихся нелинейными или переменными¹.

3. Условия подобия, справедливые для изотропных систем, которые характеризуются одинаковостью физических свойств (электропроводность, теплопроводность, упругость и т. п.) по всем координатам внутри данной

¹ Возможны нелинейные пространственные преобразования, в частности переход от одной области пространства y_1 , ограниченной поверхностью π_1 , к другой области y_2 , ограниченной поверхностью π_2 . Эти области нелинейно подобны, если каждой точке x_1 поверхности π_1 можно с помощью преобразования найти соответствующую точку x_2 поверхности π_2 .

системы, могут быть распространены и на анизотропные системы, имеющие неодинаковые свойства по различным направлениям. При этом относительные анизотропии в сравниваемых системах должны быть соответственно одинаковы.

4. В системах, геометрически не подобных, но имеющих нелинейное подобие пространства, процессы могут быть физически подобны, имея в сходственных точках пространства подобные изменения параметров процесса¹.

5. Все условия подобия, относящиеся к детерминированно заданным системам, справедливы для стохастически определенных систем при условии совпадения у этих систем плотностей вероятностей сходственных параметров, представленных в виде относительных характеристик. При этом дисперсии и математические ожидания всех параметров с учетом масштабов должны быть у подобных систем одинаковыми. Дополнительным условием подобия является выполнение требования физической реализуемости сходственной корреляции между стохастически заданными параметрами, входящими в условие однозначности.

7.2. Виды моделей

Теория подобия и моделирования, являющаяся, в сущности, теорией постановки и обработки проводимых экспериментальных и аналитических исследований, способна в значительной мере разрешить многие возникающие при этом трудности. Однако подобие и моделирование не могут становиться и не стали отдельной (специальной наукой, хотя в гносеологическом плане выделяют некоторые общие свойства, присущие всем моделям. Эти свойства заключаются в наличии некоторой структуры статической и динамической, которая подобна или рассматривается в качестве подобной структуры другой системы. Любая модель, таким образом, это естественный или искусственный объект, находящийся в соответствии

¹ Здесь различаются два случая; нелинейные пространственные преобразования, при которых нелинейное подобие какого-либо явления другому явлению означает нелинейно подобное преобразование величин, характеризующих первое явление; второй случай относится к преобразованию переменных полей в нелинейных пространствах при нелинейной гомохронности (нелинейных временных соотношениях).

с изучаемым объектом или какой-либо из его сторон. В процессе изучения модель служит относительно самостоятельным «квазиобъектом», позволяющим получить при его исследовании некоторые знания о самом изучаемом объекте. Модели всех видов постепенно приобретают все большее значение, позволяя проводить научные исследования различных процессов, уточнять теорию работы различных установок, проверять выводы и получать более полное и наглядное представление, чем это можно было бы сделать только на основании расчета. Модели имеют большое значение с точки зрения обучения, позволяя неоднократно воспроизводить аварийные режимы машин, аппаратов и систем, изучая при этом их в ускоренном времени, необходимом для получения нужного опыта. Модели обеспечивают обработку психологической совместимости новых машин, аппаратов и систем, и человека.

Концептуальные модели предполагают разработку и использование моделей, формируемых наблюдением в процессе обучения и наблюдения за объектом во время его функционирования. Модели позволяют оценивать значимость свойств целостности, выявлять свойства системы и приходить в некоторое состояние, определяемое ее собственной структурой. Иногда выделяют **логические модели**, которые строятся с помощью аппарата математической логики, а формальное построение используется далее для содержательной их интерпретации.

Кибернетические модели основываются на получении соотношений между входными и выходными функциями для некоего черного или серого ящика, представляющего изучаемое явление, без раскрытия его внутренней структуры.

Квазианалоговые модели и электронные модели занимаются синтезом цепей, являющихся моделями различных объектов, имеют особенно большое значение в настоящее время при решении задач, возникающих при проектировании и эксплуатации больших систем технического назначения.

Электронное моделирование позволяет успешно решать задачи объектов и явлений путем создания модели из комбинированных операционных блоков и проведения синтеза моделей. Набор универсальных комбинационных операционных блоков позволяет создавать универсальные и специализированные аналоговые

машины (АВМ), связанные с универсальными цифровыми вычислительными машинами (ЭВМ)¹.

В последнее время много внимания уделяется задачам синтеза в отличие от задач анализа. Синтез требует не просто определения характера процесса при заданных его начальных условиях, но определения таких воздействий на систему (и такое ее моделирование), при которых удалось бы выявить характер и величину воздействий, обеспечивающих в данной системе такой характер процессов, который желательно придать процессам в проектируемой или уже функционирующей системе.

Модель открывает большие возможности проверять предпосылки различных соотношений и допущений, принятых при математическом описании различных процессов, возникающих в аварийных условиях, и воспроизводить все действия персонала в условиях, близких к естественным, необходимых для устранения аварийных ситуаций, т. е. осуществить психологическое моделирование операций. Подобие и моделирование не только не находятся в противоречии с аналитическими методами, применяющими цифровые вычислительные машины, но, напротив, подкрепляют их, обеспечивая проверку аналитических методов, способствуя уверенности в их применениях.

7.3. Организация и обработка результатов эксперимента в критериальной форме

Огромные скорости вычислений современных цифровых вычислительных машин обеспечивают быстроту аналитических решений. Однако при ошибках физического или формального характера цифровая машина может выдать столь же быстро и уверенно неправильное решение. Поэтому особое значение приобретает апробация программ для вычислительных машин с точки зрения корректности заложенных в них физических положений и правильности неизбежных упрощений. Эта проверка должна проводиться на основе методов подобия и моделирования.

¹ Устройства, предназначенные для решения систем дифференциальных и дифференциально-разностных уравнений, получили название неалгоритмических, поскольку они на каждом шаге процесса работают неалгоритмически, в то время как весь процесс определяется как некая последовательность работы этих устройств.

Роль эксперимента, а вместе с этим и моделирования, увеличивается с развитием и совершенствованием цифровых вычислительных машин. Эксперимент является не только путем непосредственного решения тех или иных научно-технических задач, но и помогает находить наилучшее средство аналитического решения.

Модели различных видов и различного рода (физические, аналоговые и математические) должны применяться совместно и одновременно с цифровыми вычислительными машинами при исследовании работы различных технических систем, анализе развития и управления их функционированием, т. е. во всех отраслях научных и научно-технических знаний обращается внимание на создание физико-цифроаналоговых комплексов, обеспечивающих единый многоаспектный подход к исследованию. Оценку достоверности любого исследования, в том числе и с применением моделирования, дает эксперимент, проведенный по специальной программе. Критериальная программа проведения экспериментов (мысленных, математических или физических) дает оценку результата, распространяющуюся на класс явлений (а не только на единичные явления) в виде обобщенной критериальной зависимости, и позволяет отсеять влияние посторонних, случайных факторов. Особенно удачно решаются задачи, возникающие при изучении различных сложных систем и связанные с нахождением совокупности варьируемых факторов, при которых целевая функция экстремальна. Методы планирования эксперимента позволяют решить эту задачу с минимальным числом опытов при надежной статистической интерпретации на каждом этапе. Преимущества направленного эксперимента, обрабатываемого в критериальной форме, вообще велики и существенны также при квазианалоговом электронном моделировании, при всех разновидностях математического моделирования.

Следует обращать внимание на возможность отыскания функций правдоподобия, т. е. определенной математической формы, помогающей характеризовать результаты эксперимента, проводимого как в натуре, так и на любых, в том числе квазианалоговых, моделях. Сочетание теории планирования эксперимента и теории подобия позволяет ввести понятие «критериальная функция отклика». Здесь, однако, в отличие от теории планирования эксперимента вариации выполняются не в отдельных величинах, а в критериальных соотношениях. Тако-

го рода соотношения позволяют сразу получать области целесообразных параметров. Эти области, представленные в виде пространств, будут особенно важны при исследованиях сложных систем, проводимых на квазианалоговых электронных и других моделях. Решая задачи оптимизации, находят области, где имеются тенденции к определенному минимуму изменения целевой функции. При изучении больших систем моделирование выступает как мощное средство непосредственной связи теории и опыта, как инструмент проверки практикой создаваемых теорий и расчетов метода, как средство ускорения испытания надежности, проверки вновь конструируемой аппаратуры.

Для использования моделирования в технических, инженерных задачах существенное значение имеет *автоматизация получения критериев подобия* с помощью вычислительных машин. Далее моделирование должно развиваться при сочетании методов теории подобия, планирования эксперимента, регрессионного анализа, исследований при вероятностной и неполной информации. Критериальные зависимости в сочетании с методами планирования эксперимента и статическими методами облегчают задачи оптимизации сложных систем.

Увеличение сложности и размеров систем требует постоянного совершенствования моделирования и проверки полученных результатов путем эксперимента.

Четко провести любой (физический или вычислительный) эксперимент, объективно оценить сведения об изучаемом процессе и распространить материал, полученный в одном исследовании, на серию других исследований можно только при правильной их постановке и обработке.

Критериальная обработка результатов исследований позволяет сократить число необходимых экспериментов за счет уменьшения числа варьируемых факторов, распространить результаты каждого из этих экспериментов на неограниченно большой класс подобных процессов. Критериальную обработку экспериментальных данных при неизвестном математическом описании процесса можно показать на одном из примеров. Пусть изучается процесс в электрической цепи с активным сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью C при включении на источник постоянного напряжения U . Следует оценить влияние вариаций параметров R , L , C и U в заданных диапазонах на максимальное значение тока в цепи,

теле содержит текущее значение параметра

$$p_{l+1*} = p_{l+1} / (p_1^{x_{l+1}} p_2^{y_{l+1}} \dots p_k^{z_{l+1}}); \dots;$$

$$p_{l+n*} = p_{l+n} / (p_1^{x_{l+n}} p_2^{y_{l+n}} \dots p_k^{z_{l+n}}).$$

Иногда называют такие критерии выраженными в относительных единицах параметрами режима.

В уравнениях процесса и начальных (граничных) условиях надо заменить параметры p_1, \dots, p_R на единицы, параметры p_{R+1}, \dots, p_l — на безразмерные комплексы π_1, \dots, π_{l-R} , а текущие значения π_p p_{l+1}, \dots, p_{l+n} — на выраженные в относительных единицах. Наличие критериев подобия дает возможность соответствующим образом спланировать проведение эксперимента.

Критериальное планирование эксперимента (КПЭ) (теория планирования эксперимента) и теория подобия, способствующие наилучшей организации эксперимента и обработке его результатов, в настоящее время практически объединились. Пусть, например, требуется изучить зависимость $p = y(p_1, \dots, p_R, p_{R+1}, \dots, p_l)$, которая связывает целевую функцию эксперимента (например, какое-либо экспериментальное значение параметра) со значениями других параметров.

Для КПЭ необходимо: 1) определение вида безразмерных комплексов π_1 , выраженных в относительных единицах π_p p_{l+1}, \dots, p_{l+n*} , и критериальной целевой функции (если дифференциальные уравнения процесса известны, следует преобразовать эти уравнения в начальные (граничные) условия и привести их к критериальному виду в соответствии с описанным выше способом); 2) определение диапазонов варьирования безразмерных комплексов по заданным интервалам варьирования параметров p_1, \dots, p_l ; 3) выявление доминирующих безразмерных комплексов π_1, \dots, π_m путем проведения опытов (расчетов) в соответствии с матрицей критериального планирования отсеивающего эксперимента; 4) проведение опытов (расчетов) в соответствии с матрицей критериального планирования активного или пассивного эксперимента с целью определения коэффициентов полинома:

$$\pi_p = d_0 + \sum_{i=1}^m d_i \pi_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^m d_{ij} \pi_i \pi_j + \sum_{i=1}^m d_{ii} \pi_i^2 + \dots$$

Если эксперименты проводятся в реальной системе или на физической модели, в матрицу КПЭ, содержащую в качестве варьируемых факторов безразмерные комплексы, необходимо ввести еще значения варьируемых параметров p_1, \dots, p_l .

Полученный в результате проведения минимума опытов (расчетов) полином, связывающий безразмерные комплексы, позволяет не только изучить конкретную зависимость, но и распространить результаты этих опытов на широкий класс процессов.

7.4. Физическое подобие и моделирование

Поставленная задача может быть осуществлена: 1) при натурном моделировании (M), когда в объект, подлежащий исследованию, не вносят изменений и не создают специальных установок (производственный эксперимент); при моделировании, осуществляемом путем обобщения сведений о явлениях или отдельных процессах, происходящих в натуре, и т. д.; 2) на специальных моделях и стендах.

Физическая модель (например, энергосистемы) представляет собой миниатюрную копию физически реальной системы. Для всякой модели всегда четко формулируется круг задач, который будет решаться с ее помощью. Это выявляет те части системы, которые должны быть воспроизведены на модели с наибольшей полнотой и точностью, требуемыми теорией подобия (условия соблюдения критериев подобия) и практической необходимостью.

Для проведения такого исследования необходимо создать модель, имеющую параметры, при которых критерии подобия модели одинаковы с соответствующими критериями подобия оригинала. Возможны также случаи, когда модель специально не сооружается, а вместо нее применяются какие-либо подходящие установки, обеспечивающие при эксперименте получение процессов, близких к оригинальным. Затем выбираются наиболее существенные у данного процесса критерии подобия, для чего предварительно оцениваются параметры, входящие в эти критерии.

Известные критерии позволяют выбрать масштабы, при которых учитываются как постановка задачи, так и возможности оборудования. Неудачный выбор масштабов может привести к тому, что параметры оборудо-

вания модели будут отличаться от расчетных. Поэтому каждому исследованию на модели должна предшествовать тщательная проверка всех ее параметров. Перед проведением эксперимента следует предварительно проверить работу оборудования модели по отдельным ее частям. И только после того, как получена полная уверенность, что все элементы модели в отдельности подобны соответствующим элементам оригинала, можно собрать модель в целом, соблюдая граничные условия при соединении ее отдельных элементов. Подготовленная таким образом модель дает возможность провести эксперименты, получить достоверные данные и обработать их в критериальных зависимостях.

7.5. Аналоговое подобие и моделирование

Если явления в двух сопоставляемых системах имеют различную физическую природу, но некоторые наиболее интересные для данного исследования процессы, происходящие в двух системах, описываются формально одинаковыми дифференциальными уравнениями, то можно сказать, что одна система является *прямой моделью-аналогом* другой (структурное моделирование является разновидностью аналогового моделирования, при котором дифференциальные уравнения, описывающие физический процесс, представляются отдельными элементами). Применение прямых моделей-аналогов ограничено, поскольку не для всех задач можно выявить аналогию и подобрать модель. В этом отношении структурные модели, поэлементно моделирующие отдельные математические операции, более универсальны и обеспечивают большую точность.

Примером электрических моделей прямой аналогии являются расчетные модели постоянного тока, использующие постоянный ток в качестве аналога переменного тока. При этом электрическая схема системы переменного тока воспроизводится с помощью активных сопротивлений, а ЭДС генераторов электростанций — с помощью источников постоянного тока. Расчетные модели переменного тока частично (для установившегося режима) оказываются физическими моделями, а частично аналоговыми (для переходного режима). Исследуемые схемы представляются комплексными сопротивлениями и ЭДС с соответствующим сдвигом фаз.

Расчет переходного процесса сложной системы пред-

ставляет значительные трудности и требует для своего выполнения много времени. Стремление упростить эту работу привело, с одной стороны, к созданию специализированных аналоговых моделей, а с другой — к широкому использованию для исследования таких процессов типовых (универсальных) структурных аналоговых моделей (аналоговые вычислительные машины типов МН-7, МН-18 АВК-2 и др.). При таком моделировании масштабы m_j , обеспечивающие подобие на АВМ, являются в общем случае размерными величинами, связывающими параметры системы с машинными переменными — напряжениями на входах и выходах решающих блоков. Число этих переменных может превышать число уравне-

Таблица 7.5

Условия подобия при моделировании

Название блока	Формула операции, выполняемой блоком	Машинное уравнение блока	Условие подобия
Суммирующий	$z = \sum_{i=1}^q n_i x_i$	$x_j = - \sum_{i=1}^q k_{ij} x_i$	$k_{ji} = \frac{m_j a_i}{m_i}$
Интегросуммирующий	$z = \int \sum_{i=1}^q a_i x_i dt$	$x_j = - \int \sum_{i=1}^q k_{ji} \times x_i dt$	$k_{ij} = \frac{m_j a_i}{m_i m_t}$
Умножения	$z = x_i x_\mu$	$x_j = k x_i x_\mu$	$m_j = k m_i m_\mu$ $k = \text{const}$ $k = \frac{m_j}{m_i m_\mu}$ $k \neq \text{const}$
Деления	$z = \frac{x_i}{x_\mu}$	$x_j = \frac{x_i}{x_\mu}$	$m_i \neq m_j m_\mu$
Функционального преобразования	$z = f(x)$	$x_j = m_i f\left(\frac{x_i}{m_i}\right)$	—

k — конструктивный коэффициент блока; M_j — коэффициент усиления; $k_{ij} = M_j W_{ji}$ — коэффициент передачи по i -му входу; z, x — текущие переменные; m — масштабы

ний моделируемого процесса, так как между машинными переменными могут существовать некоторые дополнительные зависимости, которые в явном виде отсутствуют в исходных уравнениях.

Условия подобия получаются на основе первой теоремы подобия и связывают коэффициенты a_i с масштабами m_j и коэффициентами передачи решающих блоков (см. табл. 7.4).

Обеспечение аналогичности процесса в модели процессу в оригинале требует установить дифференциальные уравнения, описывающие процесс; составить принципиальную схему для решения задачи на модели, для каждого решающего блока выявить условия подобия и составить рабочую схему соединения (табл. 7.5) элементов, затем набрать рабочую схему на коммутационном поле АВМ, задать начальные условия, осуществить пуск машины и зарегистрировать получаемое решение с помощью электронно-лучевого индикатора, светолучевого осциллографа и т. д.

7.6. Математическое цифровое подобие и моделирование

Цифровые ЭВМ, моделирующие различные процессы, применяются в двух основных направлениях. Первое — это моделирование в натуральном времени происходящих процессов, когда данные для вычислений поступают на ЭВМ непосредственно от изучаемой системы или той, которой необходимо управлять. При втором направлении (например, при решении задач проектирования, планирования и прогнозирования) нет надобности в моделировании в темпе действительного процесса, можно эти процессы при моделировании ускорить. Аналогичные задачи возникают и при больших количествах уравнений, отвечающих, например, модели развития большой системы. Здесь также требуется быстрое действие ЭВМ для того, чтобы в обозримые сроки решать поставленные задачи.

ЭВМ не являются моделирующим устройством какого-либо конкретного процесса в том смысле, какой обычно на основе наших привычных представлений вкладывается в понятие модели. Получая данные для анализа, ЭВМ вычисляет какую-либо функцию, перерабатывает, хранит и выдает информацию, создавая формальную модель — алгоритм вычисляемой функции.

Алгоритмы, перерабатывающие информацию, должны иметь общность характера, т. е. отражать ход решения не какой-нибудь отдельной задачи, а целого класса обобщенных подобных задач, общность которых выявлена методами теории подобия и запись алгоритмов проведена в критериях подобия; обладать четкостью и однозначностью указаний по проведению операций на каждом этапе их выполнения, непосредственно и быстро приводить к решению, выдаваемому в удобной для использования форме, т. е. должны обладать результативностью при любой исходной информации и точном соблюдении распоряжений, определяющих вычислительный процесс, выдавать окончательный результат в виде обобщенных зависимостей (соотношений, графиков), позволяющих распространить результаты на группы явлений, подобных данным.

При соблюдении указанных условий ЭВМ вместе с соответствующим алгоритмом может рассматриваться как модель изучаемого процесса, обеспечивающая решение научных и технических задач.

Современную технику все больше и больше начинают интересовать решения, использующие не только математические модели, алгоритм которых предусматривает жесткий программный ход, как это делается в большинстве случаев при применении ЭВМ, но и модели, которые позволили бы подходить к задаче как к эргатической, предусматривающей вмешательство оператора в процесс исследования или управления, что равносильно переходу к более высокому классу задач. При реализации эргатического моделирования требуются изменения в подходах к программированию и в сочетаниях комплексов цифровой и вычислительной техники. Отсюда появляются новые модели — гибридные, сочетающие цифровые ЭВМ и АВМ.

Требования к точности и достоверность результатов моделирования различны в зависимости от поставленных задач и характера исследований. Исследования, касающиеся проектных разработок, а также оценки и относительного сопоставления вариантов, не требуют высокой точности результатов. Однако точность результатов имеет весьма большое значение, если исследования проводятся применительно к конкретной схеме, а полученные результаты необходимо распространить на ряд оригиналов.

При получении на основе моделирования характери-

стик тех или иных явлений необходимо учитывать факторы, обуславливающие расхождение результатов, получаемых в моделях и в оригиналах. К этим факторам относятся неточности, обусловленные определением или заданием параметров оригинала, входящих в критерии подобия, и воспроизведением параметров на модели (эти неточности можно свести к некоторым суммарным неточностям воспроизведения критериев подобия); погрешностями измерений при проведении опытов (эти погрешности могут быть уменьшены многократным повторением измерений, выбором приборов надлежащей точности); неполным учетом в модели факторов, заведомо влияющих на главные процессы (осуществление приближенного моделирования вместо точного).

Непостоянство случайно изменяющихся параметров, входящих в критерии подобия, приводит к тому, что критерии подобия также оказываются подверженными случайным вариациям. Поэтому при оценке достоверности результатов моделирования систем, имеющих такие параметры, необходимо также учитывать влияние случайных факторов.

Точность результатов экспериментальных исследований реальной системы, опытов на физической модели, процедуры моделирования на АВМ и численного решения систем уравнений, описывающих исследуемый процесс, должна оцениваться различно. В первом случае «натура» — рассматривается конкретное явление; во втором «физическая модель» — физически воспроизводятся определенные стороны явления на основе теории подобия стохастически определенных систем; в третьем «АВМ» — воспроизводятся математические закономерности, отраженные в уравнениях описываемого процесса; в четвертом «ЭВМ» — осуществляется численная интерпретация этих закономерностей.

Обычно в практических приложениях оценка достоверности результатов моделирования с учетом погрешностей задания и воспроизведения критериев подобия сводится к двум задачам: к оценке влияния стохастических вариаций критериев подобия и к оценке погрешности реализации приближенного моделирования вместо точного.

Оценка погрешностей моделирования, связанных с неточностью воспроизведения критериев подобия, требует изучения характера связи между исследуемым процессом и количественными отклонениями критериев по-

добия, представляемой в виде уравнения регрессии

$$\pi = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i \bar{\pi}_i + \sum_{i,j=1}^3 b_{ij} \bar{\pi}_i \bar{\pi}_j + \dots,$$

где $\bar{\pi}_i, \bar{\pi}_j$ — кодированное значение критериев. Полученное уравнение показывает степень влияния каждого критерия подобия на величину π и позволяет установить зоны заметной погрешности, которое надо исключить из рассмотрения.

Полученная информация позволяет объективно решить вопрос о необходимой точности воспроизведения критериев подобия, соответствующей степени их влияния на исследуемый процесс.

Погрешности приближенного моделирования выявляются двумя корректирующими друг друга путями. Во-первых, проверкой последовательным моделированием, когда, моделируя одну и ту же систему в разных масштабах, при разных коэффициентах линеаризации и т. п., можно получить представление о возможном искажающем эффекте моделирования. Во-вторых, исследованием уравнений, положенных в основу приближенных критериев подобия, и проведением серий опытов и расчетов с разным сочетанием величин, входящих в приближенные критерии.

ГЛАВА VIII

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

8.1. Типы ЭВМ и возможности вычислительных систем

Электронно-вычислительная машина (ЭВМ)¹ является устройством, предназначенным для выполнения вычислительных и логических операций в соответствии с программой, управляющей ее работой.

ЭВМ подразделяются на универсальные и специализированные. Универсальные ЭВМ используются для решения любых задач, если они имеют алгоритм. Специализированные ЭВМ предназначены для

¹ См.: Каган Б. М. Электронные вычислительные машины и системы М., 1985; Юрьев В. Н. Вычислительные машины и программирование. М., 1980; Соловьев Г. Н., Никитин В. Д. Операционные системы цифровых вычислительных машин. М., 1977.

задач определенного назначения (управляющие, информационные и др.).

Цифровые ЭВМ обрабатывают вводимую в них информацию (данные) в дискретной форме в виде последовательных операций (арифметических и логических) в соответствии с заранее подготовленной программой. После введения в память машины программа управляет работой ЭВМ с учетом полученной информации (данных). Программа и данные вводятся в машину при помощи устройства ввода (рис. 8.1). Результат решения задачи

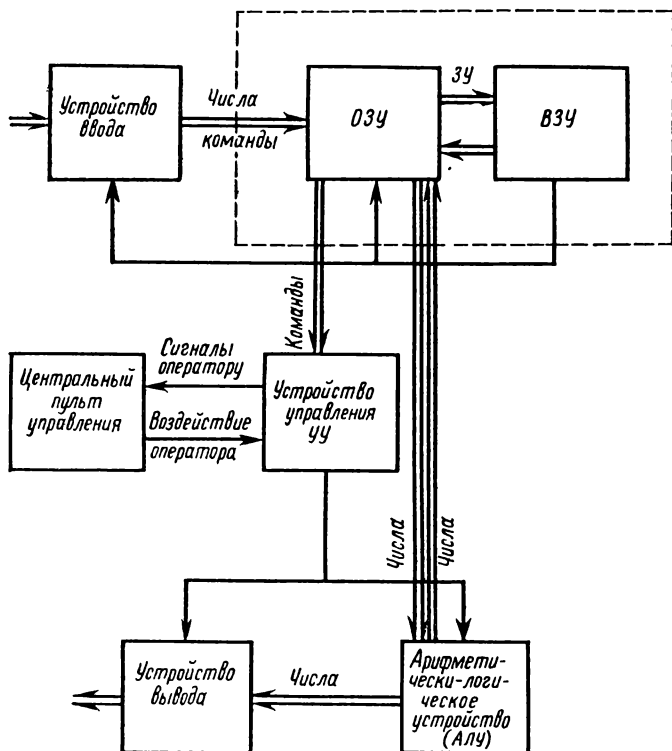


Рис. 8.1. Структурная схема ЭВМ

выдается пользователю в той или иной форме при помощи устройства вывода. Последовательность операций, определенная программой, выдерживается при помощи устройства управления (УУ). Выбрав очередную коман-

ду из устройства памяти ЭВМ, управляющее устройство готовит арифметически-логическое устройство (АЛУ) для выполнения соответствующей операции, указывает адреса ячеек памяти, из которых в АЛУ должны поступить необходимые данные (операнды). Результат выполнения операции вводится в память. После выполнения всей программы по заказу пользователя результаты выдаются в виде распечатки (таблицы) или выводятся на экран дисплея. Устройства памяти ЭВМ подразделяются на основную (оперативную) (ОП) или основное запоминающее устройство (ОЗУ) и внешнее запоминающее устройство (ВЗУ). В этих устройствах хранятся программа, исходные, промежуточные и окончательные результаты. Основной характеристикой ОЗУ является емкость¹.

Устройство управления, АЛУ и память составляют центральный процессор (ЦП) ЭВМ, обеспечивающий управление последовательностью команд программы, выполнение арифметических и логических (И, ИЛИ) операций, вывод данных и ввод результатов в память.

Вычислительная машина кроме основных блоков, процессора, оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), устройства управления содержит разнообразные по своим функциям и принципам работы периферийные устройства. Сюда входят устройства, предназначенные для хранения объемов информации (см. рис. 8.1), устройства ввода в ЭВМ и вывода из нее информации для регистрации на носителях в виде печати, перфорации и т. д. или путем индикации на экран (устройства ввода-вывода).

Известные в настоящее время устройства ввода информации можно разделить на две группы: ручные и автоматические (рис. 8.2).

В группу устройств ручного ввода входят пульты управления ЭВМ, электрифицированные пишущие машинки, дисплеи и др. Эти устройства, располагая клавиатурой, позволяют вводить информацию непосредственно, без предварительной подготовки.

Чрезвычайно широкое распространение среди пользователей получили дисплейные устройства, удобные для непосредственного общения человека с ЭВМ. Дисп-

¹ Емкость определяется в Кбайтах (1 Кбайт=1025 байт) или в Мбайтах (1 Мбайт=1024 Кбайт) (байт — наименьший адресуемый элемент памяти, состоящий из восьми информационных разрядов; несколько байт образуют ячейку памяти).

лей состоит из клавиатуры, подобной клавиатуре пишущей машинки, и экрана, по размеру и форме аналогичного экрану телевизора. В режиме ввода информация или программа набирается с помощью клавиатуры на эк-

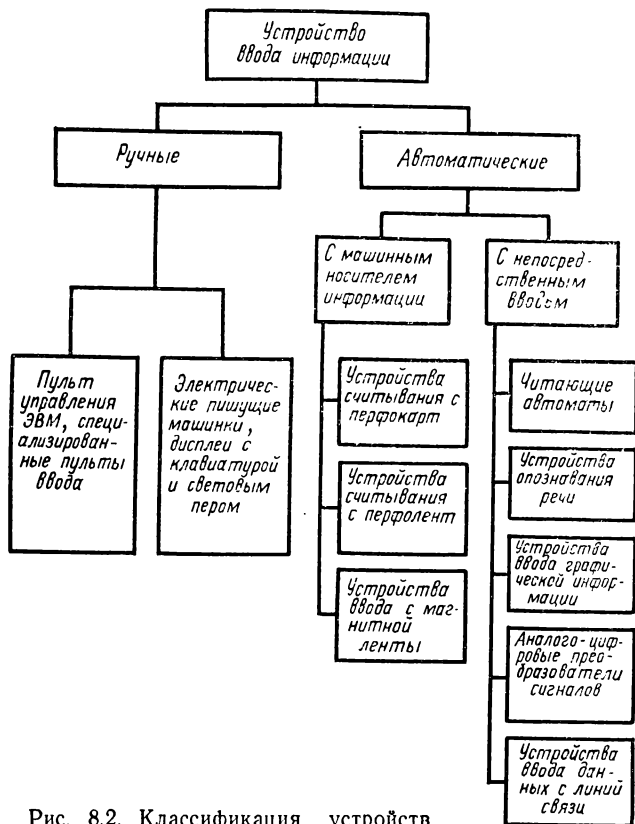


Рис. 8.2. Классификация устройств ввода информации

ране дисплея и после визуальной проверки нажатием специальной клавиши переносится в память ЭВМ. Это позволяет существенно сократить количество ошибок при вводе информации. К недостаткам можно отнести невысокую скорость ввода (около 10...12 символов/с).

В группу автоматических устройств входят устройства для считывания информации с промежуточного носителя и устройства непосредственного ввода.

К устройствам ввода с промежуточного носителя

информации относятся устройства считывания информации с перфокарт, перфолент и магнитных лент.

Перфокарта представляет собой картонный прямоугольник со срезанным верхним левым углом. По ширине перфокарта разбивается на 80 колонок. По высоте перфокарты может располагаться до 12 строк, которым присвоены номера сверху вниз. Прямоугольные отверстия перфорируются на пересечениях колонок и строк.

Перфолента — это плотная бумажная или целлюлозная лента, которая может быть различной ширины. Перфолента обладает большей емкостью, чем перфокарта. На рулоне в 300 м размещается до 120 тыс. знаков. Наиболее распространены 5-, 7- и 8-дорожечные ленты. Достоинством перфоленты является получение ее одновременно с выполнением другой основной операции по выписке документа, регистрации операций или расчета. К недостаткам следует отнести трудность группировки информации, нанесенной на перфоленте.

Магнитная лента применяется в основном в качестве ВЗУ. Как и перфолента, она бывает различной ширины и имеет различное количество дорожек записи. Плотность записи на магнитной ленте значительно выше, чем на перфоленте. Достоинством магнитной ленты является возможность ее многократного использования и изменения части записи.

К автоматическим устройствам непосредственного ввода информации относятся устройства, считывающие информацию со специальных бланков, с печатного текста и с графиков. Ведутся интенсивные разработки устройства ввода информации с голоса.

К автоматическим устройствам непосредственного ввода относятся также устройства приема информации с линий связи.

Устройства вывода информации (рис. 8.3) подразделяются на устройства вывода: цифровой информации на промежуточный носитель; на разного рода экраны (графопостроители, печатающие устройства); на внешнюю среду (устройства выдачи данных в линии связи и др.).

К первой группе относятся устройства вывода информации на перфокарты, перфоленты и магнитные ленты. Такой способ вывода удобен при выводе отлаженных программ и выверенной информации для последующего использования. Выводные устройства второй группы либо печатают поступающую из ЭВМ алфавитно-цифровую

информацию на бумаге (печатающие устройства), либо отображают ее на экранах в виде текста, изображений и графиков (дисплеи), либо рисуют графики и чертежи на бумаге (графопостроители и чертежные машины). Выводные устройства третьей группы предназначены для

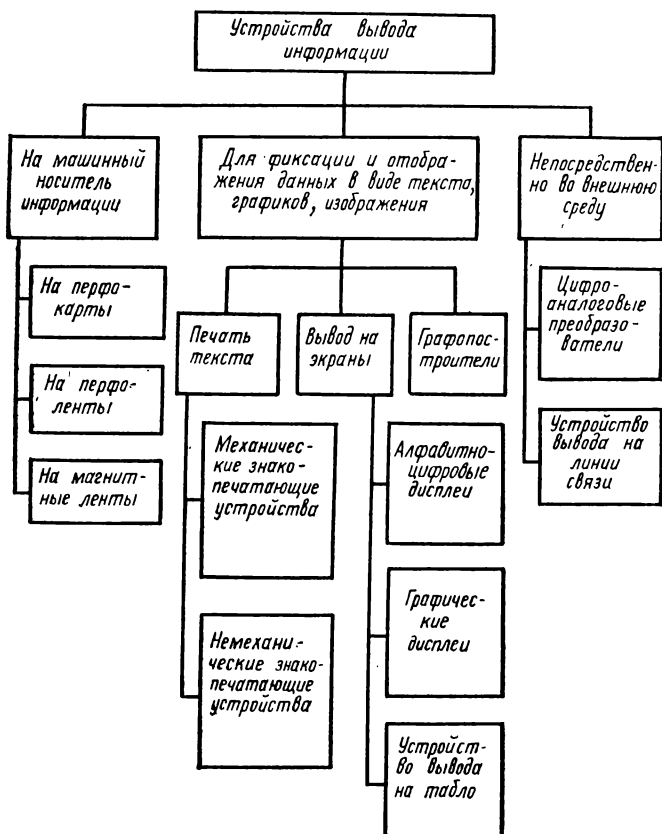


Рис. 8.3. Классификация устройств вывода информации

передачи информации удаленным пользователем. Эти устройства в совокупности со средствами коммуникации позволяют широко использовать сетевые свойства современных вычислительных средств и создавать систему коллективного пользования с большим количеством удаленных от ЭВМ абонентов.

Создание автоматизированных систем обработки дан-

ных, переработка информации многих абонентов часто предполагают использование многомашинных вычислительных систем. При этом отдельные ЭВМ должны быть приспособлены к работе с другими машинами на соответствующих уровнях организации вычислительной системы.

Реализация перечисленных требований осуществляется по мере совершенствования ЭВМ, которые в своем развитии прошли четыре поколения, характеризующиеся различной элементной базой, математическим обеспечением и структурой.

В первом поколении ЭВМ в качестве элементной базы использовались электронные лампы. ЭВМ обладали малой емкостью оперативного запоминающего устройства и низкой производительностью (около 20 тыс. операций в секунду). Такие ЭВМ были рассчитаны на обработку только цифровых данных.

Второе поколение ЭВМ создавались на полупроводниках, имели расширенный объем оперативной памяти, скорость обработки информации достигала сотен тысяч операций в секунду. Расширился набор периферийных устройств. Появилась возможность дифференцировать ЭВМ по применению: для решения научно-технических и экономических задач, для управления производственными процессами и т. д.

Третье поколение — это ЭВМ на интегральных схемах и вычислительные системы, представляющие собой ряды программно и информационно совместимых машин. Эти ЭВМ обладают широкими возможностями по быстродействию (от нескольких десятков тысяч до нескольких миллионов операций в секунду), объему оперативной и внешней памяти, набору периферийных устройств, что обеспечивает самые различные запросы пользователей. ЭВМ третьего поколения позволяют широко использовать многопрограммную обработку информации. Появилась возможность создания многомашинных комплексов и сетей терминальных устройств сбора и выдачи информации. Развитие аппаратных и программных средств системы прерываний программ способствовало освоению режима разделения времени. Этот режим обеспечивает работу в реальном времени всем пользователям за терминальными устройствами.

Четвертое поколение ЭВМ представляет собой многопроцессорные системы на больших интегральных схемах, использующих общую память и внешние ус-

тройства. Они позволяют объединить вычислительные мощности в единую вычислительную сеть, имеющую большое количество абонентов. Характерным для ЭВМ четвертого поколения является ориентация отдельных процессоров на выполнение определенных операций или решение конкретных классов задач.

В настоящее время ведутся работы по созданию ЭВМ пятого поколения. ЭВМ и вычислительные системы пятого поколения помимо более высокой производительности должны будут обладать рядом новых свойств: возможностью взаимодействия с ЭВМ при помощи естественного языка, человеческой речи и графических изображений; способностью системы обучаться, делать логическое суждение, вести «разумную» беседу с человеком в форме вопросов и ответов; способностью системы «понимать» содержание базы данных, которая при этом превращается в «базу знания», и использовать эти «знания» при решении задач. Предполагается, что в ЭВМ пятого поколения быстродействие возрастет до 2 млн. оп/с, а объем оперативной памяти — до 0,5...5 Мбайт для персональных компьютеров. Для сверхпроизводительных ЭВМ эти показатели составят: 1...100 млрд. оп/с и 8...160 Мбайт.

Для решения широкого круга научно-технических, экономических, информационно-логических задач как в автономном режиме работы, так и в вычислительных системах, объединяющих несколько ЭВМ и абонентов, наиболее часто используются ЕС ЭВМ (ЭВМ Единой системы, табл. 8.1). Характерной особенностью ЕС ЭВМ является их блочная структура с переменным составом оборудования, которые определяются составом выполняемых функций. При таком подходе отдельные функциональные устройства выполняются в виде блоков (модулей), которые в нужных номенклатуре и количестве объединяются в ЭВМ. Например, необходимый объем оперативной памяти набирается из отдельных модулей, имеющих фиксированное число ячеек. В такой структуре ЭВМ важное значение имеют устройства сопряжения (интерфейсы), обеспечивающие обмен информацией между блоками и допускающие подключение необходимого состава периферийных устройств. Решение различных по сложности и количеству обрабатываемой информации задач предъявляет определенные требования к периферийному оборудованию, объему оперативной памяти и к самим устройствам обработки информации —

Характеристики ЭВМ. Единой системы

Модель ЕС ЭВМ	Производитель- ность, тыс. оп/с	Максимальная емкость ОП, Кбайт	Площадь машинного зала, м ²
ЕС-1010	3	64	20
ЕС-1012	6	128	Зависит от ком- плекта
ЕС-1015	18...22	160	35
ЕС-1020	10...20	256	100
ЕС-1021	20	64	50
ЕС-1022	30...90	512	108
ЕС-1025	60	256	75
ЕС-1030	50	1024	150
ЕС-1032	200	1024	Зависит от ком- плекта
ЕС-1033	200	512	120
ЕС-1035	140	512	120
ЕС-1036	400	4000	120
ЕС-1040	400	1024	—
ЕС-1045	800	4096	120
ЕС-1046	1300	8192	120
ЕС-1050	500	1024	250
ЕС-1055	500	2048	250
ЕС-1060	1300	8192	200
ЕС-1061	2000	8192	200
ЕС-1065	4500	16 324	350
ЕС-1066	5000	16 324	—

процессорам (длине машинного слова, скорости обработки информации и т. д.) Одним из важнейших требований к таким системам является возможность использования на старших моделях ЭВМ программ, разработанных для младших моделей. Поэтому естественным развитием вычислительных систем явилось создание ЭВМ, совместимых по программному, информационному и техническому обеспечению.

Информационная совместимость ЭВМ предполагает единые способы кодирования информации и форматы данных и одинаковые или кратные длины машинных слов в различных моделях. Программная совместимость означает, что программы, составленные для одной модели, могут выполняться на других моделях.

Техническая (аппаратурная) совместимость заключается в возможности подключения к любой модели ЭВМ любых периферийных устройств, общих для всей системы ЕС ЭВМ.

Кроме вычислительных систем общего назначения (ЕС ЭВМ) страны социалистического содружества создали систему мини- и микроЭВМ. Малые (СМ) и микроЭВМ этой системы в первую очередь предназначены для автономного и системного применения при автоматизации производственных процессов; автоматизации обработки результатов научного эксперимента, лабораторных и производственных измерений: для создания различных управляющих систем, работающих в реальном времени. Некоторые характеристики мини-ЭВМ, входящих в состав СМ ЭВМ, приведены в табл. 8.2.

Некоторые характеристики моделей СМ ЭВМ

Таблица 8.2

Модель	Длина слова, бит. фиксир. точкой/ плавающей точкой	Производитель- ность, тыс. оп/с	Максимальный объем ОЗУ, Кслов	Емкость БЗУ на магнитных дис- ках, Мбайт	Число НМЛ ¹	Число НГМД ²
СМ-1М	16	250	128	—	1	1
СМ-2М	16/32	450	256	4,8	1	1
СМ-3	16/32	250	28	4,8	—	1
СМ-4	16/32	800	124	9,6	2	2
СМ-1300	16/32	500	28	4,8	—	—
СМ-1420	16/32, 64	1000	124/1920	29	3	1
СМ-1600	8/16	400	256	—	2	3
СМ-1800	8	150...500	64	0,256	—	2
СМ-1210	16/32	300...1000	4000	29	2	2
ПС-3000	32/64	300...1000	8000	29	2	2

¹ НМЛ — накопитель на магнитных лентах.

² НГМД — накопитель на гибких магнитных дисках.

В последних моделях ЭВМ (микроЭВМ) используются микропроцессоры. Термин «микроЭВМ» применяется для таких ЭВМ, у которых большая часть электронных схем сосредоточена в одной интегральной микросхеме (ИС) — микропроцессоре, имеющем весьма малые размеры. Вся микросхема занимает площадь около $4,5 \times 1,5 \text{ см}^2$, а сам кристалл, на котором расположены электронные схемы, не более 1 см^2 . В табл. 8.3 приведены некоторые характеристики микроЭВМ. Мини- и микроЭВМ, вычислительные и управляющие комплексы серийно изготавливаются и находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Большинст-

Некоторые характеристики микроЭВМ

Модель	Длина слова, бит	Производительность, тыс. оп/с	Максимальный объем ОЗУ, Кбайт	Внешние запоминающие устройства	Языки программирования
Электроника-60	16	250	64	—	Бэйсик
Электроника-85	16	600	256	НГМД НЖМД ¹ (Винчестер)	Макроассемблер, Фортран, Паскаль, Бэйсик
Электроника МС1501 (Электроника ДВК-1)	16	500	56	—	Бэйсик, Бэйсик, Фортран
Электроника МС1501-02 (ДВК-2М)	16	500	56	НГМД	Бэйсик, Фортран-IV, Паскаль, Макроассемблер, Модула-2
ЕС-1840	16	1000	1000	НГМД НЖМД	Бэйсик, Фортран-IV, Паскаль и др.

¹ НЖМД — накопитель на жестких магнитных дисках.

во мини- и микроЭВМ семейства «Электроника» являются программно и аппаратно совместимыми и отличаются быстродействием и набором команд. Программное обеспечение этих мини- и микроЭВМ включает тестовое обеспечение и широкий спектр перфоленточных и дисковых операционных средств для создания и выполнения программ в реальном масштабе времени. Характеристики основных операционных систем СМ ЭВМ приведены в табл. 8.4.

8.2. Программное обеспечение ЭВМ

По мере развития ЭВМ второго и третьего поколений увеличивались производительность и эффективность вычислительных машин и систем независимо от их типа

Характеристики основных операционных систем СМ ЭВМ

Признаки	Общего назначения		Реального времени					Разделения времени	
	ПЛЮС	ДОС	ДОС РВ	ФОБОС	РАФОС	ОС РВ	ДИАМС	ДОС РВР	
Количество пользователей	1	1	128	1	8	32	40	24	
Тип системного носителя	ПФЛ	Магнитный диск							
Минимальная и максимальная емкость ОП, Кбайт	8...56	32...56	16...56	16...56	16...56	32...248	22...248	64...248	
Языки программирования	Ассемблер	Ассемблер Макроас- семблер, Фортран-IV	Ассемблер, Фортран-IV, ДИАСП, Бэйсик	Макроас- семблер, Фортран-IV, ДИАСП, Бэйсик	Ассемблер, Макроассемблер, Фортран-IV, Бэйсик, Паскаль	ДИАМС	Бэйсик- ПЛЮС		

Режим подготовки и отладки программ	Диалоговый	Диалоговый, пакетный	Диалоговый	Диалоговый, пакетный	Диалоговый	Диалоговый, пакетный
Режим работы	Диалоговый	Диалоговый, пакетный	Диалоговый, реального времени	Диалоговый, реального времени	Диалоговый	Диалоговый
Наличие средств телеобработки	Нет	Через СТОД ¹	Через СТОД	Есть		

¹СТОД — система телеобработки данных.

ПЛАС — перфолентная операционная система.

ДОС — дисковая операционная система.

ДОСРВ — дисковая операционная система реального времени.

ФОБОС — система реального времени для проблемно-ориентированных комплексов

РАФАС — базовая система реального времени.

ОСРВ — система реального времени для класса задач.

ДИАМС — диалоговая многопользовательская система.

ДОС РВР — система разделения времени.

и облегчались условия эксплуатации устройств, необходимых при решении задач. При этом наряду с изменением структуры ЭВМ и ее устройств, определяющее значение приобретало программное обеспечение¹.

В настоящее время программное обеспечение подразделяется (рис. 8.4) на общее (операционные системы), которое поставляется вместе с оборудованием (эта часть программного обеспечения предназначена для эффективного обслуживания пользователей), и на специальное, позволяющее расширить сферу применения ЭВМ.

Основной задачей операционной системы является обеспечение наилучшей загрузки всех элементов машины и внешних устройств за счет организации параллельного решения нескольких задач и автоматизации управления процессом их решения. Общее программное обеспечение имеет две функционально самостоятельные части: управляющие и обрабатывающие программы. Управляющие программы фактически составляют систему диспетчеризации. Главная управляющая программа (Супервизор) контролирует работу всей вычислительной системы, организует выполнение ввода-вывода, распределение массивов информации в памяти, работу каналов и одновременное функционирование центрального процессора и устройства ввода-вывода, планирует последовательность выполнения отдельных частей программы по различного рода признакам. Программа управления заданиями (Монитор) управляет выполнением всех других программ, в том числе управляющих программ: загрузки, ввода-вывода, программ пользователя. Иницирует и останавливает выполнение отдельных заданий. Программа начальной загрузки осуществляет подготовку основной памяти к размещению различных программ, вводит в нее основную часть Супервизора, программу управления заданиями (Монитор) и передает этой программе управление. Организует размещение программ пользователя в основной памяти и защиту системных программ от

¹ Математическое обеспечение ЕС ЭВМ. Минск, 1973. Вып. 1; Математическое обеспечение ЕС ЭВМ. Минск, 1979. Вып. 18; Любимский Э. З., Мартынюк В. В., Трифонов Н. П. Программирование. М., 1980; Разумов О. С. Организация данных в вычислительных системах. М., 1978; Математическое обеспечение ЕС ЭВМ. Минск, 1973. Вып. 4.

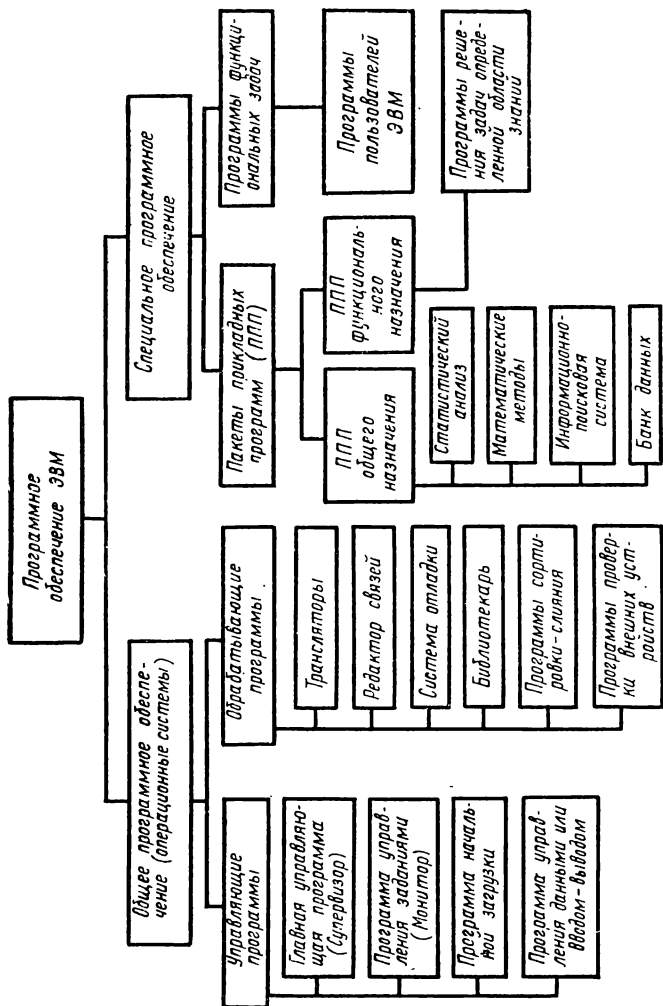


Рис. 8.4. Структура программного обеспечения ЭВМ

случайной порчи или неправильного обращения. Программа управления данными или вводом-выводом обеспечивает ввод и вывод данных, следит за окончанием ввода и вывода массивов на устройствах и переключает эти устройства, совмещает обработку данных в процессоре с вводом-выводом.

Обрабатывающие программы работают под контролем управляющих, обеспечивают отладку программ пользователя и проверку состояния машины. Трансляторы переводят программы пользователя с исходного языка на язык машины. Каждый язык программирования имеет свой транслятор. Современные ЭВМ, как правило, имеют несколько трансляторов с различных языков. Редактор связей подготавливает оттранслированную программу к выполнению. Система отладки обеспечивает отладку программ, их редактирование, выводит на печать информацию об ошибках, предоставляет средства для внесения изменений в программу. Библиотекарь организует накопление программ и поддержание их в рабочем состоянии на магнитных носителях, обеспечивает копирование программ. Программы сортировки — слияния — предназначены для упорядочения информации в порядке возрастания или убывания группировочных признаков. При этом информация может выбираться с нескольких магнитных носителей (магнитных лент или дисков). Программы проверки внешних устройств позволяют установить и выдать сообщение о неисправности внешних устройств.

Одним из условий эффективного внедрения вычислительной техники в практику производства является создание специализированных пакетов прикладных программ (ППП). Доступность и простота использования ППП создают предпосылки для более широкого внедрения ЭВМ в практику инженерного труда, решения конкретных задач научной области. ППП обычно строятся на базе специальных систем и являются дальнейшим их развитием в конкретном направлении. Они поставляются отдельно от программного обеспечения вычислительных средств, имеют свою документацию и не входят в состав операционных систем.

Разработка пакета не должна требовать модификации операционных систем. Это относится и к пакетам, влияющим на работу управляющих программ. Если пакет требует внесения изменений в управляющую про-

грамму, то это выполняется в процессе загрузки и инициализации пакета.

Все пакеты могут быть разбиты на пакеты, расширяющие возможности операционных систем; общего назначения и ориентированные на работу в автоматизированных системах управления. Пакеты прикладных программ, расширяющие возможности операционных систем, обеспечивают функционирование различных конфигураций ЭВМ. К ним относятся пакеты, обеспечивающие работу типовых конфигураций многомашинных комплексов, диалоговых систем, систем работы в реальном масштабе времени, удаленную пакетную обработку. Пакеты прикладных программ общего назначения включают набор программ для широкого круга применений. К ним относятся программы, обеспечивающие различное применение алфавитно-цифровых и графических дисплеев, работу графопостроителя, системы программирования для языков высокого уровня (Фортран, PL/I и др.), программы для научно-технических расчетов, математического программирования, обработки матриц, моделирования, программы для решения задач теории массового обслуживания и др. Пакеты, ориентированные на работу в АСУ, включают общецелевые системы обработки банков данных, информационно-поисковые системы общего назначения, системы обработки документов.

Каждый пакет, в зависимости от ЭВМ и его назначения, реализуется на конкретном языке программирования в соответствии с требованиями к пакету и возможностями языка. Ниже приводятся некоторые сведения о пакете научных подпрограмм, написанных на языке Фортран.

Фортран является наиболее распространенным языком программирования вычислительных задач. Транслятор с этого языка входит в состав математического обеспечения почти всех ЭВМ. На языке Фортран накоплена самая большая в мире библиотека программ.

Важное значение для научных исследований, проводимых с применением ЭВМ, имеют пакеты научных подпрограмм. Это совокупность подпрограмм, написанных на языке базисного Фортрана и реализующих наиболее часто встречающиеся в приложениях методы численного анализа и статистики. Пакет имеет модульную структуру, что допускает возможность его расширения и замены отдельных модулей.

Отдельные подпрограммы или их комбинации могут быть использованы для решения различного рода задач. Например, в статистике это пробит-анализ; дисперсионный анализ (факторное планирование); корреляционный анализ; множественная линейная регрессия; шаговая регрессия; полиномиальная регрессия; каноническая корреляция; факторный анализ (основные компоненты вращения факторов); дискриминантный анализ (множество групп); анализ временных рядов; выборка и анализ данных; непараметрические тесты; получение случайных чисел (равномерное и нормальное распределение); функции распределения.

Математические подпрограммы охватывают: обращение матриц; собственные значения и собственные векторы; системы линейных алгебраических уравнений; подстановки; матричную арифметику (сложение, умножение и т. д.); разбиение матриц; табулирование матриц и сортировка строк или столбцов; элементарные операции со строками и столбцами матриц; разложение матриц; интегрирование и дифференцирование функций, заданных таблично; решение дифференциальных уравнений первого порядка; анализ Фурье функций, заданных таблично; вычисление функций Бесселя и модифицированных функций Бесселя; вычисление γ -функций; эллиптических функций Якоби; эллиптических, экспоненциальных интегралов; интегральных синусов и косинусов; интегралов Френеля; нахождение действительных корней заданной функции; нахождение действительных и комплексных корней многочлена с действительными коэффициентами; полиномиальную арифметику (сложение, деление и т. д.); вычисление полиномов, интегрирование, дифференцирование; полиномы Чебышева, Эрмита, Лагерра, Лежандра; экстремумы функций; аппроксимацию, интерполяцию и составление таблиц.

Пакет подпрограмм является пакетом простой структуры. Он включает отдельные программные модули, которые могут быть организованы в библиотеку средствами операционной системы. Эти подпрограммы чисто вычислительные и не содержат никаких ссылок на устройство ввода-вывода. Поэтому пользователь в своей программе должен предусмотреть какой-то ввод-вывод и другие операции, необходимые для полного решения задачи. Кроме того, пользователь при помощи оператора DIMENSION должен определить все матрицы, над которыми будут произведены операции, подпрограммами

пакета, а также матрицы, используемые в других версиях Фортрана, имеющих более широкие возможности, он может использовать элементы этого языка, отсутствующие в языке базисного Фортрана. Например, некоторые версии Фортрана содержат возможности кратного входа в подпрограмму. Используя эти возможности, некоторые подпрограммы пакета могут быть объединены. В качестве примера можно привести объединение подпрограмм GMADD и GMSUB, (сложение и вычитание общих матриц):

```

SUBROUTINE GMADD (A,B,R,N,M)
  DIMENSION A (I), B(I) R(I)
  K = 0
  GOTO 10
  ENTRY GMSUB (A, B, R, N, M)
  K = 1
10  NM = N * M
    DU 40 I = 1, NM
    IF (K) 20,20, 30
20  R (I) = A (I) + B (I)
    GOTO 40
30  R (I) = A (I) — B (I)
40  CONTINUE
    RETURN
    END

```

Такой способ составления подпрограмм не влияет на программу пользователя, но сокращает общий размер используемой памяти.

Точность вычислений многих подпрограмм пакета в значительной степени зависит от числа значащих цифр, поступающих в арифметическую операцию. Обращение матриц, интегрирование и многие подпрограммы статистики относятся к этой категории. Поэтому возникает необходимость в варианте удвоенной точности этих подпрограмм. Многие подпрограммы текста SSP (пакет научных подпрограмм) написаны в двух вариантах: с обычной и удвоенной точностью. Некоторые подпрограммы содержат инструкции для работы с данными удвоенной точности в тексте подпрограммы на ис-

ходном языке. Операторы для работы с удвоенной точностью включены в каждую такую подпрограмму в форме карт комментариев. В большинстве случаев вариант подпрограммы с удвоенной точностью может быть получен удалением перед компиляцией символа «С» столбца карты (карт) с оператором DOUBLE PRECISION.

В некоторых случаях даются дополнительные инструкции: например, заменить SQRT на DSQRT, ABC на DABS или задать новые константы. Использование подпрограмм с удвоенной точностью требует детального знания правил языка Фортран, касающихся удвоенной точности. Ниже приводятся два из них: 1. Имя любой действительной переменной или массива, содержащегося в списке аргументов оператора CALL, вызывающего подпрограмму с удвоенной точностью, должно быть описано с помощью оператора DOUBLE PRECISION в вызывающей программе. Например, если подпрограмма обращения матрицы MINV из пакета SSP видоизменена в вариант удвоенной точности и если программа пользователя содержит оператор CALL MINV (AR 1, N, (целевая переменная); DET—определитель (действительный массив удвоенной точности); N—размерность (целевая переменная); DET—определитель (действительная переменная удвоенной точности), MY 1—рабочий вектор (массив целых чисел); MY 2—рабочий вектор (массив целых чисел), тогда в начале программы пользователя должен быть оператор описания DOUBLE PRECISION AR 1, DET.

Остальные переменные оператора CALL являются целыми переменными и их не следует включать в оператор описания.

2. Любая задаваемая пользователем функция, названная в операторе CALL при обращении к подпрограмме с удвоенной точностью из пакета SSP, должна быть запрограммирована как функция удвоенной точности. Например, для решения дифференциального уравнения методом Рунге-Кутты по подпрограмме RK 2 используется функция, названная FUN. Пусть эта функция запрограммирована следующим образом:

```
FUNCTION FUN (X, Y)
```

```
FUN = 1.1 * X
```

```
RETURN
```

```
END
```

Если используется вариант RK2 с удвоенной точностью, то функция должна быть запрограммирована с удвоенной точностью:

```
DOUBLE PRECISION FUNCTION FUN (X, Y)
DOUBLE PRECISION X, Y
FUN = 1.1 * X
RETURN
END
```

Для иллюстрации обращения к подпрограммам пакета SSP ниже приводятся четыре примера. Первые два — это подпрограммы сложения и умножения двух матриц общего вида. Третий и четвертый — подпрограммы для решения систем линейных алгебраических уравнений методом исключения Гаусса. Последний — решение системы с удвоенной точностью.

1. Подпрограмма CMADD (сложение двух матриц общего вида).

Назначение

Сложить две матрицы общего вида.

Результирующая матрица общего вида.

Обращение

CALL GMADD (A, B, R, N, M)

Описание параметров: A — имя первой входной матрицы; B — имя второй входной матрицы; R — имя выходной матрицы; N — число строк A, B, R; M — число столбцов A, B, R.

Замечания: Все матрицы должны запоминаться как матрицы общего вида.

Требуемые подпрограммы и подпрограммы-функции
Нет.

Метод

Сложение выполняется поэлементно.

2. Подпрограмма GMPRD (произведение двух матриц общего вида),

Назначение

Перемножить две матрицы общего вида.

Обращение

CALL CMPRD (A, B, R, N, M, L)

Описание параметров: A — имя первой входной матрицы; B — имя второй входной матрицы, R — имя выходной матрицы; N — число строк A; M — число столбцов A и строк B; L — число столбцов B.

Замечания: Все матрицы должны храниться как матрицы общего вида.

Матрица R не может находиться на месте матрицы A или матрицы B . Число столбцов матрицы A должно быть равно числу строк матрицы B .

Требуемые подпрограммы и подпрограммы-функции
Нет.

Метод

Матрица B порядка $M \times L$ умножается на матрицу A порядка $N \times M$ и результат запоминается на месте матрицы R порядка $N \times L$.

3. Подпрограмма GELS (решение системы линейных уравнений с симметричной матрицей коэффициентов)

Назначение

Решить систему линейных уравнений с симметричной матрицей коэффициентов, верхняя треугольная часть которой располагается по столбцам.

Обращение

CALL GELS (R, A, M, N, EPS, IER, AVX)

Описание параметров: R — матрица правых частей порядка $M \times N$ (в ходе вычисления изменяется), на выходе содержит решение систем; A — верхняя треугольная часть симметричной матрицы коэффициентов порядка $M \times N$ (в ходе вычисления изменяется); M — число уравнений в системе; N — число векторов правых частей; EPS — входная константа, используемая в качестве относительной погрешности для проверки потери точности; IER — результирующее значение параметров ошибки:

$IER=0$ — нет ошибки,

$IER=1$ — нет результата, так как либо $M < 1$, либо на каком-то шаге исключения главный элемент равен нулю;

$IER=K$ — сообщение о возможной потере точности на шаге исключения $(K+1)$, где главный элемент был меньше или равен внутренней погрешности EPS , умноженной на наибольший по абсолютной величине диагональный элемент матрицы A .

AVX — вспомогательный массив размерности $(M-1)$.

Замечания: Верхняя треугольная часть матрицы A располагается по столбцам в $M(M+1)/2$ последовательных адресах, матрица правых частей R — по столбцам в $(N+M)$ последовательных адресах. На выходе матрица решений R также располагается по столбцам.

Подпрограмма дает результаты: 1. Если число уравнений $M > 0$ и на всех шагах исключения главные элементы отличны от нуля. 2. Если выдается $IER = K$ и указывает на возможную потерю точности. 3. В случае хорошо масштабированной матрицы A и соответствующей погрешности ERS $IER = K$ видно, что матрица A имеет ранг K . Сообщение о потере точности не выдается в случае $M = 1$. Параметр ошибок $IER = -1$ не обязательно означает, что матрица A особенная, так как в качестве главных элементов используются только элементы на главной диагонали. Возможно, подпрограмма GELG, которая работает с выбором главного элемента во второй матрице, могла бы найти решение.

Требуемые подпрограммы и подпрограммы-функции
Нет.

Метод.

Система решается методом исключения Гаусса с выбором главного элемента по главной диагонали с целью сохранения симметричности в преобразованных матрицах коэффициентов.

4. Подпрограмма DGELS (решение с удвоенной точностью системы линейных уравнений с симметричной матрицей коэффициентов).

Назначение.

Решить с удвоенной точностью систему линейных уравнений с симметричной матрицей коэффициентов, верхняя треугольная часть которой располагается по столбцам.

Обращение

CALL DGELS (R, A, M, N, EPS, IER, AVX)

Описание параметров: R — удвоенной точности матрица правых частей порядка $M * N$ (в ходе вычислений изменяется); на выходе R содержит решение системы; A — удвоенной точности верхняя треугольная часть симметричной матрицы коэффициентов порядка $M * N$ (в ходе вычисления изменяется); M — число уравнений в системе; N — число векторов правых частей; EPS — обычной точности входная константа, используемая в качестве относительной погрешности для проверки потери точности;

IER — результирующее значение параметра ошибки:

IER = 0 — нет ошибки,

IER = -1 — нет результата, так как либо $M < 1$, либо на каком-то шаге исключения главный элемент равен нулю;

$IER=K$ — сообщение о возможной потере точности на шаге исключения $(K+1)$, где главный элемент был меньше или равен внутренней погрешности EPS , умноженной на наибольший по абсолютной величине диагональный элемент матрицы A ;

RUX — удвоенной точности вспомогательный массив памяти, размерности $(M-1)$.

Замечания: Верхняя треугольная часть матрицы A располагается по столбцам в $M(M+1)/2$ последовательных адресах; матрица правых частей R — по столбцам в $M \cdot N$ последовательных адресах. На выходе матрица решений R также располагается по столбцам. Подпрограмма дает результаты, если число уравнений $M > 0$ и на всех шагах исключения главные элементы отличны от нуля. $IER=K$ (если выдается) указывает на возможную потерю точности. В случае хорошо масштабированной матрицы A и соответствующей погрешности $EPSIER=K$ говорят о том, что матрица A имеет ранг K . Сообщение о потере точности не выдается, если $M=1$. Параметр ошибок $IER=-1$ не обязательно означает, что матрица A — особенная, так как в качестве главных элементов используются только элементы главной диагонали. Возможно, подпрограмма $DGELG$, которая работает с выбором элемента по всей матрице, могла бы найти решение.

Требуемые подпрограммы и подпрограммы-функции
Нет.

Метод.

Решение производится методом исключения Гаусса с выбором главного элемента по главной диагонали, с целью сохранения симметричности в преобразованных матрицах коэффициентов.

8.3. Автоматизированные системы научных исследований

Автоматизация научных исследований и обработки эксперимента АСНИ на современном этапе научно-технической революции стала объективной необходимостью¹. Это связано с требованием получения результатов в сжатые сроки и с высокой достоверностью, учетом бо-

¹ См.: Круг Г. К., Филаретов Г. Ф. Проблемы автоматизации научных исследований в вузах. Обзорная информация. М., НИИВШ, 1983. Вып. 3; Круг Г. К., Кабанов В. А., Фомин Г. А. Техническое и математическое обеспечение систем автоматизации научных исследований. М., 1979.

лее сложных взаимосвязей исследуемых объектов, расширением диапазона и микроЭВМ, обладающих большими техническими возможностями и широкой сферой применения, в значительной мере способствовало прогрессу в области автоматизации научных исследований.

Под АСНИ обычно понимают совокупность технических, программных средств, методического обеспечения и математических методов, необходимых для проведения эксперимента, обработки и анализа полученных результатов.

В автоматизации научных исследований, связанных с проведением эксперимента, выделяются два уровня в единой системе автоматизации: объектный (когда основные требования к АСНИ задаются объектом исследований) и инструментальный, на котором определяющей является теоретическая база данной предметной области, информационная база и средства обработки информации. ЭВМ первого уровня в рамках АСНИ коллективного пользования являются по существу информационно-вычислительным ресурсом системы в целом, а также объектом интеграции АСНИ в более широкие системы и сети (например, в вычислительную сеть коллективного пользования). На первом уровне в АСНИ должны входить головные вычислительные средства (ГВС) для сложных видов обработки и накопления информации и управления средствами отображения. К таким вычислительным средствам относятся ЭВМ типа СМ-3, СМ-4 и другие ЭВМ этого типа. Второй уровень составляют локальные системы автоматизации экспериментов — объектные терминалы, имеющие выход через стандартный интерфейс на объекты исследований и строящиеся на базе микроЭВМ «Электроника-60» и другие а также системы КАМАК¹.

Международная система КАМАК имеет совокупность стандартов на логическую, электрическую и конструктивную реализацию устройства сопряжения и обмена информацией между измерительной аппаратурой и ЭВМ. Она имеет модульную структуру и конструктивно выполняется в виде автономного блока (крейта) — хранилища функциональных модулей (аналого-цифровые преобразователи, счетчики импульсов, генераторы импульсов, цифроаналоговые преобразова-

¹ **Камак** — системы автоматизации в экспериментальной биологии и медицине/Под ред. Ю. Е. Нестерихина. Новосибирск, 1979.

тели, регистры и т.д.) и контроллера крейта. Контроллер крейта осуществляет связь с ЭВМ и управляет функциональными модулями с помощью стандартного канала передачи данных, организованного в КАМАК. В зависимости от сложности проводимых экспериментов для их автоматизации КАМАК позволяет компоновать различные конфигурации устройства сопряжения для экспериментального оборудования в АСНИ.

Объектные терминалы по использованию вычислительных средств и КАМАК подразделяются на ряд типов в зависимости от сложности проводимого эксперимента.

При автоматизации простого эксперимента, проводимого по конкретной программе, используется однокрейтовая система, управление которой реализует автономный программируемый контроллер (КАП) по программе, находящейся в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) в виде последовательности КАМАК — команд, заданной экспериментатором. Серийно выпускаемые автономные контроллеры допускают подключение до четырех модулей ПЗУ объемом 64 КАМАК — команды каждый (всего 256 КАМАК — команд) с возможностью организации программных циклов. Информация, снимаемая с объекта, стыкующего по шинам данных магистраль крейта и канал (общую шину — ОШ) ЭВМ, передается в ЭВМ с помощью параллельного обмена данными по схеме, показанной на рис. 8.5. Для автоматизации экспериментов, требующих сложных программ управления, рекомендуется объектный терминал ТОТ-КАМАК на базе микроЭВМ «Электроника-60» с минимальным набором периферийных устройств. Связь микроЭВМ с магистралью крейта осуществляется через посредство крейт-контроллера «Электроника-60» по схеме, приведенной на рис. 8.6.

В качестве объектных терминалов для автоматизации экспериментов с большим объемом передачи информации, сложной обработкой и комплексным отображением результатов эксперимента могут использоваться информационно-вычислительные комплексы (ИВК) ИВК-2, ИВК-3 и другие на базе международной системы СМ ЭВМ и КАМАК.

При использовании в АСНИ промышленных цифровых приборов (вольтметр, частотомер, коммутатор и др.) при умеренных требованиях и скорости обработки информации целесообразно применение типового объекта

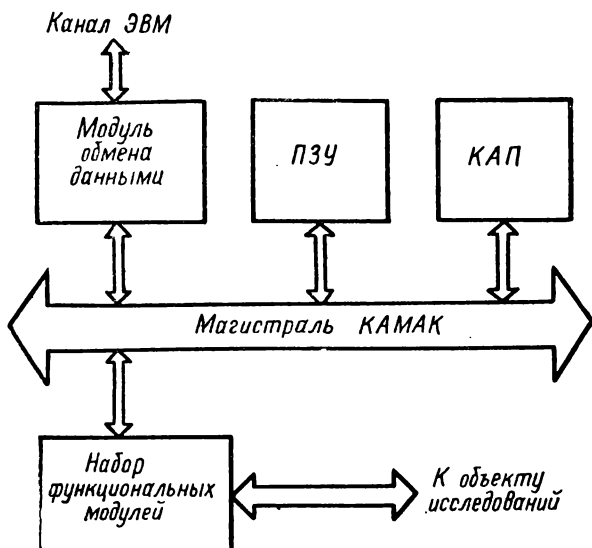


Рис. 8.5. Схема передачи информации в ЭВМ

терминала ТОТ-ПИ на базе «Электроника ДЗ-28» и средств приборного интерфейса-МЭК. Организация ТОТ-ПИ (приборный интерфейс) представлена на рис. 8.7.

Общей тенденцией развития АСНИ, связанной с использованием средств вычислительной техники, является повышение производительности и пользовательских возможностей объектов машин. Это достигается увеличением объема их оперативных запоминающих устройств, оснащением микроЭВМ комплектными и емкими накопителями на гибких магнитных дисках, кассетными накопителями на магнитных лентах. Развитие средств технического обеспечения АСНИ идет в направлении миниатюризации вычислительных систем при сохранении архитектуры и программного обеспечения. Учитывая успех развития микроэлектроники и микропроцессорной техники, можно предположить, что эволюция АСНИ будет идти в направлении децентрализации традиционных функций ЭВМ всех уровней, когда задачи многоцелевой обработки информации будут реализовываться на интерфейсном уровне путем применения микроЭВМ и микропроцессоров, встроенных в интерфейсные блоки.

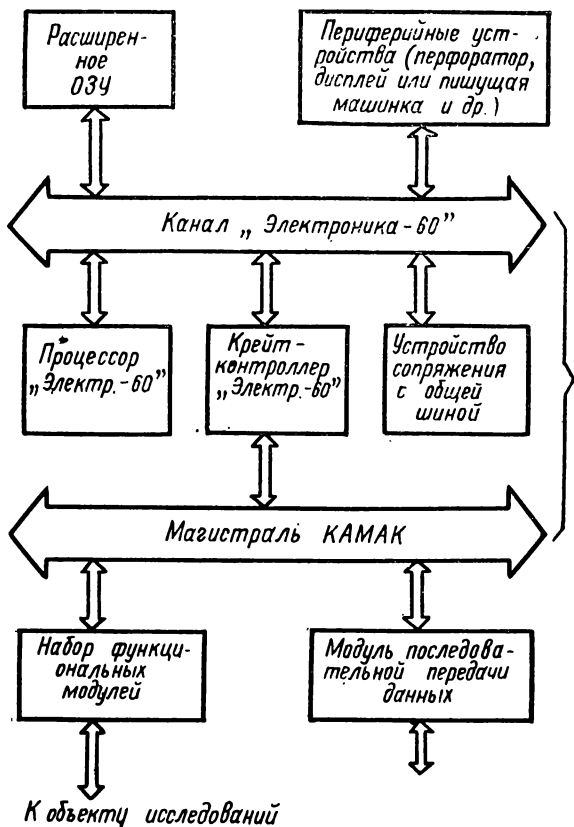


Рис. 8.6. Схема использования типового объектного терминала на базе микроЭВМ «Электроника-60»

Математическое обеспечение АСНИ представляет собой совокупность математических методов и алгоритмов, реализующих эксперимент, накопление, обработку, анализ и интерпретацию результатов эксперимента, а также методы и алгоритмы принятия решений. Программное обеспечение включает набор программных средств, обеспечивающий необходимые эксплуатационные характеристики АСНИ при имеющемся наборе технических средств. Программное обеспечение подразделяется на системное (общее) и специальное (прикладное) (рис. 8.8). В задачи общего программного обеспечения входит: обеспечение универсальности применения ЭВМ, ее высокой производительности, адаптиру-

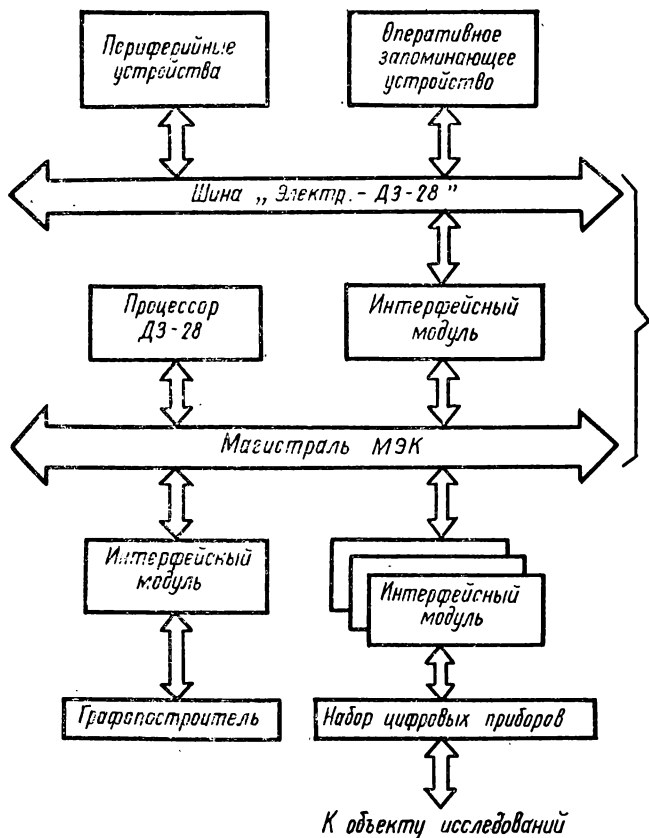


Рис. 8.7. Схема применения типового объектного терминала на базе микроЭВМ «Электроника ДЗ-28»

емости к возможным изменениям конфигурации аппаратных средств, к введению новых программ, реализующих те или иные возможности.

В вычислительной системе возможно использование нескольких различных режимов работы, отличающихся друг от друга организацией вычислительного процесса, способом обмена информацией с объектами исследований, принципами взаимодействия исследователя с ЭВМ. Операционная система должна быть достаточно развитой, чтобы допускать реализацию нескольких различных режимов.

Требования, предъявляемые к операционным систе-

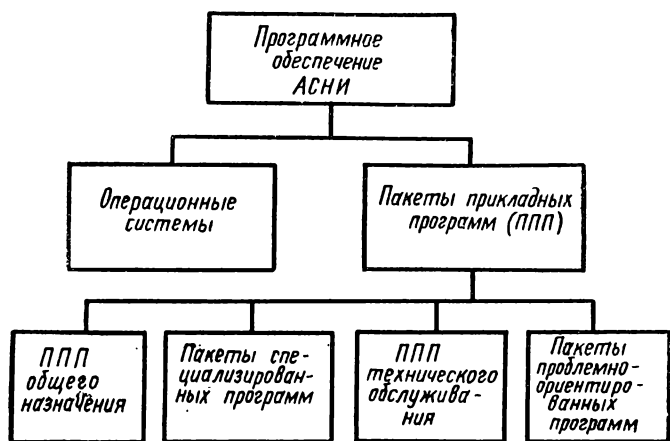


Рис. 8.8. Программное обеспечение АСНИ

мам ЭВМ нижнего и верхнего уровней АСНИ, должны быть различны. Для ЭВМ нижнего уровня, где основным является режим реального времени, в операционные системы включаются программные средства, обеспечивающие взаимодействие ЭВМ и экспериментальной установки (объекта исследования). Для ЭВМ верхнего уровня операционные системы должны включать программы, обеспечивающие создание и обработку баз данных, машинную графику, взаимодействие ЭВМ различного уровня (прикладное программное обеспечение систем автоматизации научных программ общего назначения; пакеты сервисных программ технического обслуживания; пакеты специализированных программ; проблемно-ориентированные программы).

Пакеты программ общего назначения включают набор программ, предназначенных для решения наиболее распространенных задач математического характера: решения систем линейных алгебраических и дифференциальных уравнений, вычисление элементарных функций, статистический анализ и др. Пакеты сервисных программ технического обслуживания — это совокупность тестовых и диагностических программ.

Пакеты специализированных программ разрабатываются применительно к каждой конкретной АСНИ. Они создаются с учетом особенности задач, решаемых системой автоматизации, и, как правило, присущи только данной АСНИ.

Проблемно-ориентированные программы разрабатываются для группы родственных систем автоматизации, предназначенных для работы в некоторых близких областях науки и техники.

Для обработки больших массивов экспериментальных данных и получения результатов с высокой точностью используются комплексы на базе ЕС ЭВМ с соответствующими пакетами прикладных программ. Малые ЭВМ (СМ ЭВМ) используются для управления экспериментом, сбора экспериментальных данных и выполнения первичной их обработки. В специальное программное обеспечение малых ЭВМ входят как пакеты прикладных программ, так и диалоговые системы (см. рис. 8.8). Ниже приводятся краткие сведения о пакете прикладных программ ПЛАНЭКС и диалоговой системе ДИПЛЕКС. Этот пакет предназначен для планирования эксперимента и статистической обработки экспериментальных данных в научных исследованиях. Модули пакета обеспечивают эффективное решение задач, связанных с построением математических моделей объекта при разработке АСУ ТП (технологических процессов) и систем управления качеством, позволяют оптимизировать технологические процессы. Пакет расширяет программное обеспечение автоматизированных систем научных исследований на базе ЕС ЭВМ и может применяться при проверке статистических гипотез, изучении законов распределения случайных величин, анализе данных измерений; при прохождении оценок параметров математических моделей заданной структуры и статистическом анализе полученных оценок; при оптимальном планировании эксперимента для обеспечения желаемых свойств модели.

ПЛАНЭКС представляет собой комплекс программ, включающий управляющую программу, состоящую из анализатора входного задания и генератора рабочей программы, библиотеку модулей, архивы данных, программы обслуживания (рис. 8.9). В функции анализатора входит ввод входного задания на проблемно-ориентированном языке, идентификация поставленной задачи, формирование данных во внутреннем представлении текста. Генератор рабочей программы осуществляет программирование и трансляцию новых модулей и сборку программы для решения поставленной задачи в соответствии с выбранной вычислительной схемой. Управляющая программа текста включает блоки, осуществляю-

шие консультационную помощь при постановке задачи. В некоторых случаях решение задачи возможно даже при отсутствии в задании явного указания на требуемый алгоритм расчетов: вычислительная схема выбирается либо по имеющимся исходным данным, либо по ответам пользователем на вопросы специальной анкеты.

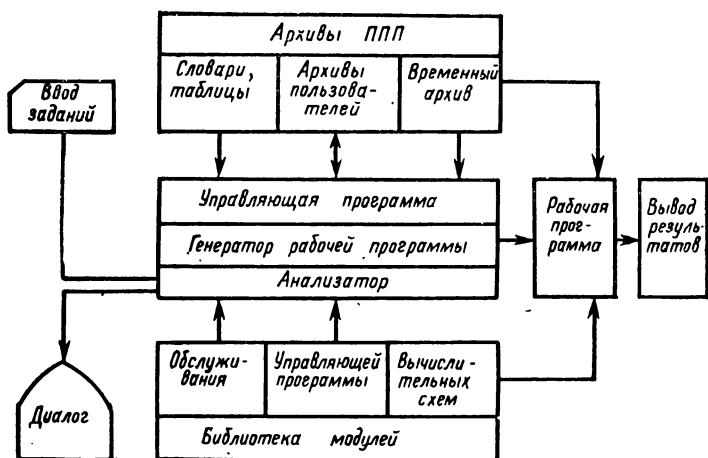


Рис. 8.9. Структура пакета прикладных программ ПЛАНЭКС

Использование языков программирования при работе с пакетом прикладных программ ПЛАНЭКС не является обязательным. Простота и удобство применения достигаются благодаря записи заданий на расчеты в свободной неалгоритмической форме на проблемно-ориентированном языке, близком к естественному языку предметной области.

Диалоговая система ДИПЛЕКС предназначена для планирования эксперимента, обработки результатов измерений методами математической статистики, оптимизации параметров и условий работы различных объектов путем использования поисковых процедур, а также для обучения пользователей. Может использоваться при создании автоматизированных систем экспериментальных исследований, разработке систем управления технологическими процессами и т. д.

Система ДИПЛЕКС может работать в консультационном режиме, рассчитанном на пользователей, имею-

щих малый опыт работы с системой или испытывающих затруднения в формулировке своей задачи в терминалах планирования эксперимента или в выборе метода решения задачи, и в библиотечном режиме, рассчитанном на пользователей, знающих методы решения задачи и имеющих достаточный опыт работы с системой. Для решения задач с помощью системы от пользователя не требуется знания алгоритмических языков программирования. Необходимы лишь начальная подготовка в области планирования эксперимента и знание клавиатуры терминала. Диалог пользователя с ЭВМ проводится с помощью терминала, назначенного в качестве пульта оператора. Результаты расчетов выводятся на алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ).

Стандартные интерфейсы¹ систем автоматизации эксперимента КАМАК предназначены для широкого класса систем автоматизации эксперимента, обеспечивают решение задач измерения, обработки результатов эксперимента, управления экспериментальным оборудованием самого различного назначения. Как уже отмечалось, КАМАК — это модульная система, состоящая из отдельных блоков (модулей), которые выполняют определенную функциональную нагрузку и могут быть объединены для выполнения более сложных функций. Все модули могут быть разделены на два больших класса: функциональные и управляющие (контроллеры). Функциональные модули служат для выполнения определенных операций преобразования, хранения информации, связи и могут работать только в режиме управляемых устройств. Управляющие модули предназначены для управления функциональными модулями и связи с ЭВМ или специализированными вычислительными устройствами.

Модули системы контролируются в виде вставных блоков, устанавливаемых в стандартные каркасы — крейты. В каждом крейте может быть размещено до 23 функциональных модулей.

Неотъемлемой частью крейта является стандартная магистраль, которая представляет собой многопроводную линию для передачи дискретной информации. Все

¹ См.: Науман Г., Майлинг В., Щербина А. Стандартные интерфейсы для измерительной техники. М., 1982; Интерфейс для программируемых приборов в системах автоматизации эксперимента/ Под ред. Л. С. Согникова. М., 1982; Глазунова Н. А., Карякин А. И., Филаретов Г. Ф. Стандартные интерфейсы. М., МЭИ, 1984.

модули имеют непосредственный доступ к магистрали через унифицированные разъемы. Назначение каждой из шин магистрали оговаривается стандартом. Магистраль включает шины для передачи данных, адресов, команд, сигналов управления и шины питания.

Один или несколько крейтов могут быть объединены в ветвь различной конфигурации с помощью магистрали ветви. Управление работой ветви осуществляется контроллером ветви. В качестве контроллера ветви используются как специализированные вычислительные устройства, так и ЭВМ. Многокрейтовые ветви могут формироваться в виде последовательных замкнутых петлевых структур или в виде нескольких параллельных ветвей. Каждая ветвь параллельной системы может содержать до семи крейтов, расположенных на расстоянии нескольких метров. Многокрейтовые параллельные и последовательные системы могут объединяться до 62 крейтов. Эти системы применяются при автоматизации самых разнообразных научных исследований при построении многоцелевых автоматизированных систем научных исследований.

Основу системы КАМАК составляют функциональные модули. Разнообразные по назначению, с единой внешней и внутренней системой организации они позволяют создавать экономичные, гибкие к перестройке системы для решения широкого класса задач. По назначению функциональные модули делят на пять групп: входные модули (предназначенные для считывания дискретной информации с внешних устройств); модули для управления выводными устройствами (печатающими, средствами отображения, выводом данных на перфоленду); модули сопряжения (для общего пользования в системе и управляемые системным контроллером, например модули управления магнитными дисками, лентами, телетайпами, дисплеем, блоками запоминающих устройств, двусторонней связью или связью с другими системами КАМАК); внешние модули (перерабатывающие сигналы от внешних устройств и не имеющие полных выходов на магистраль Крейта, например мультиплексоры аналоговых сигналов, усилители с программно-управляемыми коэффициентами усиления и т. д.); внутренние модули (выполняющие арифметические операции, операции преобразования кодов запоминающих устройств).

Располагая широким напором функциональных мо-

дулей, высоким быстродействием и универсальностью, система КАМАК чаще всего используется на нижних уровнях сложных иерархических систем научных исследований крупных научных центров.

В более простых локальных системах автоматизации эксперимента на уровне отдельных установок, небольших научно-исследовательских лабораторий, для исследования специфических уникальных объектов используется стандарт на системный интерфейс для автономных программируемых приборов, рекомендованный Международной электротехнической комиссией (МЭК) в качестве международного стандарта. Этот стандарт устанавливает ограничения на логические переменные и электрические данные, а также другие данные, которые необходимо учитывать при соединении различных приборов. Поскольку стандарт МЭК не распространяется на принципы построения приборов, это позволяет объединять в систему различные приборы, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью, без существенных доработок. Все приборы, объединяемые в систему в соответствии со стандартом МЭК, подразделяются на три различных типа предназначения. К первому относятся приборы-источники, являющиеся устройствами, где образуется измерительная информация того или иного рода (цифровые вольтметры, аналого-цифровые преобразователи и т. д.). Ко второму типу относятся приборы-приемники, которые воспринимают информацию от приборов-источников для последующей ее переработки (цифроаналоговые преобразователи, перфораторы, различного рода индикаторы и т. д.). К третьему типу относятся приборы-контроллеры, которые предназначены для управления работой интерфейса.

Физически один и тот же элемент (прибор) может выполнять одновременно несколько различных функций, т. е. быть одновременно, например, прибором-источником и прибором-приемником; прибором-источником и контроллером; прибором-источником-приемником-контроллером и т. д. В системе должно быть не менее двух приборов: один источник и один приемник. Контроллер в таком простейшем варианте не обязателен. В максимальном варианте возможно подключение (без дополнительной аппаратуры, расширяющей эти возможности) до 15 приборов, в числе которых должны быть приборы-источники и приборы-приемники. В качестве контроллера могут использоваться как специализированные

устройства, так и ЭВМ, которая также может подключаться к магистрали.

К настоящему времени наметились два направления использования приборного интерфейса МЭК: создание локальных автоматизированных систем научных исследований замкнутого типа, не связанных с ЭВМ более высокого уровня, и создание самостоятельных подсистем автоматизации научных исследований для обслуживания независимых экспериментов в реальном времени на нижней ступени иерархической автоматизированной системы научных исследований, используемых ресурсы ЭВМ более высокого уровня.

Приведенные характеристики стандартных интерфейсов показывают, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, которые определяют область их рационального применения. Интерфейс МЭК обычно используется при создании относительно простых систем с ограниченным числом приборов и устройств, интерфейс КАМАК — в системах автоматизации уникальных и сложных экспериментов с широким набором контрольно-измерительных устройств.

При таком разделении направлений рационального использования стандартных интерфейсов, очевидно, найдется такой класс задач, для решения которого потребуется использование возможностей первого и второго интерфейсов. Для этой цели создаются многоуровневые автоматизированные системы научных исследований (АСНИ) с использованием двух стандартных интерфейсов.

Существует несколько возможностей построения таких АСНИ, когда часть объектов исследования работает с одной интерфейсной системой, образуя ветвь КАМАК, а другая часть объектов с другой интерфейсной системой образует ветвь МЭК. При этом в каждой ветви имеется своя управляющая ЭВМ, а объединение ветвей реализуется обычно на верхнем уровне АСНИ на базе мини-ЭВМ типа СМ ЭВМ.

ГЛАВА IX ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

9.1. Классификация, типы и задачи эксперимента

Важнейшей составной частью научных исследований является эксперимент, основой которого является научно

поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями. Само слово эксперимент происходит от лат. *experimentum* — проба, опыт. В научном языке и исследовательской работе термин «эксперимент» обычно используется в значении, общем для целого ряда сопряженных понятий: опыт, целенаправленное наблюдение, воспроизведение объекта познания, организация особых условий его существования, проверка предсказания. В это понятие вкладывается научная постановка опытов и наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явлений и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий. Само по себе понятие «эксперимент» означает действие, направленное на создание условий в целях осуществления того или иного явления и по возможности наиболее частого, т. е. не осложняемого другими явлениями. Основной целью эксперимента являются выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

Постановка и организация эксперимента определяются его назначением. Эксперименты, которые проводятся в различных отраслях науки, являются химическими, биологическими, физическими, психологическими, социальными и т. п. Они различаются по способу формирования условий (естественных и искусственных); по целям исследования (преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие); по организации проведения (лабораторные, натурные, полевые, производственные и т. п.); по структуре изучаемых объектов и явлений (простые, сложные); по характеру внешних воздействий на объект исследования (вещественные, энергетические, информационные); по характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования (обычный и модельный); по типу моделей, исследуемых в эксперименте (материальный и мысленный); по контролируемым величинам (пассивный и активный); по числу варьируемых факторов (однофакторный и многофакторный); по характеру изучаемых объектов или явлений (технологические, социометрические) и т. п. Конечно, для классификации могут быть использованы и другие признаки.

Из числа названных признаков естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследова-

ния (чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках). Искусственный эксперимент предполагает формирование искусственных условий (широко применяется в естественных и технических науках). Преобразующий (созидательный) 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 в соответствии со вскрытыми тенденциями развития объекта исследования преднамеренно создает условия, которые должны способствовать формированию новых свойств и качеств объекта. Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений. В процессе этого эксперимента констатируется наличие определенной связи между воздействием на объект исследования и результатом, выявляется наличие определенных фактов. Контролирующий эксперимент сводится к контролю за результатами внешних воздействий на объект 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 (априорных) данных. По результатам поискового эксперимента устанавливается 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.

Примером решающего эксперимента служат опыты по проверке справедливости ньютоновской теории истечения света и волнообразной теории Гюйгенса. Эти опыты были поставлены французским ученым Фуко (1819—1868). Они касались вопроса о скорости распространения света внутри прозрачных тел. Согласно гипотезе истечения, скорость света внутри таких тел должна быть больше, чем в пустоте. Но Фуко своими опыта-

ми доказал обратное, т.е. что в менее плотной среде скорость света большая. Этот опыт Фуко и был тем решающим опытом, который решил спор между двумя гипотезами (в настоящее время гипотеза Гюйгенса заменена электромагнитной гипотезой Максвелла).

Другим примером решающего эксперимента может служить спор между Птолемеем и Коперником о движении Земли. Решающий опыт Фуко с маятником окончательно решил спор в пользу теории Коперника.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т.д. Чаще всего в лабораторном эксперименте изучается не сам объект, а его образец. Этот эксперимент позволяет доброкачественно, с требуемой повторностью изучить влияние одних характеристик при варьировании других, получить хорошую научную информацию с минимальными затратами времени и ресурсов. Однако такой эксперимент не всегда полностью моделирует реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении натурного эксперимента. Натурный эксперимент¹ проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натурных испытаний изготовленных систем. В зависимости от места проведения испытаний натурные эксперименты подразделяются на производственные, полевые, полигонные, полунатурные и т.п. Натурный эксперимент всегда требует тщательного продумывания и планирования, рационального подбора методов исследования. Практически во всех случаях основная научная проблема натурного эксперимента — обеспечить достаточное соответствие (адекватность) условий эксперимента реальной ситуации, в которой будет работать впоследствии создаваемый объект. Поэтому центральными задачами натурного эксперимента являются: изучение характеристик воздействия среды на испытуемый объект; идентификация статистических и динамических параметров объекта; оценка эффективности функционирова-

¹ См.: Баклашов Н. И., Белюнов А. Н., Солодихин Г. М. и др. Натурный эксперимент: Информационное обеспечение экспериментальных исследований. М., 1982; Капица П. Л. Эксперимент, теория, практика. М., 1977; Налимов В. В. Теория эксперимента. М., 1971; Тригг Дж. Решающий эксперимент в современной физике. М., 1974.

ния объекта и проверка его на соответствие заданным требованиям.

Эксперименты могут быть открытыми и закрытыми, они широко распространены в психологии, социологии, педагогике. В открытом эксперименте его задачи открыто объясняются испытуемым, в закрытом — в целях получения объективных данных эти задачи скрываются от испытуемого. Любая форма открытого эксперимента влияет (часто активизирует) на субъективную сторону поведения испытуемых. В этой связи открытый эксперимент целесообразен только тогда, когда имеются возможность и достаточная уверенность в том, что удастся вызвать у испытуемого живое участие и субъективную поддержку намечаемой работе. Закрытый эксперимент характеризуется тем, что его тщательно маскируют; испытуемый не догадывается об эксперименте, и работа протекает внешне в естественных условиях. Такой эксперимент не вызывает у испытуемых повышенной настороженности и излишнего самоконтроля, стремления вести себя не так, как обычно.

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

В сложном эксперименте изучаются явления или объекты с разветвленной структурой (можно выделить иерархические уровни) и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции. Высокая степень связности элементов приводит к тому, что изменение состояния какого-либо элемента или связи влечет за собой изменение состояния многих других элементов системы. В сложных объектах исследования возможно наличие нескольких разных структур, нескольких разных целей. Но все же конкретное состояние сложного объекта может быть описано. В очень сложном эксперименте изучается объект, состояние которого по тем или иным причинам до сих пор не удается подробно и точно описать. Например, для описания требуется больше времени, чем то, которым располагает исследователь между сменами состояний объекта или когда современный уровень знаний недостаточен для проникновения в существо связей объекта (либо они непонятны).

Информационный эксперимент использу-

ется для изучения воздействия определенной (различной по форме и содержанию) информации на объект исследования (чаще всего информационный эксперимент используется в биологии, психологии, социологии, кибернетике и т. п.). С помощью этого эксперимента изучается изменение состояния объекта исследования под влиянием сообщаемой ему информации.

Вещественный эксперимент предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования. Например, влияние различных добавок на качество стали и т.п.

Энергетический эксперимент используется для изучения воздействия различных видов энергии (электромагнитной, механической, тепловой и т. д.) на объект исследования. Этот тип эксперимента широко распространен в естественных науках.

Обычный (или классический) эксперимент включает экспериментатора как познающего субъекта; объект или предмет экспериментального исследования и средства (инструменты, приборы, экспериментальные установки), при помощи которых осуществляется эксперимент.

В обычном эксперименте экспериментальные средства непосредственно взаимодействуют с объектом исследования. Они являются посредниками между экспериментатором и объектом исследования.

Модельный эксперимент в отличие от обычного имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но часто и условия, в которых изучается некоторый объект.

Модельный эксперимент при расширении возможностей экспериментального исследования одновременно имеет и ряд недостатков, связанных с тем, что различие между моделью и реальным объектом может стать источником ошибок и, кроме того, экстраполяция результатов изучения поведения модели на моделируемый объект требует дополнительных затрат времени и теоретического обоснования правомочности такой экстраполяции.

Различие между орудиями эксперимента при моделировании позволяет выделить мысленный¹ и материальный эксперимент. Орудиями мысленного (умствен-

¹ См.: Чернов А. П. Мысленный эксперимент. М., 1979.

ного) эксперимента являются мысленные модели исследуемых объектов или явлений (чувственные образы, образно-знаковые модели, знаковые модели). Для обозначения мысленного эксперимента иногда пользуются терминами: *идеализированный* или *воображаемый* эксперимент. Мысленный эксперимент является одной из форм умственной деятельности познающего субъекта, в процессе которой воспроизводится в воображении структура реального эксперимента. Структура мысленного эксперимента включает: построение мысленной модели объекта исследования, идеализированных условий эксперимента и воздействий на объект; сознательное и планомерное изменение, комбинирование условий эксперимента и воздействий на объект; сознательное и точное применение на всех стадиях эксперимента объективных законов науки, благодаря чему исключается абсолютный произвол. В результате такого эксперимента формируются выводы.

Материальный эксперимент имеет аналогичную структуру. Однако в материальном эксперименте используются материальные, а не идеальные объекты исследования. Основное отличие материального эксперимента от мысленного в том, что реальный эксперимент представляет собой форму объективной материальной связи сознания с внешним миром, между тем как мысленный эксперимент является специфической формой теоретической деятельности субъекта.

Сходство мысленного эксперимента с реальным в значительной мере определяется тем, что всякий реальный эксперимент, прежде чем быть осуществленным на практике, сначала проводится человеком мысленно в процессе обдумывания и планирования. Поэтому мысленный эксперимент нередко выступает в роли идеального плана реального эксперимента, в известном смысле предворяя его.

Мысленный эксперимент имеет более широкую сферу применения, чем реальный эксперимент, так как применяется не только при подготовке и планировании последнего, но и в тех случаях, когда проведение реальных опытов представляется невозможным. Так, Галлилей в мысленном эксперименте пришел к выводу о существовании движения по инерции, опрокинувшему аристотелевскую точку зрения, согласно которой движущееся тело останавливается, если сила, его толкающая, прекращает свое действие.

Этот вывод мог быть получен только с помощью мысленного эксперимента. По этому поводу А. Эйнштейн говорил следующее: «Мы видели, что закон инерции нельзя вывести непосредственно из эксперимента, его можно вывести лишь умозрительно — мышлением, связанным с наблюдением. Этот эксперимент никогда нельзя выполнить в действительности, хотя он ведет к глубокому пониманию действительных экспериментов».

Мысленный эксперимент, заменяя собой реальный, расширяет границы познания, ибо обеспечивает получение такой информации, которую иными средствами добыть невозможно. Мысленный эксперимент позволяет преодолеть неизбежную ограниченность реального опыта путем абстрагирования от действия нежелательных, затемняющих причин, полное устранение которых в реальном эксперименте практически недостижимо.

Мысленный эксперимент является существенным моментом всякой творческой деятельности. А. Эйнштейн в автобиографических воспоминаниях в связи с разработкой специальной теории относительности писал: «В этом году в Аарау у меня возник вопрос: если бы можно было погнаться за световой волной со скоростью света, то мы имели бы перед собой не зависящее от времени волновое поле. Но все-таки это кажется невозможным! Это было первым детским мысленным экспериментом, который относится к специальной теории относительности. Открытие не является делом логического мышления, даже если конечный продукт связан с логической формой».

Мысленный эксперимент используется не только учеными, но и писателями, художниками, педагогами, врачами. Мысленное экспериментирование ярко проявляется в мышлении шахматистов. Огромна роль мысленного эксперимента в техническом конструировании и изобретательстве. Результаты мысленного эксперимента находят отражение в формулах, чертежах, графиках, набросках, эскизных проектах и т. п.

Пассивный эксперимент предусматривает измерение только выбранных показателей (параметров, переменных) в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование. Примерами пассивного эксперимента является наблюдение: за интенсивностью, составом, скоростями движения транспортных потоков; за числом заболеваний

вообще или какой-либо определенной болезнью; за работоспособностью определенной группы лиц; за показателями, изменяющимися с возрастом; за числом дорожно-транспортных происшествий и т. п.

Пассивный эксперимент, по существу, является наблюдением, которое сопровождается инструментальным измерением выбранных показателей состояния объекта исследования.

Активный эксперимент связан с выбором специальных входных сигналов (факторов) и контролирует вход и выход исследуемой системы.

Однофакторный эксперимент предполагает: выделение нужных факторов; стабилизацию мешающих факторов; поочередное варьирование интересующих исследователя факторов.

Стратегия многофакторного эксперимента состоит в том, что варьируются все переменные сразу и каждый эффект оценивается по результатам всех опытов, проведенных в данной серии экспериментов.

Технологический эксперимент направлен на изучение элементов технологического процесса (производства, оборудования, деятельности работников и т. п.) или процесса в целом.

Социометрический эксперимент используется для измерения существующих межличностных социально-психологических отношений в малых группах с целью их последующего изменения.

Как уже отмечалось, приведенная классификация экспериментальных исследований не может быть признана полной, поскольку с расширением научного знания расширяется и область применения экспериментального метода. Кроме того, в зависимости от задач эксперимента различные его типы могут объединяться, образуя комплексный или комбинированный эксперимент.

Для проведения эксперимента любого типа необходимо: разработать гипотезу, подлежащую проверке; создать программы экспериментальных работ; определить способы и приемы вмешательства в объект исследования; обеспечить условия для осуществления процедуры экспериментальных работ; разработать пути и приемы фиксирования хода и результатов эксперимента; подготовить средства эксперимента (приборы, установки, модели и т. п.); обеспечить эксперимент необходимым обслуживающим персоналом.

Особое значение имеет правильная разработка мето-

дик эксперимента. Методика — это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования. При разработке методик 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, изменение характера условий и перекрестные воздействия, 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.

Правильно разработанная методика экспериментального исследования предопределяет его ценность. Поэтому разработка, выбор, определение методики должно проводиться особенно тщательно. При определении методики необходимо использовать не только личный опыт, но и опыт товарищей и других коллективов. Необходимо убедиться в том, что она соответствует современному уровню науки, условиям, в которых выполняется исследование. Целесообразно проверить возможность использования методик, применяемых в смежных проблемах и науках.

Выбрав методику эксперимента, исследователь должен удостовериться в ее практической применимости. Это необходимо сделать даже в том случае, если методика давно апробирована практикой других лабораторий, так как она может оказаться неприемлемой или сложной в силу специфических особенностей климата, помещения, лабораторного оборудования, персонала, объекта исследований и т. п.

Перед каждым экспериментом составляется его план (программа), который включает: цель и задачи эксперимента; выбор варьирующих 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.

Применение математической теории эксперимента позволяет уже при планировании определенным образом оптимизировать объем экспериментальных исследований и повысить их точность.

Важным этапом подготовки к эксперименту является определение его целей и задач. Количество задач для конкретного эксперимента не должно быть слишком большим (лучше 3...4, максимально 8...10).

Перед экспериментом надо выбрать варьируемые факторы, т. е. установить основные и второстепенные характеристики, влияющие на исследуемый процесс, проанализировать расчетные (теоретические) схемы процесса. На основе этого анализа все факторы классифицируются и составляется из них убывающий по важности для данного эксперимента ряд. Правильный выбор основных и второстепенных факторов играет важную роль в эффективности эксперимента, поскольку эксперимент и сводится к нахождению зависимостей между этими факторами. Иногда бывает трудно сразу выявить роль основных и второстепенных факторов. В таких случаях необходимо выполнять небольшой по объему предварительный поисковый опыт.

Основным принципом установления степени важности характеристики является ее роль в исследуемом процессе. Для этого процесс изучается в зависимости от какой-то одной переменной при остальных постоянных. Такой принцип проведения эксперимента оправдывает себя лишь в тех случаях, когда таких характеристик мало — 1...3. Если же переменных величин много, целесообразен принцип многофакторного анализа, рассматриваемый ниже.

Необходимо также обосновать набор средств измерений (приборов) другого оборудования, машин и аппаратов. В связи с этим экспериментатор должен быть хорошо знаком с выпускаемой в стране измерительной аппаратурой (при помощи ежегодно издающихся каталогов, по которым можно заказать выпускаемые отечественным приборостроением те или иные средства

измерений). Естественно, что в первую очередь следует использовать стандартные, серийно выпускаемые машины и приборы, работа на которых регламентируется инструкциями, ГОСТами и другими официальными документами.

В отдельных случаях возникает потребность в создании уникальных приборов, установок, стендов, машин для разработки темы. При этом разработка и конструирование приборов и других средств должны быть тщательно обоснованы теоретическими расчетами и практическими соображениями о возможности изготовления оборудования. При создании новых приборов желательно использовать готовые узлы выпускаемых приборов или реконструировать существующие приборы. Ответственный момент — установление точности измерений и погрешностей¹.

Методы измерений должны базироваться на законах специальной науки — метрологии, изучающей средства и методы измерений.

При экспериментальном исследовании одного и того же процесса (наблюдения и измерения) повторные отсчеты на приборах, как правило, неодинаковы. Отклонения объясняются различными причинами — неоднородностью свойств изучаемого тела (материал, конструкция и т. д.), несовершенностью приборов и классов их точности, субъективными особенностями экспериментатора и др. Чем больше случайных факторов, влияющих на опыт, тем больше расхождения цифр, получаемых при измерениях, т. е. тем больше отклонения отдельных измерений от среднего значения. Это требует повторных измерений, а следовательно, необходимо знать их минимальное количество. Под потребным минимальным количеством измерений понимают такое количество измерений, которое в данном опыте обеспечивает устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности. Установление потребного минимального количества измерений имеет большое значение, поскольку обеспечивает получение наиболее объективных результатов при минимальных затратах времени и средств.

В методике подробно разрабатывается процесс проведения эксперимента, составляется последовательность

¹ См.: Тюрин Н. И. Введение в метрологию. М., 1973.

(очередность) проведения 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 (ранее установленном) 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. Обработка данных сводится к систематизации всех цифр, классификации, анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи — таблицы, графики, формулы, номограммы, позволяющие быстро и доброкачественно сопоставлять полученное и проанализировать результаты. Все переменные должны быть оценены в единой системе единиц физических величин.

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. Диапазон чувствительности (нечувствительности) критериев должен быть стабилизирован (эксплицирован).

Результаты экспериментов должны отвечать трем статистическим требованиям: требование эффективности оценок, т. е. минимальность дисперсии отклонения относительно неизвестного параметра; требование состоятельности оценок, т. е. при увеличении числа наблюдений оценка параметра должна стремиться к его истинному значению; требование несмещенности оценок — отсутствие систематических ошибок в процессе вычисления параметров. Важнейшей проблемой при проведении и обработке эксперимента является совместимость этих трех требований.

После разработки и утверждения методики устанавливается объем и трудоемкость экспериментальных исследований, которые зависят от глубины теоретических разработок, степени точности принятых средств измерений (чем четче сформулирована теоретическая часть исследования, тем меньше объем эксперимента). В зависимости от предварительной, теоретической, подготовки

возможны три случая проведения эксперимента: 1) если теоретически получена аналитическая зависимость, которая однозначно определяет исследуемый процесс (например, $y = 3e^{-2x}$), то объем эксперимента для подтверждения данной зависимости оказывается минимальным, поскольку функция однозначно определяется экспериментальными данными; 2) если теоретическим путем установлен лишь характер зависимости (например, $y = ae^{kx}$), т.е. задано семейство кривых, то экспериментальным путем необходимо определить как a , так и k и, следовательно, объем эксперимента возрастает; 3) если теоретически не удалось получить каких-либо зависимостей и разработаны лишь предположения о качественных закономерностях процесса, то целесообразен поисковый эксперимент, при котором объем экспериментальных работ резко возрастает. В таких случаях уместно применять метод математического планирования эксперимента.

На объем и трудоемкость проведения экспериментальных работ существенно влияет вид эксперимента. Например, полевые эксперименты, как правило, всегда 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.

План-программу рассматривает научный руководитель, обсуждают в научном коллективе и утверждают в установленном порядке.

При разработке плана-программы эксперимента всегда необходимо стремиться к его упрощению, наглядности без потери точности и достоверности. Это достигается предварительным анализом и сопоставлением результатов измерений одного и того же параметра различными техническими средствами, а также методов обработки полученных результатов. В условиях интенсификации проведения научных исследований важнейшее место в процессе подготовки эксперимента должно отводиться его автоматизации (АСНИ) с вводом экспериментальных данных непосредственно в ЭВМ, с расчетом результирующих показателей, с автоматическим управлением хода эксперимента (последовательности и повторимости замеров, определение средних значений, построение и т.д.).

9.2. Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований

Важное место в экспериментальных исследованиях¹ занимают измерения. Согласно ГОСТ 16263—70, измерение — это нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Суть измерения составляет сравнение измеряемой величины с известной величиной, принятой за единицу (эталон).

Теорией и практикой измерения 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 (величины, которым по определению присвоено числовое значение, равное единице) и их системы (совокупность основных и производных единиц, образованная в соответствии с некоторыми принципами, например, Международная система единиц — СИ); методы и средства измерений (к методам относят совокупность приемов использования принципов и технических средств, применяемых при измерениях и имеющих нормирование метрологических свойств); методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений, при которых результаты измерения выражены в узаконенных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью, что возможно при единообразии средств измерения (средства измерения должны быть прогнанированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам).

Важнейшие значения в метрологии отводятся эталонам и образцовым средствам измерений. К эталонам относятся средства измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающих воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим средствам измерения. Эталоны выполнены по особой спецификации. Эталонная база СССР содержит более 120 государственных эталонов, в том числе, например,

¹ См.: ГОСТ 16263—70. Метрология. Термины и определения; ГОСТ 8.009—84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений; ГОСТ 1.25—76. ГСС. Метрологическое обеспечение. Основные положения; ГОСТ 8.002—86. ГСИ. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения.

единицы длины, массы и др. Образцовые средства измерений служат для проверки по ним рабочих (технических) средств измерения, постоянно используемых непосредственно в исследованиях.

Передача размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам осуществляется государственными и ведомственными метрологическими органами, составляющими метрологическую службу СССР (ГОСТ 16263—70), их деятельность обеспечивает единство измерений и единообразие средств измерений в стране.

Метрологическая служба СССР связана со всей системой стандартизации в стране, поскольку метрология сама является по существу стандартизацией измерений и одной из основ стандартизации, так как обеспечивает достоверность, сопоставимость показателей качества, закладываемых в стандарты, дает методы определения и контроля таких показателей.

Эти предпосылки определяют то большое внимание, которое уделяется развитию метрологической службы во всех ее аспектах. Метрологическая служба СССР представляет собой разветвленную сеть научных и контрольно-испытательных организаций, способных выполнять значительные работы как в научно-теоретическом, так и в прикладных аспектах точных измерений. В настоящее время всю работу по стандартизации и метрологии в стране возглавляет Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР (Госстандарт СССР), задачами которого являются совершенствование системы стандартизации и метрологии, расширение масштабов использования стандартизации и метрологии как эффективного средства повышения технического уровня и качества продукции всех отраслей народного хозяйства, укрепление и развитие государственной метрологической службы, стандартизация методов, средств измерений и др.

Основоположником метрологии как науки в нашей стране был великий русский ученый Д. И. Менделеев, создавший в 1893 г. Главную Палату мер и весов, которой проведена, в частности, большая работа по внедрению метрической системы в СССР (1918—1927).

Созданный на базе Главной палаты Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ) является высшим научным метрологическим учреждением нашей страны. Затем бы-

ли созданы крупнейшие метрологические центры нашей страны — Всесоюзный научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС). Кроме указанных метрологических институтов в настоящее время работают научно-исследовательские метрологические институты в Харькове, Новосибирске, филиалы ВНИИМ им. Д. И. Менделеева в Свердловске и Тбилиси и филиалы ВНИИФТРИ в Казани, Иркутске, Хабаровске и Львове. Во всех союзных республиках организованы республиканские лаборатории надзора за стандартами и измерительной техникой, а в крупнейших научных и промышленных центрах — Москве, Ленинграде, Киеве, Харькове, Донецке, Днепропетровске и других — центры стандартизации и метрологии. В целом по стране существует свыше 400 государственных лабораторий надзора за стандартами и измерительной техникой и их отделений.

Важным звеном метрологической службы, организуемой как в министерствах и других ведомствах в целом, так и на отдельных, подчиненных им предприятиях, в научно-исследовательских институтах, вузах, является ведомственная метрологическая служба — важная составная часть метрологической службы страны, предназначенная для проведения повседневной систематической работы в данном ведомстве или на данном предприятии по обеспечению общегосударственного единства измерений. Из этого вытекает неразрывная связь ведомственной метрологической службы с государственной, которая в этом вопросе является ведущей, решающей и контролирующей.

Функциями органов ведомственной службы являются надзор за состоянием всех средств измерений, находящихся в применении, хранящихся в местах выдачи и на складах; правильным применением измерительных и испытательных устройств; всеми средствами поверки, которые в большинстве случаев находятся в непосредственном ведении органов ведомственной метрологической службы, а также разработка методов поверки средств измерений с максимальным приближением условий поверки к условиям эксплуатации, контроль за соблюдением стандартов на методы измерений и разработка этих стандартов. Эти же службы осуществляют метрологический контроль операций по испытанию готовой продукции и совершенствованию методов контроля и испытаний

в целях обеспечения повышения качества продукции и др.

Методы измерения можно подразделить на прямые и косвенные. При прямых измерениях искомую величину устанавливают непосредственно из опыта, при косвенных — функционально от других величин, определенных прямыми измерениями, например $b=f(a)$, где b — величина, найденная с помощью косвенных измерений.

Различают также абсолютные и относительные измерения. Абсолютные — это прямые измерения в единицах измеряемой величины; относительные измерения представляют собой отношение измеряемой величины к одноименной величине, играющей роль единицы или измерения этой величины по отношению к одноименной, принимаемой за исходную. Например, влажность воздуха принимается в относительных единицах (процентах) по отношению к полному его водонасыщению.

В исследованиях применяются совокупные и совместные измерения. При совокупных измерениях одновременно измеряются несколько одноименных величин, а искомую величину при этом находят путем решения системы уравнений. При совместных измерениях — одновременно проводят измерения неоднородных величин для нахождения зависимости между ними.

Выделяется несколько основных методов измерения.

Метод непосредственной оценки соответствует определению значения величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение массы на циферблатных весах). При использовании метода сравнения с мерой измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (например, измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями). При методе противопоставления осуществляется сравнение с мерой (измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами, как, например, при измерении массы на равноплечных весах с помещением измеряемой массы и гирь на двух противоположных чашках весов). При дифференциальном методе на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизво-

димой мерой (например, измерения, выполняемые при проверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе). При нулевом методе результирующий эффект воздействия величины на прибор доводят до нуля (например, измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием). При методе замещения измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гири на одну и ту же чашку весов). При методе совпадений разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой измеряется с использованием совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Неотъемлемой частью экспериментальных исследований являются средства измерений, т. е. совокупность технических средств, имеющих нормированные погрешности, которые дают необходимую информацию для экспериментатора.

В настоящее время приборостроением СССР выпускается большое количество средств измерений и наблюдений для измерения показателей — физических, механических, химических свойств, а также структуры материала и изделия и т. д. Наряду с этим можно выделить средства измерения, позволяющие непосредственно определить испытуемый показатель (например, пресс для определения прочности материалов), и измерения, которые дают возможность косвенно судить об исследуемом показателе (ультразвуковые дефектоскопы позволяют оценить прочность материала по скорости прохождения ультразвука). К средствам измерений относят меры, измерительные приборы, установки и системы. Простейшим средством измерения является мера, предназначенная для воспроизведения физической величины заданного размера (например, гиря — мера массы).

Измерительным прибором называют средство измерения, предназначенное для получения определенной информации об изучаемой величине в удобной для экспериментатора форме. В этих приборах измеряемая величина преобразуется в показание или сигнал. Они состоят из двух основных узлов: воспринимающего сигнал и преобразующего в показание. Приборы классифицируют, например, по способу отсчета значения измеряемой величины на показывающие и регистрирующие. Наибольшее распространение получили показывающие аналого-

вые приборы, отсчетные устройства которых состоят из шкалы и указателя. Эти приборы дают показания без каких-либо дополнительных операций экспериментатора. Однако меньшую погрешность имеют показывающие цифровые приборы (механические, электронные и др.). Отсчетный механизм таких приборов фиксирует измеряемую величину в виде цифр. Регистрирующие приборы бывают самопишущими и печатными. Самопишущие приборы (термограф, шлейфовый осциллограф и др.) выдают график измерений. Печатные приборы выдают измерения в виде цифр на ленте. Приборы также классифицируют по точности измерений, стабильности показаний, чувствительности, пределам измерения и др.

Измерительная установка (стенд) представляет собой систему, состоящую из основных и вспомогательных средств измерений, предназначенных для измерения одной или нескольких величин. Установки включают в себя различные средства измерений и преобразователи, предназначенные для одно- или многоступенчатого преобразования сигнала до такого уровня, чтобы можно было зафиксировать его измерительным механизмом. Преобразователи, которые увеличивают в несколько раз на выходе величину без изменения ее физической сущности, называют масштабными (трансформаторы, электронные усилители и др.). Имеются также преобразователи, которые входной сигнал могут преобразовывать, меняя его физическую сущность. Так, электромеханический преобразователь преобразовывает электрический сигнал на входе в механический на выходе или наоборот. Один прибор может иметь несколько преобразователей, изменяющих на выходе измеряемую величину в различных диапазонах, удобных при измерении определенной величины. Измерительные установки могут вырабатывать также сигналы, удобные для автоматической обработки результатов измерений. Нередко при проведении экспериментов приходится создавать измерительные установки с фиксацией различных физических величин.

Выходной сигнал средств измерения фиксируется отсчетными устройствами, которые бывают шкальными, цифровыми и регистрирующими. Шкала является важной частью прибора. Расстояние в миллиметрах между двумя смежными отметками на шкале называют длиной деления шкалы. Разность между значениями измеряемой величины, соответствующую началу и концу шкалы, называют диапазоном показаний прибора.

Измерительные приборы (отсчетные устройства) характеризуются величиной погрешности и точности, стабильностью измерений и чувствительностью. Погрешности приборов бывают абсолютными и относительными. Под абсолютной погрешностью измерительного прибора принимается величина $b = \pm (x_{\text{и}} - x_{\text{д}})$, где $x_{\text{и}}$ — показания прибора (номинальное значение измеряемой величины); $x_{\text{д}}$ — действительное значение измеренной величины, полученное более точным методом. Погрешность средства измерения — одна из важнейших его характеристик. Она возникает вследствие недоброкачественных материалов, комплектующих изделий, применяемых для приготовления приборов; плохого качества изготовления приборов; неудовлетворительной эксплуатации и др. Существенное влияние оказывают градуировка шкалы и периодическая поверка приборов. Кроме этих систематических погрешностей возникают случайные, обусловленные сочетаниями различных случайных факторов — ошибками отсчета, параллаксом, вариацией и т. д. Таким образом, необходимо рассматривать не какие-либо отдельные, а суммарные погрешности приборов.

Относительная погрешность определяется отношением $b_{\text{отн}} = \pm (x_{\text{и}} - x_{\text{д}}) 100 / x_{\text{д}}$.

Суммарные погрешности, установленные при нормальных условиях ($t_{\text{в}} = 20^\circ \text{C}$; влажность воздуха 80 %; $p = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$), называют *основными погрешностями прибора*.

Диапазоном измерений называют ту часть диапазона показаний прибора, для которой установлены погрешности прибора (если известны погрешности прибора, то диапазон измерений и показаний прибора совпадает). Диапазон измерений является важной характеристикой прибора. Если шкала измерений изменяется от 0 до N , то в характеристике на прибор диапазон указывают в пределах $0 \dots N$. Ряд приборов с нижним пределом измерения 0 имеет большую погрешность в интервале $0 \dots 25\%$ от верхнего предела измерений. Поэтому имеется много приборов без нижнего нулевого предела измерения, например $100 \dots 1000 \text{ Н/м}^2$. Приборы нельзя перегружать, хотя некоторые приборы выдерживают перегрузки, но со временем погрешности у верхнего предела измерений существенно возрастают.

Разность между максимальным и минимальным показаниями прибора называют *размахом*. Если эта величина непостоянная, т. е. если при обратном ходе имеется

увеличение или уменьшение хода, то эту разность называют *вариацией показаний* W . Величина W — это простейшая характеристика погрешности прибора. Другой характеристикой прибора является его чувствительность, т. е. способность отсчитывающего устройства реагировать на изменения измеряемой величины. Под порогом чувствительности прибора понимают наименьшее значение измеренной величины, вызывающее изменение показания прибора, которое можно зафиксировать.

Основной характеристикой прибора является его точность. Она характеризуется суммарной погрешностью.

Средства измерения делятся на классы точности. Класс точности — это обобщенная характеристика, определяемая пределами основной и дополнительных допускаемых погрешностей, влияющих на точность.

Стабильность (воспроизводимость прибора) — это свойство отсчетного устройства обеспечивать постоянство показаний одной и той же величины. Со временем в результате старения материалов стабильность показаний приборов нарушается. Стабильность прибора определяется вариацией показания. Поэтому при установлении стабильности нормируют величину допускаемой вариации W_d . Поскольку вариация принимается с одним знаком, а допускаемая погрешность имеет положительные или отрицательные значения, то $W_d = 0,5 b_d$, где b_d — допустимая относительная погрешность прибора.

На все измерительные приборы в той или иной мере действует *магнитное поле*. Поэтому ряд электроизмерительных приборов должен быть защищен от действия магнитного поля, а также электростатических явлений. В специальной метрологической литературе разработаны схемы защит I (более высокая) и II категорий.

В последние годы при исследованиях различных процессов стали широко применяться электрические, электронные, частотные, радиоизотопные и другие приборы. Такие приборы, как правило, требуют дополнительной защиты от пыли, вибрации, газа, света и др. Отсутствие такой защиты может вызвать погрешности, превышающие допустимые. Все средства измерения (приборы, используемые для измерения в научных исследованиях) проходят *периодическую поверку* на точность. Такая поверка предусматривает определение и по возможности уменьшение погрешностей приборов. Поверка позволяет

установить соответствие данного прибора регламентированной степени точности и определяет возможность его применения для данных измерений, т. е. определяются погрешности и устанавливается, не выходят ли они за пределы допускаемых значений. Поверку средств измерений производят на различных уровнях — от специальных государственных организаций до низовых звеньев. Государственные метрологические институты и лаборатории по надзору за стандартами и измерительной техникой производят государственный контроль за обеспечением в стране единства мер.

На высокоточные измерительные средства государственные метрологические организации выдают специальное свидетельство, в котором после поверки указывают номинальные значения измеряемой величины, класс точности, предельную допускаемую погрешность, результаты поверки погрешности прибора в виде таблиц, вариации измерений. Для приборов меньшей ответственности свидетельство может не выдаваться и заменяться лишь указанием о том, что прибор удовлетворяет требованиям стандарта или инструкции. Вместо инструкции прибор (или футляр) снабжают клеймом поверки.

Измерительные приборы и установки различных организаций подвергают обязательной государственной поверке раз в 1...2 года. При хорошем обращении с приборами этого срока вполне достаточно для гарантированной эксплуатации. Однако в ряде случаев вследствие небрежного обращения с приборами их эксплуатационно-измерительные характеристики могут нарушаться и тогда поверка требуется раньше.

В периоды между государственными поверками осуществляется ведомственная поверка средств измерений, которая по объему работ иногда мало чем отличается от государственных поверок, но, как правило, проводится по сокращенной программе. Такие поверки более оперативны (чем государственные) и проводятся по специальному графику, разработанному для данной организации.

Анализ эксплуатационных качеств измерительных средств показал, что приборы и установки, хранимые длительное время на складах (1...2 года), подвергаются старению и ухудшают свои свойства. Иногда при этом погрешности превышают допустимые значения. Поэтому измерительные средства, хранимые на складе, перед применением необходимо обязательно подвергнуть поверке.

Рабочая поверка средств измерений проводится в низовых звеньях каждым экспериментатором непосредственно в организациях перед началом измерений и наблюдений. В процессе рабочей поверки приходится производить различные операции: определять диапазон измерений, вариации измерений и др. В отдельных случаях выполняют регулировку и градуировку средств измерений.

Под регулировкой прибора понимают операции, направленные на снижение систематических ошибок до величины, меньшей допустимой погрешности. Измерительные приборы обычно снабжены двумя узлами для регулировки нуля и чувствительности. Регулировка нуля предназначена для устранения систематических ошибок в диапазоне нижнего предела измерений.

В ряде случаев возникают систематические погрешности, линейно возрастающие или убывающие с изменением измеряемой величины. Такую погрешность регулировкой нуля устранить невозможно. Ее можно уменьшить с помощью регулировки чувствительности. Так как погрешность различна на разных участках длины шкалы, то с помощью одновременной регулировки узла нуля и чувствительности достигают существенного снижения систематической ошибки прибора в начале, середине и конце диапазона измерений.

Наиболее распространенным способом поверки приборов и оценки его эксплуатационных характеристик является способ сравнения. Суть его сводится к сопоставлению поверяемого прибора с образцовым при измерении одной и той же величины. По отсчетам судят о погрешностях, которые имеет поверяемый прибор.

Важным моментом в организации эксперимента является выбор средств измерений. Средства измерения должны максимально соответствовать тематике, цели и задачам НИР; обеспечивать высокую производительность труда экспериментальных работ; обеспечивать требуемое качество экспериментальных работ (т. е. заданную степень точности при минимальном количестве измерений, высокую воспроизводимость и надежность); в наибольшей степени исключать систематические ошибки (желательно максимально использовать средства измерений с автоматической записью); иметь высокую экономическую эффективность (т. е. минимум затрат людских, денежных и материальных ресурсов); обеспечивать эргономические требования эксперимента (антропо-

метрические, санитарно-гигиенические, психофизиологические и др.); обеспечивать требования техники безопасности и пожарной профилактики.

Таким образом, метрологическое обеспечение научных исследований и особенно обеспечение единства измерений и однообразия средств измерения является важнейшим фактором успешного проведения научных исследований. Без успешного развития метрологии невозможен прогресс в развитии науки и, наоборот, без успешного развития науки невозможен прогресс в метрологии.

9.3. Рабочее место экспериментатора и его организация

Рабочим местом называется часть рабочего пространства, на которое распространяется непосредственное воздействие экспериментатора в процессе исследования. Рабочее пространство — это часть лабораторного или производственного помещения, оснащения необходимыми экспериментальными средствами и обслуживаемая одним или группой исследователей. Рабочее пространство может быть стационарным (в лабораториях, научно-исследовательских учреждениях, полигонах и т. п.); 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 три типа исследовательских лабораторий: *стационарные, передвижные и ходовые.*

Рабочее место стационарной лаборатории комплектуется специальным рабочим столом.

В зависимости от назначения лаборатории каждый лабораторный стол кроме воды, электричества и газа может дополнительно обеспечиваться подводкой пара, сжатого воздуха и общего вакуума. На столах размещаются также штепсели для включения электромоторчиков, настольных ламп, вычислительных машинок, нагревательных приборов (паяльники, плитки), размещаемых на кусках толстого листового асбеста.

Особое внимание надо уделять освещенности рабочего места.

Оборудование передвижных лабораторий близко

к стационарным, но несколько уступает им из-за нехватки площадей.

Передвижные лаборатории вместо лабораторных столов оснащаются рабочей поверхностью (откидной стол) для ведения необходимых записей в процессе проведения эксперимента.

Исследователь (экспериментатор) в лаборатории выполняет ответственную работу, от которой часто зависит правильность решения теоретической или практической задачи в целом. Точность при выполнении предписаний методики, аккуратность, тщательность подготовки эксперимента, внимательность при его проведении — главные условия эффективности экспериментальной работы. Приступая к проведению эксперимента, исследователь должен еще раз обдумать и уточнить методику, подготовить всю необходимую документацию (акты, лабораторные тетради, журналы), которая предназначена для регистрации хода и результатов опытов.

Все анализы, определения и наблюдения необходимо записывать в специальный журнал, форма которого должна наилучшим образом соответствовать исследуемому процессу с максимальной фиксацией всех фактов и условий их появления. При получении в одном статистическом ряду результатов, резко отличающихся от соседних измерений, исполнитель должен тем не менее записать все данные без искажений и указать обстоятельства, сопутствующие указанному измерению. Это потом позволит установить причины отклонений (искажений) и соответствующим образом квалифицировать такие измерения. Если в процессе измерения необходимы простейшие расчеты, то они должны быть внесены в журнал или в отдельную тетрадь с указанием дня или месяца проведения опыта, номера и серии опытов.

Лабораторные журналы и тетради — важные документы. Поэтому они должны содержаться в порядке и обеспечивать возможность легкой проверки. Нужно стремиться не допускать исправлений, а в случае необходимости они должны делаться так, чтобы не происходило путаницы при расчетах. Каждое исправление должно сопровождаться подписью экспериментатора и краткой справкой о причинах исправлений. Никаких записей или пометок, не относящихся к делу, в лабораторных журналах и тетрадях делать нельзя.

При проведении эксперимента исполнитель должен непрерывно следить за средствами измерений, устойчиво-

стью аппаратов и установок, правильностью их показаний, характеристикой окружающей среды, не допускать посторонних лиц в рабочую зону. Исполнитель обязан систематически проводить поверку средств измерений.

Одновременно с производством последующих измерений исполнитель должен проводить предварительную обработку результатов и их анализ. Здесь особо должны проявляться его творческие особенности. Такой анализ позволяет контролировать исследуемый процесс, корректировать эксперимент, улучшать методику и повышать эффективность эксперимента.

В процессе экспериментальных работ необходимо соблюдать требования инструкций по промсанитарии, технике безопасности, пожарной профилактики. Особое внимание следует уделять задаче уменьшения шума при эксперименте, состоянию газовых кранов и электрооборудованию. Все электроприборы должны быть заземлены. Газовые краны должны периодически проверяться на утечку газа специалистами.

Особо тщательно необходимо соблюдать перечисленные требования при выполнении производственных экспериментов. Вследствие больших объемов работ и значительной их трудоемкости ошибки, допущенные в процессе эксперимента, могут существенно увеличить продолжительность исследований и уменьшить их точность.

Вначале результаты измерений сводят в таблицы по варьирующим характеристикам для различных изучаемых вопросов, тщательно изучают сомнительные цифры, резко отличающиеся от статистического ряда наблюдений, от средних значений. При анализе цифр необходимо установить точность, с которой нужно производить обработку опытных данных (точность обработки не должна быть выше точности измерений).

Особое место принадлежит анализу эксперимента. Это завершающая часть, на основе которой делают вывод о подтверждении гипотезы научного исследования. Анализ эксперимента — это творческая часть исследования. Иногда за цифрами трудно четко представить физическую сущность процесса. Поэтому требуется особо тщательное сопоставление фактов, причин, обуславливающих ход того или иного процесса, и установление адекватности гипотезы и эксперимента.

Результаты некоторых лабораторных и большинства производственных экспериментов оформляются протоко-

дом, который подписывается экспериментатором и руководителями производства. Если испытаниям подвергались люди, то протокол подписывается испытуемыми.

9.4. Влияние психологических факторов на ход и качество эксперимента

В процессе проведения эксперимента измерения различных показателей не могут быть выполнены абсолютно точно, поскольку сами измерительные приборы, инструменты имеют определенную погрешность. Погрешности измерений возникают также вследствие несовершенства методов и средств измерений, недостаточно тщательного проведения опыта, влияния различных неучтенных факторов в процессе опыта, субъективных особенностей экспериментатора.

Погрешности изменений классифицируют на систематические и случайные. *Систематическими* называются такие, которые при повторных экспериментах остаются постоянными (или изменяются по известному закону). Если числовые значения этих погрешностей известны, их можно учесть во время повторных измерений. *Случайными* называются погрешности, возникающие случайно при повторном измерении. Эти измерения не могут быть исключены как систематические. Однако при многократных повторениях с помощью статистических методов можно исключить наиболее отклоняющиеся случайные измерения.

Следует заметить, что получение и обработка статистических данных требуют большого внимания и навыков. Разновидностью случайных погрешностей являются грубые погрешности или промахи, существенно превышающие систематические или случайные погрешности. Промахи и грубые погрешности вызваны, как правило, ошибками экспериментатора. Их легко обнаружить и впоследствии не учитывать при анализе.

Если в ряде одинаковых измерений встречаются измерения с очень большими случайными ошибками, имеющими малую вероятность, то такие измерения относят к промахам экспериментатора и отбрасывают. Однако при этом нужно помнить, что хотя и существует очень малая (но отличная от нуля) вероятность того, что отброшенное число является не промахом, а естественным статистическим отклонением, пренебрежение им, как правило, не приводит к существенному ухудшению оцен-

ки результатов измерений. Действительно, в процессе эксперимента иногда бывает трудно отделить систематические погрешности от случайных, но при тщательном и многократном эксперименте все же можно это сделать. Основная задача измерений заключается в том, чтобы осуществлять измерения с наименьшими погрешностями, использовать все возможные методы устранения систематических и случайных ошибок.

Систематические погрешности можно разделить на следующие группы: инструментальные погрешности, возникающие вследствие нарушений средств измерений за счет дополнительных люфтов, неточности градуировочной шкалы, износа и старения узлов и деталей средств измерения и т. п.; возникающие из-за неправильной установки средств измерения; возникающие в результате действия внешней среды (высоких температур воздуха, магнитных и электрических полей, атмосферного давления и влажности воздуха, вибраций и колебаний от движущегося транспорта и др.); субъективные погрешности, возникающие вследствие индивидуальных физиологических, психофизиологических, антропологических свойств человека, а также погрешности метода, появляющиеся в результате недостаточной обоснованности метода измерений (при различных упрощениях схем или функциональных зависимостей, при отсутствии теоретических обоснований метода измерения, малом количестве повторов и др.).

Систематические погрешности 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. Одним из эффективных методов устранения систематических ошибок является исключение их в процессе повторных измерений величин. Применяют также метод замещения, при котором в процессе измерений вместо исследуемого объекта устанавливают эталонированный, заранее измеренный с высокой точностью. Разность в измерениях позволяет найти погрешность измерительного средства. Если все же нельзя установить значения систематических погрешностей, то ограничиваются оценкой их границ.

Особое место среди погрешностей измерений занимают субъективные, источниками которых часто являются

ся психологические или психофизиологические причины. Например, из-за недостаточного зрения экспериментатор может недостаточно точно считывать показания приборов. Для устранения такого рода погрешностей нужно обеспечить требуемое освещение и подбирать соответствующую градуировку шкал приборов. Психологическими причинами погрешностей являются различные психологические барьеры и инерционность мышления. Часто новые неожиданные результаты эксперимента исследователь стремится понять в рамках старых представлений, и если они не укладываются в старые представления, то рассматриваются как промахи и отбрасываются. Здесь сказываются инерционность мышления, вера в совершенство и универсальность старых представлений, иногда боязнь нового. Иногда исследователь в процессе анализа результатов эксперимента бессознательно подгоняет экспериментальные данные, чтобы подтвердить ранее выдвинутую гипотезу. Эта опасность особенно велика, если вывод делается на основании данных, на которых могут существенно сказываться ошибки измерения и влияние неучитываемых факторов. В таких условиях нетрудно подобрать достаточное количество фактов, подтверждающих принятую гипотезу, объяснить заметные отклонения промахами и тем самым уйти от истины. Для исключения таких ошибок известный физик Резерфорд проводил серии опытов, показатели которых учитывали студенты, не знавшие, в чем заключается опыт, а кривые по полученным точкам проводили другие люди, также не знавшие, что должно получиться. Применение такой методики обработки материалов эксперимента позволило Резерфорду и его ученикам не сделать ни одного ошибочного открытия, в то время как их было немало в других лабораториях. Иногда ошибки эксперимента связаны с тем, что исследователь не представляет себе четко, что он собирается получить. В результате не учитываются важнейшие факторы, что затрудняет анализ экспериментальных данных.

Все вышеизложенное показывает, что любой результат эксперимента должен восприниматься критически и многократно проверяться. Лучше перепроверку 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 продолжаются длительное время, рекомендуется проводить периодически их обсуждение в научном коллективе. Это позволяет скорректировать ход эксперимента, направить его в требуемое русло.

9.5. Вычислительный эксперимент

Вычислительным экспериментом называется методология и технология исследований, основанные на применении прикладной математики и электронно-вычислительных машин как технической базы при использовании математических моделей. Таким образом, вычислительный эксперимент основывается на создании математических моделей изучаемых объектов, которые формируются с помощью некоторой особой математической структуры, способной отражать свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях.

Однако эти математические структуры превращаются в модели лишь тогда, когда элементам структуры дается физическая интерпретация, когда устанавливается соотношение между параметрами математической структуры и экспериментально определенными свойствами объекта, когда характеристики элементов модели и самой модели в целом находят соответствие свойствам объекта. Таким образом, математические структуры вместе с описанием соответствия экспериментально обнаруженным свойствам объекта и являются моделью изучаемого объекта, отражая в математической, символической (знаковой) форме объективно существующие в природе зависимости, связи и законы. Модель может (если возможно) сопровождаться элементами наглядности и поясняться наглядным образом. В какой-то своей части она может осуществляться с каким-либо наглядным образом или реальным устройством, а модель сложного устройства может по каким-то свойствам уподобляться модели простого объекта.

Таким образом, каждый вычислительный эксперимент основывается как на математической модели, так и на приемах вычислительной математики. Современная вычислительная математика состоит из многих разделов, развивающихся вместе с развитием электронно-вычислительной техники. Так, например, в последнее время появился дискретный анализ, дающий возможность полу-

чения любого численного результата только с помощью арифметических и логических действий. Задача вычислительной математики здесь сводится к представлению решений (точно или приближенно) в виде последовательности арифметических операций, т. е. алгоритма решения.

На основе математического моделирования и методов вычислительной математики создались теория и практика вычислительного эксперимента, технологический цикл которого принято разделять на следующие этапы.

1. Для исследуемого объекта строится модель, обычно сначала физическая, фиксирующая разделение всех действующих в рассматриваемом явлении факторов на главные и второстепенные, которые на данном этапе исследования отбрасываются; одновременно формулируются допущения и условия применимости модели, границы, в которых будут справедливы полученные результаты; модель записывается в математических терминах, как правило, в виде дифференциальных или интегродифференциальных уравнений; создание математической модели проводится специалистами, хорошо знающими данную область естествознания или техники, а также математиками, представляющими себе возможности решения математической задачи.

2. Разрабатывается метод расчета сформулированной математической задачи. Эта задача представляется в виде совокупности алгебраических формул, по которым должны вестись вычисления и условия, показывающие последовательность применения этих формул; набор этих формул и условий носит название вычислительного алгоритма. Вычислительный эксперимент имеет многовариантный характер, так как решения поставленных задач часто зависят от многочисленных входных параметров. Тем не менее каждый конкретный расчет в вычислительном эксперименте проводится при фиксированных значениях всех параметров. Между тем в результате такого эксперимента часто ставится задача определения оптимального набора параметров. Поэтому при создании оптимальной установки приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значением некоторых параметров. В связи с этим при организации вычислительного эксперимента можно использовать эффективные численные методы.

3. Разрабатываются алгоритм и программа решения задачи на ЭВМ. Программирование решений определяется теперь не только искусством и опытом исполнителя, а перерастает в самостоятельную науку со своими принципиальными подходами.

4. Проведение расчетов на ЭВМ. Результат получается в виде некоторой цифровой информации, которую далее необходимо будет расшифровать. Точность информации определяется при вычислительном эксперименте достоверностью модели, положенной в основу эксперимента, правильностью алгоритмов и программ (проводятся предварительные «тестовые» испытания).

5. Обработка результатов расчетов, их анализ и выводы. На этом этапе могут возникнуть необходимость уточнения математической модели (усложнения или, наоборот, упрощения), предложения по созданию упрощенных инженерных способов решения и формул, дающих возможности получить необходимую информацию более простым способом.

Вычислительный эксперимент приобретает исключительное значение в тех случаях, когда натурные эксперименты и построение физической модели оказываются невозможными. Особенно ярко можно проиллюстрировать значение вычислительного эксперимента при исследовании масштабов современного воздействия человека на природу. То, что принято называть климатом — устойчивое среднее распределение температуры, осадков, облачности и т. д., — представляет собой результат сложного взаимодействия грандиозных физических процессов, протекающих в атмосфере, на поверхности земли и в океане. Характер и интенсивность этих процессов в настоящее время изменяются значительно быстрее, чем в сравнительно близком геологическом прошлом в связи с воздействием загрязнения воздуха промышленными выбросами углекислого газа, пыли и т. д. Климатическую систему можно исследовать, строя соответствующую математическую модель, которая должна описывать эволюцию климатической системы, учитывающей взаимодействующие между собой атмосферы океана и суши. Масштабы климатической системы настолько грандиозны, что эксперимент даже в одном каком-то регионе чрезвычайно дорог, не говоря уже о том, что вывести такую систему из равновесия было бы опасно.

Таким образом, глобальный климатический эксперимент возможен, но не натуральный, а вычислительный, про-

водящий исследования не реальной климатической системы, а ее математической модели¹.

В науке и технике известно немало областей, в которых вычислительный эксперимент оказывается единственно возможным при исследовании сложных систем.

ГЛАВА X

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10.1. Основы теории случайных ошибок и методов оценки случайных погрешностей в измерениях

Анализ случайных погрешностей основывается на теории случайных ошибок, дающей возможность с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и оценить возможные ошибки.

Основу теории случайных ошибок составляют предположения о том, что при большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака встречаются одинаково часто; большие погрешности встречаются реже, чем малые (вероятность появления погрешности уменьшается с ростом ее величины); при бесконечно большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению всех результатов измерений, а появление того или иного результата измерения как случайного события описывается нормальным законом распределения.

Различают генеральную и выборочную совокупность измерений. Под генеральной совокупностью подразумевают все множество возможных значений измерений x_i или возможных значений погрешностей Δx_i . Для выборочной совокупности число измерений n ограничено, и в каждом конкретном случае строго определяется. Обычно считают, если $n > 30$, то среднее значение данной совокупности измерений \bar{x} достаточно приближается к его истинному значению.

¹ См.: Александров В. В. Архипов П. Р., Пархоменко В. П., Стенчиков Г. Л. Глобальная модель системы океан — атмосфера и исследование ее чувствительности к изменению концентрации CO_2 // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1983. Т. XIX; Александров В. В., Стенчиков Г. Л. Об одном вычислительном эксперименте, моделирующем климатические последствия ядерной войны. Вычислительная математика и мат-физика. 1984. Т. XXIV.

Теория случайных ошибок позволяет оценить точность и надежность измерения при данном количестве замеров или определить минимальное количество замеров, гарантирующее требуемую (заданную) точность и надежность измерений. Наряду с этим возникает необходимость исключить грубые ошибки ряда, определить достоверность полученных данных и др.

Интервальная оценка с помощью доверительной вероятности. Для большой выборки и нормального закона распределения общей оценочной характеристикой измерения являются дисперсия D и коэффициент вариации k_v :

$$D = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1); \quad k_v = \sigma / \bar{x}. \quad (10.1)$$

Дисперсия характеризует однородность измерения. Чем выше D , тем больше разброс измерений. Коэффициент вариации характеризует изменчивость. Чем выше k_v , тем больше изменчивость измерений относительно средних значений, k_v оценивает также разброс при оценке нескольких выборок.

Доверительным называется интервал значений x_i , в который попадает истинное значение x_d измеряемой величины с заданной вероятностью. Доверительной вероятностью (достоверностью) измерения называется вероятность того, что истинное значение измеряемой величины попадает в данный доверительный интервал, т. е. в зону $a \leq x_d \leq b$. Эта величина определяется в долях единицы или в процентах. Доверительная вероятность p_d описывается выражением

$$p_d = p[a \leq x_d \leq b] = (1/2) [\varphi(b - \bar{x})/\sigma - \varphi(a - \bar{x})/\sigma],$$

где $\varphi(t)$ — интегральная функция Лапласа (табл. 10.1), определяемая выражением

$$\varphi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt.$$

Аргументом этой функции является отношение μ к среднеквадратичному отклонению σ , т. е.

$$t = \mu / \sigma, \quad (10.2)$$

где t — гарантийный коэффициент;

$$\mu = b - \bar{x}; \quad \mu = -(a - \bar{x}).$$

Интегральная функция Лапласа

t	p_d	t	p_d	t	p_d
0,00	0,0000	0,75	0,5467	1,50	0,8664
0,05	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904
0,15	0,1192	0,90	0,6319	1,65	0,9011
0,20	0,1585	0,95	0,6579	1,70	0,9109
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357
0,40	0,3108	1,15	0,7419	1,90	0,9426
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,25	0,9756
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,50	0,9876
0,65	0,4843	1,40	0,8385	3,00	0,9973
0,70	0,5161	1,45	0,8529	4,00	0,9999

Если же на основе определенных данных установлена доверительная вероятность p_d (часто ее принимают равной 0,90; 0,95; 0,9973), то устанавливается точность измерений (доверительный интервал 2μ) на основе соотношения $p_d = \Phi(\mu/\sigma)$. Половина доверительного интервала равна

$$\mu = \sigma \arg \Phi(p_d) = \sigma t, \quad (10.3)$$

где $\arg \Phi(p_d)$ — аргумент функции Лапласа, а при $n < 30$ — функции Стьюдента (табл. 10.2). Доверительный интервал характеризует точность измерения данной выборки, а доверительная вероятность — достоверность измерения. Пусть, например, выполнено 30 измерений прочности дорожной одежды участка автомобильной дороги при среднем модуле упругости одежды $E = 170$ МПа и вычисленном значении среднеквадратического отклонения $\sigma = 3,1$ МПа.

Требуемую точность измерений можно определить для разных уровней доверительной вероятности ($p_d = 0,9$; 0,95; 0,9973), приняв значения t по табл. 10.1. В этом случае соответственно $\mu = \pm 3,1 \cdot 1,65 = 5,1$; $\pm 3,1 \cdot 2,0 = 6,2$; $\pm 3,1 \cdot 3,0 = 9,3$ МПа. Следовательно, для данного средства и метода доверительный интервал возрастает примерно в два раза, если увеличить p_d только на 10 %.

Коэффициент Стьюдента $\alpha_{ст}$

n	p_d					
	0,80	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
2	3,080	6,31	12,71	63,70	127,30	637,20
3	1,886	2,92	4,30	9,92	14,10	31,60
4	1,638	2,35	3,188	5,84	7,50	12,94
5	1,533	2,13	2,77	4,60	5,60	8,61
6	1,476	2,02	2,57	4,03	4,77	6,86
7	1,440	1,94	2,45	3,71	4,32	9,96
8	1,415	1,90	2,36	3,50	4,03	5,40
9	1,397	1,86	2,31	3,36	3,83	5,04
10	1,383	1,83	2,26	3,25	3,69	4,78
12	1,363	1,80	2,20	3,11	3,50	4,49
14	1,350	1,77	2,16	3,01	3,37	4,22
16	1,341	1,75	2,13	2,95	3,29	4,07
18	1,333	1,74	2,11	2,90	3,22	3,96
20	1,328	1,73	2,09	2,86	3,17	3,88
30	1,316	1,70	2,04	2,75	3,20	3,65
40	1,306	1,68	2,02	2,70	3,12	3,55
50	1,298	1,68	2,01	2,68	3,09	3,50
60	1,290	1,67	2,00	2,66	3,06	3,46
∞	1,282	1,64	1,96	2,58	2,81	3,29

n — число параллельных серий опытов.

Если необходимо определить достоверность измерений для установленного доверительного интервала, например $\mu = \pm 7$ МПа, то по формуле (10.2) $t = \mu/\sigma = 7/3,1 = 2,26$. По табл. 10.1 для $t = 2,26$ определяем $p_d = 0,97$. Это означает, что в заданный доверительный интервал из 100 измерений не попадают только три.

Значение $(1 - p_d)$ называют *уровнем значимости*. Из него следует, что при нормальном законе распределения погрешность, превышающая доверительный интервал, будет встречаться один раз из $n_{и}$ измерений, где

$$n_{и} = p_d / (1 - p_d), \quad (10.4)$$

или иначе приходится браковать одно из $n_{и}$ измерений.

По данным приведенного выше примера можно вычислить количество измерений, из которых одно измерение превышает доверительный интервал. По формуле (10.4) при $p_d = 0,9$; определяется $n_{и} = 0,9 / (1 - 0,9) = 9$ измерений. При p_d , равной 0,95 и 0,9973, соответственно 19 и 367 измерений.

Определение минимального количества измерений.

Для проведения опытов с заданной точностью и достоверностью необходимо знать то количество измерений, при котором экспериментатор уверен в положительном исходе. В связи с этим одной из первоочередных задач при статических методах оценки является установление минимального, но достаточного числа измерений для данных условий. Задача сводится к установлению минимального объема выборки (числа измерений) N_{\min} при заданных значениях доверительного интервала 2μ и доверительной вероятности. При выполнении измерений необходимо знать их точность:

$$\Delta = \sigma_0 \sqrt{x}, \quad (10.5)$$

где σ_0 — среднеарифметическое значение среднеквадратичного отклонения σ , равное $\sigma_0 = \sigma / \sqrt{n}$.

Значение σ_0 часто называют *средней ошибкой*. Доверительный интервал ошибки измерения Δ определяется аналогично для измерений $\mu = t\sigma_0$. С помощью t легко определить доверительную вероятность ошибки измерений из табл. 10.1.

В исследованиях часто по заданной точности Δ и доверительной вероятности измерения определяют минимальное количество измерений, гарантирующих требуемые значения Δ и p_d .

Аналогично уравнению (10.3) с учетом (10.5) можно получить

$$\mu = \sigma \arg \varphi(p_d) = \sigma_0 \sqrt{n} t. \quad (10.6)$$

При $N_{\min} = n$ получаем

$$N_{\min} = \sigma^2 t^2 / \sigma_0^2 = k_b^2 t^2 / \Delta^2, \quad (10.7)$$

здесь k_b — коэффициент вариации (изменчивости), %; Δ — точность измерений, %.

Для определения N_{\min} может быть принята такая последовательность вычислений: 1) проводится предварительный эксперимент с количеством измерений n , которое составляет в зависимости от трудоемкости опыта от 20 до 50; 2) вычисляется среднеквадратичное отклонение σ по формуле (10.1); 3) в соответствии с поставленными задачами эксперимента устанавливается требуемая точность измерений Δ , которая не должна превышать точности прибора; 4) устанавливается нормированное отклонение t , значение которого обычно задается (зависит также от точности метода); 5) по формуле (10.7) определяют N_{\min} и тогда в дальнейшем

в процессе эксперимента число измерений не должно быть меньше N_{\min} .

Пусть, например, при приемке сооружений комиссия в качестве одного из параметров замеряет их ширину. Согласно инструкции требуется выполнять 25 измерений; допустимое отклонение параметра $\pm 0,1$ м. Если предварительно вычисленное значение $\sigma = 0,4$ м, то можно определить, с какой достоверностью комиссия оценивает данный параметр.

Согласно инструкции $\Delta = 0,1$ м. Из формулы (10.7) можно записать $t = \sqrt{n} \cdot \frac{\Delta}{\sigma} = \sqrt{25} \cdot \frac{0,1}{0,4} = 1,25$. В соот-

ветствии с табл. 10.1 доверительная вероятность для $t = 1,25$ $p_d = 0,79$. Это низкая вероятность. Погрешность, превышающая доверительный интервал $2\mu = 0,2$ м, согласно выражению (10.4) будет встречаться один раз из $0,79/(1 - 0,79) = 3,37$, т. е. из четырех измерений. Это недопустимо. В связи с этим необходимо вычислить минимальное количество измерений с доверительной вероятностью p_d , равной 0,9 и 0,95. По формуле (10.7) имеем $N_{\min} = 0,4^2 \cdot 1,65^2 / 0,1^2 = 43$ измерения при $p_d = 0,90$ и 64 измерения при $p_d = 0,95$, что значительно превышает установленные 25 измерений.

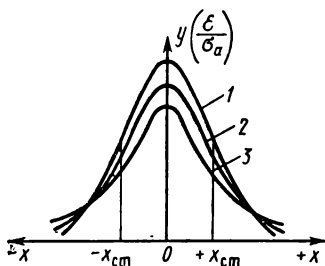


Рис. 10.1. Кривые распределения Стьюдента для различных значений:

1 — $n \rightarrow \infty$; 2 — $n = 10$; 3 — $n = 2$

Оценки измерений с помощью σ и σ_0 по приведенным методам справедливы при $n > 30$. Для нахождения границы доверительного интервала при малых значениях применяют метод, предложенный в 1908 г. английским математиком В. С. Госсетом (псевдоним Стьюдент). Кривые распределения Стьюдента в случае $n \rightarrow \infty$ (практически при $n > 20$) переходят в кривые нормального распределения (рис. 10.1).

Для малой выборки доверительный интервал

$$\mu_{ст} = \sigma_0 \alpha_{ст}, \quad (10.8)$$

где $\alpha_{ст}$ — коэффициент Стьюдента, принимаемый по табл. 10.2 в зависимости от значения доверительной вероятности p_d .

Зная $\mu_{\text{ст}}$, можно вычислить действительное значение изучаемой величины для малой выборки

$$x_{\text{д}} = \bar{x} \pm \mu_{\text{ст}}. \quad (10.9)$$

Возможна и иная постановка задачи. По n известных измерений малой выборки необходимо определить доверительную вероятность $p_{\text{д}}$ при условии, что погрешность среднего значения не выйдет за пределы $\pm \mu_{\text{ст}}$. Задачу решают в такой последовательности: вначале вычисляется среднее значение \bar{x} , σ_0 и $\alpha_{\text{ст}} = \mu_{\text{ст}}/\sigma_0$. С помощью величины $\alpha_{\text{ст}}$, известного n и табл. 10.2 определяют доверительную вероятность.

В процессе обработки экспериментальных данных следует исключать грубые ошибки ряда. Появление этих ошибок вполне вероятно, а наличие их ощутимо влияет на результат измерений. Однако прежде чем исключить то или иное измерение, необходимо убедиться, что это действительно грубая ошибка, а не отклонение вследствие статистического разброса. Известно несколько методов определения грубых ошибок статистического ряда. Наиболее простым способом исключения из ряда резко выделяющегося измерения является правило трех сигм: разброс случайных величин от среднего значения не должен превышать

$$x_{\text{max, min}} = \bar{x} \pm 3\sigma. \quad (10.10)$$

Более достоверными являются методы, базируемые на использовании доверительного интервала. Пусть имеется статистический ряд малой выборки, подчиняющийся закону нормального распределения. При наличии грубых ошибок критерии их появления вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} \beta_1 &= (x_{\text{max}} - \bar{x})/\sigma \sqrt{(n-1)/n}; \\ \beta_2 &= (\bar{x} - x_{\text{min}})/\sigma \sqrt{(n-1)/n}, \end{aligned} \quad (10.11)$$

где x_{max} , x_{min} — наибольшее и наименьшее значения из n измерений.

В табл. 10.3 приведены в зависимости от доверительной вероятности максимальные значения β_{max} , возникающие вследствие статистического разброса. Если $\beta_1 > \beta_{\text{max}}$, то значение x_{max} необходимо исключить из статистического ряда как грубую погрешность. При $\beta_2 < \beta_{\text{max}}$ исключается величина x_{min} . После исключения грубых ошибок определяют новые значения \bar{x} и σ из $(n-1)$ или $(n-2)$ измерений.

Критерий появления грубых ошибок

n	β_{\max} при ρ_d			n	β_{\max} при ρ_d		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Второй метод установления грубых ошибок основан на использовании критерия В. И. Романовского и применим также для малой выборки. Методика выявления грубых ошибок сводится к следующему. Задаются доверительной вероятностью ρ_d и по табл. 10.4 в зависимости от n находится коэффициент q . Вычисляют предельно допустимую абсолютную ошибку отдельного измерения

$$\epsilon_{\text{пр}} = \sigma_q. \quad (10.12)$$

Если $\bar{x} - x_{\max} > \epsilon_{\text{пр}}$, то измерение x_{\max} исключают из ряда наблюдений. Этот метод более требователен к очистке ряда.

При анализе измерений можно применять для приближенной оценки и такую методику: вычислить по (10.1) среднеквадратичное отклонение σ ; определить с помощью (10.5) σ_0 ; принять доверительную вероятность ρ_d и найти доверительные интервалы $\mu_{\text{ст}}$ из (10.8); окончательно установить действительное значение измеряемой величины x_d по формуле (10.9).

В случае более глубокого анализа экспериментальных данных рекомендуется такая последовательность: 1) после получения экспериментальных данных в виде статистического ряда его анализируют и исключают систематические ошибки; 2) анализируют ряд в целях обнаружения грубых ошибок и промахов: устанавливают подозрительные значения x_{\max} или x_{\min} ; определяют среднеквадратичное отклонение σ ; вычисляют по (10.11) кри-

терии β_1 , β_2 и сопоставляют с β_{\max} , β_{\min} , исключают при необходимости из статистического ряда x_{\max} или x_{\min} и получают новый ряд из новых членов; 3) вычисляют среднеарифметическое \bar{x} , погрешности отдельных измерений $(\bar{x} - x_i)$ и среднеквадратичное очищенного ряда σ ; 4) находят среднеквадратичное σ_0 серии измерений, коэффициент вариации k_v ; 5) при большой выборке задаются доверительной вероятностью $p_d = \Phi(t)$ или уравнением значимости $(1 - p_d)$ и по табл. 10.1 определяют t ; 6) при малой выборке ($n \leq 30$) в зависимости от приня-

Таблица 10.4

Коэффициент для вычисления предельно допустимой ошибки измерения

n	Значение q при p_d			
	0,95	0,98	0,99	0,995
2	15,56	38,97	77,96	779,7
3	4,97	8,04	11,46	36,5
4	3,56	5,08	6,58	14,46
5	3,04	4,10	5,04	9,43
6	2,78	3,64	4,36	7,41
7	2,62	3,36	3,96	6,37
8	2,51	3,18	3,71	5,73
9	2,43	3,05	3,54	5,31
10	2,37	2,96	3,41	5,01
12	2,29	2,83	3,23	4,62
14	2,24	2,74	3,12	4,37
16	2,20	2,68	3,04	4,20
18	2,17	2,64	3,00	4,07
20	2,15	2,60	2,93	3,98
	1,96	2,33	2,58	3,29

Таблица 10.5

Результаты измерений и их обработки

x_i	$\bar{x} - x_i$	$\bar{x} - x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
67	-8	-7,83	64
67	-8	-7,83	64
68	-7	-6,83	49
68	-7	-6,83	49
69	-6	-5,83	36
70	-5	-4,83	25
71	-4	-3,83	16
73	-2	-1,83	4
74	-1	-0,83	1
75	0	+0,17	0
76	+1	+1,17	1
77	+2	+2,17	4
78	+3	+3,17	9
79	+4	+4,17	16
80	+5	+5,17	25
81	+6	+6,17	36
82	+7	+7,17	49
92	+17	+17,27	289
$\bar{x} =$ =74,83	$\Sigma =$ =-3	Проверка -46,5 +46,5	$\Sigma =$ =737

той доверительной вероятности p_d и числа членов ряда n принимают коэффициент Стьюдента $\alpha_{ст}$; с помощью формулы (10.2) для большой выборки или (10.8) для малой выборки определяют доверительный интервал; 7) устанавливают по (10.9) действительное значение исследуемой величины; 8) оценивают относительную по-

грешность (%) результатов серии измерений при заданной доверительной вероятности p_d :

$$\delta = \frac{\delta_0 \alpha_{ст}}{\bar{x}} 100. \quad (10.13)$$

Если погрешность серии измерений соизмерима с погрешностью прибора $B_{пр}$, то границы доверительного интервала

$$\mu_{ст} = \sqrt{\sigma_0^2 \alpha_{ст}^2 + \left[\frac{\alpha_{ст}(\infty)}{3} \right]^2}. \quad (10.14)$$

Формулой (10.14) следует пользоваться при $\alpha_{ст} \sigma_0 \leq 3B_{пр}$. Если же $\alpha_{ст} \sigma_0 > 3B_{пр}$, то доверительный интервал вычисляют с помощью (10.1) или (10.9).

Пусть, например, имеется 18 измерений (табл. 10.5). Если анализ средств и результатов измерений показал, что систематических ошибок в эксперименте не обнаружено, то можно выяснить, не содержат ли измерения грубых ошибок. Если воспользоваться первым методом (критерий β_{max}), то надо вычислить среднеарифметическое \bar{x} и отклонение σ . При этом удобно пользоваться формулой $\bar{x} = \bar{x}' + (\bar{x} - \bar{x}')/n$, где \bar{x}' — среднее произвольное число. Для вычисления \bar{x} , например, принять произвольно $\bar{x}' = 75$. Тогда $\bar{x} = 75 - 3/18 = 74,83$. В формуле (10.1) значение $(\bar{x} - x_i)^2$ можно найти упрощенным методом:

$$(x - x_i)^2 = \Sigma (x_i - \bar{x}') - \frac{(x_i - \bar{x}')^2}{n}.$$

В данном случае $(x - x_i)^2 = 737 - 3^2/18 = 736,5$. По (10.1) $\sigma = 736,5/(18-1) = 6,58$, коэффициент вариации $k_v = \frac{6,58}{74,83} 100 = 8,8\%$. Следовательно,

$$\beta_1 = \frac{(92 - 74,83)}{6,58 \sqrt{\frac{(18-1)}{18}}} = 2,68.$$

Как видно из табл. 10.3, при доверительной вероятности $p_d = 0,99$ и $n = 18$ $\beta_{max} = 2,90$. Поскольку $2,68 < \beta_{max}$, измерение 92 не является грубым промахом. Если $p_d = 0,95$, $\beta_{max} = 2,58$, то значение 92 следует исключить.

Если применить правило 3σ , то $x_{max, min} = 74,83 \pm 3 \times 6,58 = 94,6...55,09$, т.е. измерение 92 следует оставить.

В случае, когда измерение 92 исключается, $\bar{x} = 73,8$, $\sigma = 5,15$. Среднеквадратичное отклонение для всей серии

измерений при $n=18$ $\sigma_0=6,58/18=1,55$; при очищенном ряде $\sigma_0=5,15/17=1,25$.

Поскольку $n < 30$, ряд следует отнести к малой выборке и доверительный интервал вычисляется с применением коэффициента Стьюдента $\alpha_{ст}$. По табл. 10.2 принимается доверительная вероятность 0,95 и тогда $\alpha_{ст}=2,11$ в случае $n=18$; $\alpha_{ст}=2,12$, если $n=17$. Доверительный интервал при $n=18$ $\mu_{ст}=\pm 1,55 \cdot 2,11=3,2$; при $n=17$ $\mu_{ст}=\pm 1,25 \cdot 2,12=2,7$. Действительное значение изучаемой величины: при $n=18$ $x_d=74,8 \pm 3,2$; при $n=17$ $x_d=73,8 \pm 2,7$. Относительная погрешность результатов серии измерений: при $n=18$ $\delta=(3,2 \cdot 100)/74,8=4,3\%$; при $n=17$ $\delta=(2,7 \times 100)/73,8=3,7\%$. Таким образом, если принять $x_i=92$ за грубый промах, то погрешность измерения уменьшается с 4,3 до 3,7 %, т. е. на 14 %.

Если необходимо определить минимальное количество измерений при их заданной точности, проводят серию опытов, вычисляют σ , затем с помощью формулы (10.7) определяют N_{min} .

В рассмотренном случае $\sigma=6,58$; $k_n=8,91\%$. Если задана точность $\Delta=5$ и 3 % при доверительной вероятности $p_d=95\%$, $\alpha_{ст}=2,11$. Следовательно, при $\Delta=5\%$ $N_{min}=(8,91^2 \cdot 2,11^2)/5^2=14$, а при $\Delta=3\%$ $N_{min}=(8,91^2 \cdot 2,11^2)/3^2=40$.

Таким образом, требование повышения точности измерения (но не выше точности прибора) приводит к значительному увеличению повторяемости опытов.

Во многих случаях в процессе экспериментальных исследований приходится иметь дело с косвенными измерениями. При этом неизбежно в расчетах применяют те или иные функциональные зависимости типа

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (10.15)$$

Так как в данную функцию подставляют не истинные, а приближенные значения, то и окончательный результат также будет приближенным. В связи с этим одной из основных задач теории случайных ошибок является определение ошибки функции, если известны ошибки их аргументов.

При исследовании функции одного переменного предельные абсолютные $\varepsilon_{пр}$ и относительные $\delta_{пр}$ ошибки (погрешности) вычисляют так:

$$\varepsilon_{пр} = \pm \varepsilon_x f'(x), \quad (10.16)$$

$$\delta_{пр} = \pm d \ln(x), \quad (10.17)$$

где $f'(x)$ — производная функции $f(x)$; $d \ln(x)$ — дифференциал натурального логарифма функции.

Если исследуется функция многих переменных, то

$$\epsilon_{\text{пр}} = \pm \sum_1^n \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} dx_i \right|, \quad (10.18)$$

$$\delta_{\text{пр}} = \pm d |\ln(x_1, x_2, \dots, x_n)|. \quad (10.19)$$

В (10.18) и (10.19) выражения под знаком суммы и дифференциала принимают абсолютные значения. Методика определения ошибок с помощью этих уравнений следующая: вначале определяют абсолютные и относительные ошибки аргументов (независимых переменных). Обычно величина $x_d \pm \epsilon$ каждого переменного измерена, следовательно, абсолютные ошибки для аргументов известны, т. е. $\epsilon_{x_1}, \epsilon_{x_2}, \dots, \epsilon_{x_n}$. Затем вычисляют относительные ошибки независимых переменных:

$$\delta_{x_1} = \epsilon_{x_1}/x_d; \quad \delta_{x_2} = \epsilon_{x_2}/x_d, \dots, \delta_{x_n} = \frac{\epsilon_{x_n}}{x_d}. \quad (10.20)$$

Находят частные дифференциалы функции и по формуле (10.18) вычисляют $\epsilon_{\text{пр}}$ в размерностях функции $f(y)$ и с помощью (10.19) вычисляют $\delta_{\text{пр}}$, %.

Одной из задач теории измерений является установление оптимальных, т. е. наиболее выгодных, условий измерений. Оптимальные условия измерений в данном эксперименте имеют место при $\delta_{\text{пр}} = \delta_{\text{пр min}}$. Методика решения этой задачи сводится к следующему. Если исследуется функция с одним неизвестным переменным, то вначале следует взять первую производную по x , приравнять ее нулю и определить x_1 . Если вторая производная по x_1 положительна, то функция (10.15) в случае $x = x_1$ имеет минимум. При наличии нескольких переменных поступают аналогичным образом, но берут производные по всем переменным x_1, \dots, x_n . В результате минимизации функций устанавливают оптимальную область измерений (интервал температур, напряжений, силы тока, угла поворота стрелки на приборе и т. д.) каждой функции $f(x_1, \dots, x_n)$, при которой относительная ошибка измерений минимальна, т. е. $\delta_{x_i} = \min$.

В исследованиях часто возникает вопрос о достоверности данных, полученных в опытах. Решение такой задачи можно проиллюстрировать примером.

Пусть установлена прочность контрольных образцов бетона до виброперемешивания $R_1 = \bar{R}_1 \pm \sigma_0 = 20 \pm$

$\pm 0,5$ МПа и прочность бетонных образцов после вибро-перемешивания $R_2 = \bar{R}_2 \pm \sigma_0 = 23 \pm 0,6$ МПа. Прирост прочности составляет 15 %. Это упрочнение относительно небольшое, его можно отнести за счет разброса опытных данных. В этом случае следует провести проверку на достоверность экспериментальных данных по условию

$$\frac{\bar{x}}{\sigma_1} \geq 3. \quad (10.21)$$

В данном случае проверяется разница $\bar{x} = R_1 - R_2 = 3,0$ МПа. Ошибка измерения равна $\sigma_0 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$, поэтому

$$(R_1 - R_2) / \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = 3,0 / (0,25 + 0,36) = 3,84 > 3. \quad (10.22)$$

Следовательно, полученный прирост прочности является достоверным.

Выше были рассмотрены общие методы проверки экспериментальных измерений на точность и достоверность. Ответственные эксперименты должны быть проверены также и на воспроизводимость результатов, т. е. на их повторяемость в определенных пределах измерений с заданной доверительной достоверностью. Суть такой проверки сводится к следующему. Имеется несколько параллельных опытов (серий). Для каждой серии вычисляют среднеарифметическое значение \bar{x}_i (n — число измерений в одной серии, принимаемое обычно равным 3...4). Далее вычисляют дисперсию D_i . Чтобы оценить воспроизводимость, рассчитывают критерий Кохрена (расчетный):

$$k_{кр} = \max D_i / \sum_1^m D_i, \quad (10.23)$$

где $\max D_i$ — наибольшее значение дисперсий из числа рассматриваемых параллельных серий m ; $\sum_1^m D_i$ — сумма дисперсий m серий. Рекомендуется принимать $2 \leq m \leq 4$. Опыты считают воспроизводимыми при

$$k_{кр} \leq k_{кт}, \quad (10.24)$$

где $k_{кт}$ — табличное значение критерия Кохрена (табл. 10.6), принимаемое в зависимости от доверительной вероятности p_d и числа степеней свободы $q = n - 1$. Здесь m — число серий опытов; n — число измерений в серии.

Критерий Кохрена $K_{кт}$ при $p_d=0,95$

m	$q = n - 1$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36
2	0,99	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,81	0,78	0,73	0,66
3	0,97	0,93	0,79	0,74	0,70	0,76	0,63	0,60	0,54	0,47
4	0,90	0,76	0,68	0,62	0,59	0,56	0,51	0,48	0,43	0,36
5	0,84	0,68	0,60	0,54	0,50	0,48	0,44	0,41	0,36	0,26
6	0,78	0,61	0,53	0,48	0,44	0,42	0,38	0,35	0,31	0,25
7	0,72	0,56	0,48	0,43	0,39	0,37	0,34	0,31	0,27	0,23
8	0,68	0,51	0,43	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,24	0,20
9	0,64	0,47	0,40	0,35	0,33	0,30	0,28	0,25	0,22	0,18
10	0,60	0,44	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,20	0,16
12	0,57	0,39	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14
15	0,47	0,33	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17	0,14	0,11
20	0,39	0,27	0,22	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11	0,08
24	0,34	0,29	0,19	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,07
30	0,29	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06
40	0,24	0,16	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04
60	0,17	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02
120	0,09	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01

m — число параллельных серий опытов;

q — число степеней свободы;

n — число измерений в серии.

Пусть, например, проведено три серии опытов по измерению прочности грунта методом пенетрации (табл. 10.7). В каждой серии выполнялось по пять измерений (повторностей). Тогда по формуле (10.23)

$$k_{кр} = \frac{2,96}{2,96 + 2,0 + 0,4} = 0,55.$$

Вычислим число степеней свободы $q = n - 1 = 5 - 1 = 4$. Так, например, для $m = 3$ и $q = 4$ согласно табл. 10.6 значение критерия Кохрена $k_{кт} = 0,74$. Так как $0,55 < 0,74$, то измерения в эксперименте следует считать воспроиз-

Таблица 10.7

Результаты измерений прочности грунта методом пенетрации и их обработка

Серия опытов	Измерение величины и повторности					Вычисленные	
	1	2	3	4	5	\bar{x}_i	D_i
1	7	9	6	8	4	6,8	2,96
2	9	7	8	6	5	7,0	2,0
3	8	8	7	9	8	8,0	0,4

водимыми. Если бы оказалось наоборот, т.е. $k_{кр} > k_{кт}$, то необходимо было бы увеличить число серий m или число измерений n .

10.2. Методы графической обработки результатов измерений

При обработке результатов измерений и наблюдений широко используются методы графического изображения, так как результаты измерений, представленные в табличной форме, иногда не позволяют достаточно наглядно характеризовать закономерности изучаемых процессов. Графическое изображение дает наиболее наглядное представление о результатах эксперимента, позволяет лучше понять физическую сущность исследуемого процесса, выявить общий характер функциональной зависимости изучаемых переменных величин, установить наличие максимума или минимума функции.

Для графического изображения результатов измерений (наблюдений), как правило, применяют систему прямоугольных координат. Если анализируется графическим методом функция $y=f(x)$, то наносят в системе прямоугольных координат значения $x_1y_1, x_2y_2, \dots, x_ny_n$, (рис. 10.2, а). Прежде чем строить график, необходимо знать ход (течение) исследуемого явления. Как правило, качественные закономерности и форма графика экспериментатору ориентировочно известны из теоретических исследований.

Точки на графике необходимо соединять плавной линией так, чтобы она по возможности проходила ближе ко всем экспериментальным точкам. Если соединить точки прямыми отрезками, то получим ломаную кривую. Она характеризует изменение функции по данным эксперимента. Обычно функции имеют плавный характер. Поэтому при графическом изображении результатов измерений следует проводить между точками плавные кривые. Резкое искривление графика объясняется погрешностями измерений. Если бы эксперимент повторили с применением средств измерений более высокой точности, то получили бы меньшие погрешности, а ломаная кривая больше бы соответствовала плавной кривой.

Однако могут быть и исключения, так как иногда исследуются явления, для которых в определенных интервалах наблюдается быстрое скачкообразное изменение

одной из координат (рис. 10.2, б). Это объясняется сущностью физико-химических процессов, например фазовыми превращениями влаги, радиоактивным распадом атомов в процессе исследования радиоактивности и т. д. В таких случаях необходимо особо тщательно соединять точки кривой. Общее «осреднение» всех точек плавной

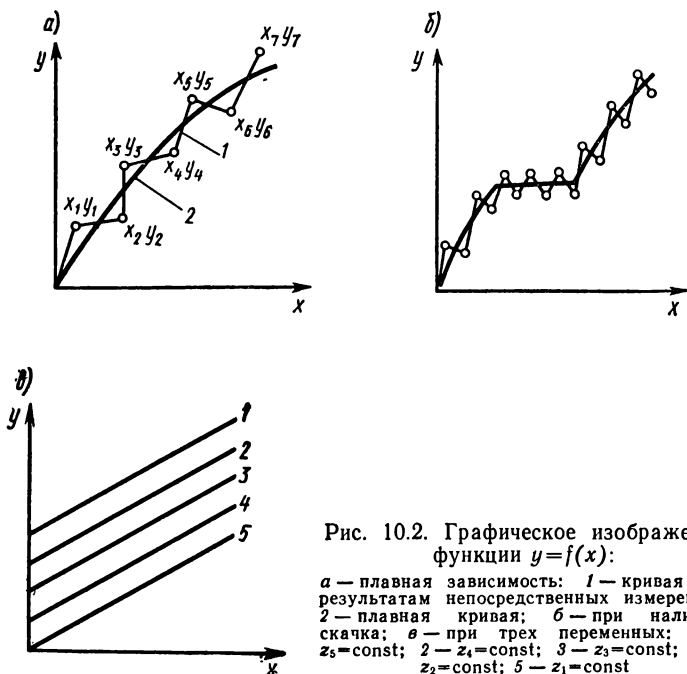


Рис. 10.2. Графическое изображение функции $y=f(x)$:

а — плавная зависимость: 1 — кривая по результатам непосредственных измерений; 2 — плавная кривая; б — при наличии скачка; в — при трех переменных: 1 — $z_5 = \text{const}$; 2 — $z_4 = \text{const}$; 3 — $z_3 = \text{const}$; 4 — $z_2 = \text{const}$; 5 — $z_1 = \text{const}$

кривой может привести к тому, что скачок функции подменяется погрешностями измерений.

Иногда при построении графика одна-две точки резко удаляются от кривой. В таких случаях вначале следует проанализировать физическую сущность явления, и если нет основания полагать наличие скачка функции, то такое резкое отклонение можно объяснить грубой ошибкой или промахом. Это может возникнуть тогда, когда данные измерений предварительно не исследовались на наличие грубых ошибок измерений. В таких случаях необходимо повторить измерение в диапазоне резкого отклонения данных замера. Если прежнее измерение оказалось ошибочным, то на график наносят новую

точку. Если же повторные измерения дадут прежнее значение, необходимо к этому интервалу кривой отнестись особенно внимательно и тщательно проанализировать физическую сущность явления.

Часто при графическом изображении результатов экспериментов приходится иметь дело с тремя переменными $b=f(x, y, z)$. В этом случае применяют метод разделения переменных. Одной из величин z в пределах интервала измерений $z_1 - z_n$ задают несколько последовательных значений. Для двух остальных переменных x и y строят графики $y=f_1(x)$ при $z_i=\text{const}$. В результате на одном графике получают семейство кривых $y=f_1(x)$ для различных значений z (рис. 10.2, в). Если необходимо графически изобразить функцию с четырьмя переменными и более $\alpha=f(b, x, y, z)$, то строят серию типа предыдущих, но каждый из них при $b_1, \dots, b_n=\text{const}$ или принимает из N переменных $(N-1)$ постоянными и строят графики: вначале $(N-1)=f_1(x)$, далее $(N-2)=f_2(x)$, $(N-3)=f_3(x)$ и т.д. Таким образом, можно проследить изменение любой переменной величины в функции от другой при постоянных значениях остальных. Этот метод графического анализа требует тщательности, большого внимания к результатам измерений. Однако он в большинстве случаев является наиболее простым и наглядным.

При графическом изображении результатов экспериментов большую роль играет выбор системы координат или координатной сетки. Координатные сетки бывают равномерными и неравномерными. У равномерных координатных сеток ординаты и абсциссы имеют равномерную шкалу. Например, в системе прямоугольных координат длина откладываемых единичных отрезков на обеих осях одинаковая.

Из неравномерных координатных сеток наиболее распространены полулогарифмические, логарифмические, вероятностные. Полулогарифмическая сетка имеет равномерную ординату и логарифмическую абсциссу (рис. 10.3, а). Логарифмическая координатная сетка имеет обе оси логарифмические (рис. 10.3, б), вероятностная — ординату обычно равномерную и по абсциссе — вероятностную шкалу (рис. 10.3, в).

Назначение неравномерных сеток различное. В большинстве случаев их применяют для более наглядного изображения функций. Функция $y=f(x)$ имеет различную форму при различных сетках. Так, многие криво-

линейные функции спрямляются на логарифмических сетках.

Большое значение в практике графического изображения экспериментальных данных имеет вероятностная сетка, применяемая в различных случаях: при обработ-

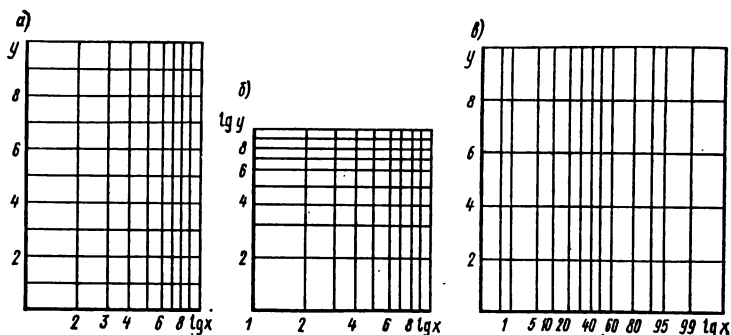


Рис. 10.3. Координатная сетка:

а — полулогарифмическая; б — логарифмическая; в — вероятностная сетка

ке измерений для оценки точности, при определении расчетных характеристик (расчетной влажности, расчетных значений модуля упругости, межремонтных сроков службы и т. д.).

Иногда в процессе обработки экспериментальных данных графическим способом необходимо составить расчетные графики, ускоряющие нахождение по одной переменной других. При этом существенно повышаются требования к точности вычерчивания функции на графике. При вычерчивании расчетных графиков необходимо в зависимости от числа переменных выбрать координатную сетку и определить вид графика — одна кривая, семейство кривых или серия семейств. Большое значение приобретает выбор масштаба графика, что связано с размерами чертежа и соответственно с точностью снимаемых с него значений величин. Известно, что чем крупнее масштаб, тем выше точность снимаемых значений. Однако, как правило, графики не превышают размеров 20×15 см, что является удобным при снятии отсчетов. Лишь в отдельных случаях используют графики больших размеров.

Опыт показывает, что применяемая для вычерчивания графиков миллиметровая бумага в пределах размеров $15 \dots 20$ см дает погрешность, не превышающую $\pm 0,1 \dots$

...0,2 мм. Это следует иметь в виду при вычерчивании расчетных графиков. Таким образом, абсолютная ошибка снимаемых с графиков величин может достигать $\epsilon = \pm 0,2 M$, где M — принятый масштаб графика. Очевидно, что точность измерений может быть выше точности снимаемых с графика величин.

Масштаб по координатным осям обычно применяют различный. От выбора его зависит форма графика — он может быть плоским (узким) или вытянутым (широким) вдоль оси (рис. 10.4). Узкие графики дают большую погрешность по оси y ; широкие — по оси x . Из рисунка видно, что правильно подобранный масштаб (нормальный график) позволяет существенно повысить точность отсчетов. Расчетные графики, имеющие (минимум) функции или какой-либо сложный вид, особо тщательно необходимо вычерчивать в зонах изгиба. На таких участках количество точек для вычерчивания графика должно быть значительно больше, чем на плавных участках.

В некоторых случаях строят номограммы, существенно облегчающие применение для систематических расчетов сложных теоретических или эмпирических формул в определенных пределах измерения величин. Номограммы могут отражать алгебраические выражения и тогда сложные математические выражения можно решать сравнительно просто графическими методами. Построение номограмм — операция трудоемкая. Однако, будучи раз построенной, номограмма может быть использована для нахождения любой из переменных, входящих в номограммированное уравнение. Применение ЭВМ существенно снижает трудоемкость номограммирования. Существует несколько методов построения номограмм. Для этого применяют равномерные или неравномерные координатные сетки. В системе прямоугольных координат функции в большинстве случаев имеют криволинейную форму. Это увеличивает трудоемкость построения номограмм, поскольку требуется большое количество точек для нанесения одной кривой.

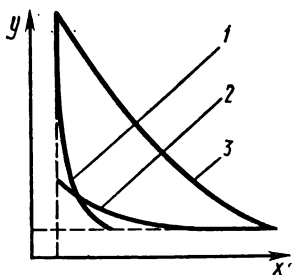


Рис. 10.4. Форма графика в зависимости от масштаба:

1 — плоская; 2 — уширенная;
3 — нормальная

В полу- или логарифмических координатных сетках функции часто имеют прямолинейную форму и составление номограмм упрощается.

Методика построения номограмм функции одной переменной $y=f(x)$ или многих $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ сводится к построению кривых или их семейств путем принятия постоянными отдельных переменных. Сложные алгебраические выражения целесообразно сводить к простому произведению двух-трех значений, например $d=abc$, где a, b, c — функции двух или трех переменных. В этом случае необходимо вначале, задавшись переменными, вычислить a, b, c . Далее, придавая им постоянные значения, найти d . Величины a, b, c необходимо варьировать в определенных значениях, например от 0 до 100 через 5 или 10. Наиболее эффективным является такой способ построения номограмм, при котором a, b, c представляются как безразмерные критерии.

10.3. Методы подбора эмпирических формул

В процессе экспериментальных исследований получается статистический ряд измерений двух величин, когда каждому значению функции y_1, y_2, \dots, y_n соответствует определенное значение аргумента x_1, x_2, \dots, x_n .

На основе экспериментальных данных можно подобрать алгебраические выражения функции

$$y = f(x), \quad (10.25)$$

которые называют эмпирическими формулами. Такие формулы подбираются лишь в пределах измеренных значений аргумента $x_1 \dots x_n$ и имеют тем бóльшую ценность, чем больше соответствуют результатам эксперимента.

Необходимость в подборе эмпирических формул возникает во многих случаях. Так, если аналитическое выражение (10.25) сложное, требует громоздких вычислений, составления программ для ЭВМ или вообще не имеет аналитического выражения, то эффективнее пользоваться упрощенной приближенной эмпирической формулой.

Эмпирические формулы должны быть по возможности наиболее простыми и точно соответствовать экспериментальным данным в пределах изменения аргумента. Таким образом, эмпирические формулы являются приближенными выражениями аналитических формул. Замену точных аналитических выражений приближенными

ми, более простыми называют аппроксимацией, а функции — аппроксимирующими.

Процесс подбора эмпирических формул состоит из двух этапов.

I этап. Данные измерений наносят на сетку прямоугольных координат, соединяют экспериментальные точки плавной кривой и выбирают ориентировочно вид формулы.

II этап. Вычисляют параметры формул, которые наилучшим образом соответствовали бы принятой формуле. Подбор эмпирических формул необходимо начинать с самых простых выражений. Так, например, результаты измерений многих явлений и процессов аппроксимируют простейшими эмпирическими уравнениями типа

$$y = a + bx, \quad (10.26)$$

где a , b — постоянные коэффициенты. Поэтому при анализе графического материала необходимо по возможности стремиться к использованию линейной функции. Для этого применяют метод выравнивания, заключающийся в том, что кривую, построенную по экспериментальным точкам, представляют линейной функцией.

Для преобразования некоторой кривой (10.25) в прямую линию вводят новые переменные:

$$X = f_1(x, y), \quad Y = f_2(x, y). \quad (10.27)$$

В искомом уравнении они должны быть связаны линейной зависимостью

$$Y = a + bX. \quad (10.28)$$

Значения X и Y можно вычислить на основе решения системы уравнений (10.27). Далее строят прямую (рис. 10.5), по которой легко графически вычислить параметры a (ордината точки пересечения прямой с осью Y) и b (тангенс угла наклона прямой с осью X): $b = \operatorname{tg} \alpha = (Y_i - a)/X_i$.

При графическом определении параметров a и b обязательно, чтобы прямая (10.26) строилась на координатной сетке, у которой началом является точка $Y=0$ и $X=0$. Для

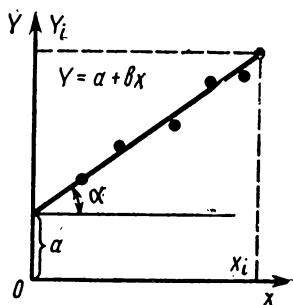


Рис. 10.5. Графическое определение параметров x и y

расчета необходимо точки Y_i и X_i принимать на крайних участках прямой.

Для определения параметров прямой можно применить также другой графический метод. В уравнение (10.28) подставляют координаты двух крайних точек, взятых с графика. Получают систему двух уравнений, из которых вычисляют a и b . После установления параметров a и b получают эмпирическую формулу (10.26), которая связывает Y и X , позволяет установить функциональную связь между x и y и эмпирическую зависимость (10.25).

Линеаризацию кривых можно легко осуществить на полу- или логарифмических координатных сетках, которые сравнительно широко применяют при графическом методе подбора эмпирических формул.

Пример. Подобрать эмпирическую формулу следующих измерений:

12,1	19,2	25,9	33,3	40,5	46,4	54,0
1	2	3	4	5	6	7

Графический анализ этих измерений показывает, что в прямоугольных координатах точки хорошо ложатся на прямую линию и их можно выразить зависимостью (10.26). Выбираем координаты крайних точек и подставляем в (10.26). Тогда $A_0 + 7A_1 = 54,0$; $A_0 + A_1 = 12,1$, откуда $A_1 = 41,9 : 6 = 6,98$ и $A_0 = 12,10 - 6,98 = 5,12$. Эмпирическая формула примет вид $y = 5,12 + 6,98A_1$.

Таким образом, аппроксимация экспериментальных данных прямолинейными функциями позволяет просто и быстро установить вид эмпирических формул.

Графический метод выравнивания может быть применен в тех случаях, когда экспериментальная кривая на сетке прямоугольных координат имеет вид плавной кривой. Так, если экспериментальный график имеет вид, показанный на рис. 10.6, а, то необходимо применить формулу

$$y = ax^b. \quad (10.29)$$

Заменяя $X = \lg x$ и $Y = \lg y$, получим $Y = \lg a + bX$. При этом экспериментальная кривая превращается в прямую линию на логарифмической сетке. Если экспериментальный график имеет вид, показанный на рис. 10.6, б, то целесообразно использовать выражение

$$y = ae^{bx}. \quad (10.30)$$

При замене $Y = \lg y$ получим $Y = \lg a + bx \lg e$. Здесь экс-

периментальная кривая превращается в прямую линию на полулогарифмической сетке. Если экспериментальный график имеет вид, представленный на рис. 10.6, в, то эмпирическая формула принимает вид

$$y = c + ax^b. \quad (10.31)$$

Если b задано, то надо принять $X = x^b$, и тогда получим прямую линию на сетке прямоугольных координат $y =$

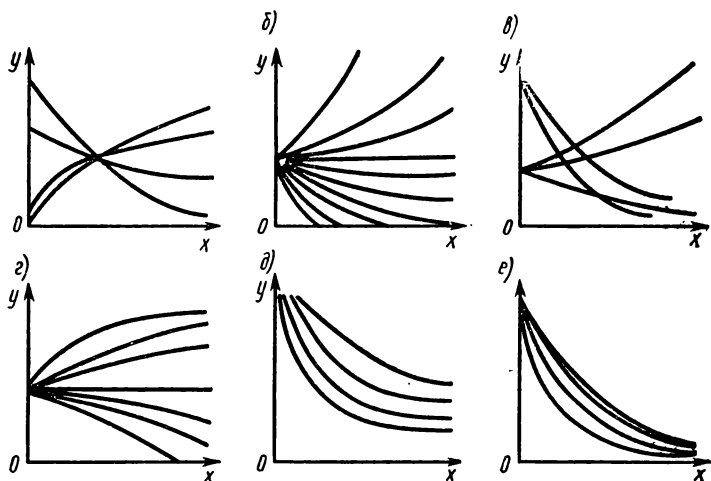


Рис. 10.6. Основные виды графиков эмпирических формул

$= c + aX$. Если же b неизвестно, то надо принять $X = \lg x$ и $Y = \lg(y - c)$, в этом случае будет прямая линия, но на логарифмической сетке $Y = \lg a + bX$.

В последнем случае необходимо предварительно вычислить c . Для этого по экспериментальной кривой принимают три произвольные точки x_1, y_1 ; x_2, y_2 и x_3, y_3 и вычисляют c в виде отношения

$$c = \frac{y_1 y_2 - y_3^2}{y_1 + y_2 - 2y_3}. \quad (10.32)$$

Если экспериментальный график имеет вид, показанный на рис. 10.6, г, то нужно пользоваться формулой

$$y = c + ae^{bx}. \quad (10.33)$$

Путем замены $Y = \lg(y - c)$ можно построить прямую на

полулогарифмической сетке:

$$Y = \lg a + bx \lg c,$$

где c предварительно определено с помощью формулы (10.32). В этом случае $x_3=0,5$ (x_1+x_2).

Если экспериментальный график имеет вид, представленный на рис. 10.6, δ , то применяется выражение

$$y = a + b/x. \quad (10.33')$$

Путем замены $x=1/z$ можно получить прямую линию на сетке прямоугольных координат $y=a+bx$.

Если график имеет вид, соответствующий кривым на рис. 10.6, e , то используют формулу

$$y = 1/(a + bx). \quad (10.34)$$

Если принять $y=1/z$, то $z=a+bx$, т.е. прямая на сетке прямоугольных координат.

Аналогично, уравнению

$$y = \frac{1}{a + bx + cx^2} \quad (10.35)$$

путем замены $y=1/z$ можно придать вид $z=a+bx+cx^2$.

Сложную степенную функцию

$$y = ae^{nx+mx^2} \quad (10.36)$$

можно преобразовать в более простую. При $\lg y=z$; $\lg a=p$; $n \lg e=q$, $m \lg e=r$ получается зависимость

$$z = p + qx + rx^2.$$

С помощью приведенных на рис. 10.6 графиков и выражений (10.29)...(10.36) можно практически всегда подобрать уравнение эмпирической формулы.

Пусть, например, необходимо подобрать эмпирическую формулу для следующих измерений:

1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
15,2	20,6	27,4	36,7	49,2	66,0	87,4	117,5

На основе этих данных строится график (рис. 10.7, a), соответствующий кривым (10.30) (рис. 10.6, b).

После логарифмирования выражения (10.30) $\lg y = \lg a + bx \lg e$. Если обозначить $\lg y=Y$, то $Y=\lg a + bx \lg e$, т.е. в полулогарифмических координатах выражение для Y представляет собой прямую линию (рис. 10.7, b). Подстановка в уравнение координат крайних точек дает $\lg 15,2 = \lg a + b \lg e$ и $\lg 117,5 = \lg a + 4,5 b \lg e$.

Следовательно,

$$\lg a + b \lg e = 1,183;$$

$$\lg a + 4,5b \lg e = 2,070,$$

откуда $b = 0,887 / (3,5 \lg e) = 0,579$; $\lg a = 1,183 - 0,254 = 0,929$; $a = 1,85$. Окончательно эмпирическая формула получит вид

$$y = 1,85 \cdot e^{0,579x}.$$

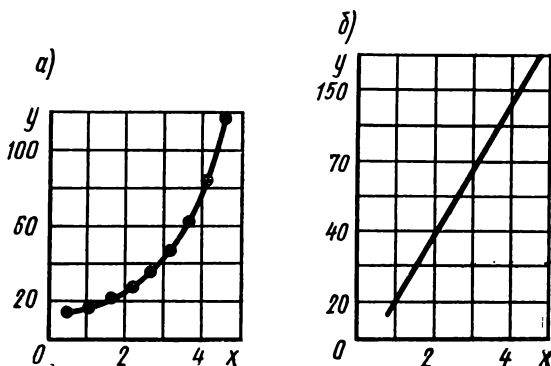


Рис. 10.7. Подбор эмпирической характеристики:
а — эмпирическая; б — спрямленная

При подборе эмпирических формул широко используются полиномы

$$y = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + A_3 x^3 + \dots + A_{12} x^{12}, \quad (10.37)$$

где A_0, A_1, \dots, A_n — постоянные коэффициенты. Полиномами можно аппроксимировать любые результаты измерений, если они графически выражаются непрерывными функциями. Особо ценным является то, что даже при неизвестном точном выражении функции (10.37) можно определить значения коэффициентов A . Для определения коэффициентов A кроме графического метода, изложенного выше, применяют методы средних и наименьших квадратов.

Метод средних квадратов основан на следующем положении. По экспериментальным точкам можно построить несколько плавных кривых. Наилучшей будет та кривая, у которой разностные отклонения оказываются наименьшими, т. е. $\sum \varepsilon \approx 0$. Порядок расчета коэффициентов полинома сводится к следующему. Определяется чис-

ло членов ряда (10.37), которое обычно принимают не более 3...4. В принятое выражение последовательно подставляют координаты x и y нескольких (m) экспериментальных точек и получают систему из m уравнений. Каждое уравнение приравнивают соответствующему отклонению:

[illegible]

Число точек, т.е. число уравнений, должно быть не меньше числа коэффициентов A , что позволит их вычислить путем решения системы (10.38).

Разбивают систему начальных уравнений (10.38) последовательно сверху вниз на группы, число которых должно быть равно количеству коэффициентов A_0 . В каждой группе складывают уравнения и получают новую систему уравнений, равную количеству групп (обычно 2...3). Решая систему, вычисляют коэффициенты A .

Метод средних обладает высокой точностью, если число точек достаточно велико (не менее 3...4). Однако степень точности можно повысить, если начальные условия сгруппировать по 2...3 варианта и вычислить для каждого варианта эмпирическую формулу. Предпочтение следует отдать той формуле, у которой $\Sigma \varepsilon^2 = \min$. Пусть, например, выполнено семь измерений:

4	5	6	7	8	9	10
10,2	6,7	4,8	3,6	2,7	2,1	1,7

Для подбора эмпирической формулы можно выбрать полином

$$y = A_0 + A_1 x + A_2 x^2.$$

Путем подстановки в это уравнение значений измерений систему начальных уравнений можно разделить на три группы: 1...2, 3...4; 5...7 в виде

1. $A_0 + 4A_1 + 16A_2 - 10,2 = \varepsilon_1$;
2. $A_0 + 5A_1 + 25A_2 - 6,7 = \varepsilon_2$;
3. $A_0 + 6A_1 + 36A_2 - 4,8 = \varepsilon_3$;
4. $A_0 + 7A_1 + 49A_2 - 3,6 = \varepsilon_4$;
5. $A_0 + 8A_1 + 64A_2 - 2,7 = \varepsilon_5$;
6. $A_0 + 9A_1 + 81A_2 - 2,1 = \varepsilon_6$;

$$7. A_0 + 10A_1 + 100A_2 - 1,7 = \varepsilon_7.$$

Сложение уравнений в каждой подгруппе дает

$$1\text{-я группа } 2A_0 + 9A_1 + 41A_2 = 16,9;$$

$$2\text{-я группа } 2A_0 + 13A_1 + 85A_2 = 8,4;$$

$$3\text{-я группа } 3A_0 + 27A_1 + 24A_2 = 6,5.$$

Определение из этих выражений коэффициентов A_0 , A_1 и A_2 приводит к эмпирической формуле $y = 26,168 - 5,2168x + 0,2811x^2$.

Метод средних квадратов может быть применен для различных кривых после их выравнивания. Пусть, например, имеется восемь измерений:

3	6	9	12	15	18	21	24
57,6	41,9	31,0	22,7	16,6	12,2	8,9	6,5

Анализ кривой в системе прямоугольных координат дает возможность применить формулу (10.30)

$$y = ae^{-bx}.$$

Произведем выравнивание путем замены переменных $Y = \lg y$, $X = x/2,303$. Тогда $Y = A + BX$, где $A = \lg a$, $B = -b$. Так как необходимо определить два параметра, то все измерения делятся на две группы по четыре измерения. Это приводит к уравнениям:

$$1,7604 = A + \frac{3}{2,303} B; \quad 1,2201 = A + \frac{15}{2,303} B;$$

$$1,6222 = A + \frac{6}{2,303} B; \quad 1,0864 = A + \frac{18}{2,303} B;$$

$$1,4914 = A + \frac{9}{2,303} B; \quad 0,9494 = A + \frac{21}{2,303} B;$$

$$1,3560 = A + \frac{12}{2,303} B; \quad 0,8129 = A + \frac{24}{2,303} B;$$

$$6,2300 = 4A + \frac{30}{2,303} B; \quad 4,0688 = 4A + \frac{78}{2,303} B.$$

После суммирования по группам можно получить систему двух уравнений с двумя неизвестными A и B , решение которых дает: $A = 1,8952$; $a = 78,56$; $B = -0,1037$; $b = -0,1037$. Окончательно $y = 78,56 e^{-0,1037x}$.

Хорошие результаты при определении параметров заданного уравнения дает использование метода наименьших квадратов. Суть этого метода заключается в том, что если все измерения функций y_1, y_2, \dots, y_n

произведены с одинаковой точностью и распределенные величины ошибок измерения соответствуют нормальному закону, то параметры исследуемого уравнения определятся из условия, при котором сумма квадратов отклонений измеренных значений от расчетных принимает наименьшее значение. Для нахождения неизвестных параметров (a_1, a_2, \dots, a_n) необходимо решить систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} y_1 &= a_1 x_1 + a_2 u_1 + \dots + a_n z_1; \\ y_2 &= a_1 x_2 + a_2 u_2 + \dots + a_n z_2; \\ &\vdots \\ y_n &= a_1 x_m + a_2 u_m + \dots + a_n z_m, \end{aligned} \quad (10.39)$$

где y_1, \dots, y_n — частные значения измеренных величин функции y ; x, u, z — переменные величины. Эту систему приводят к системе линейных уравнений путем умножения каждого уравнения соответственно на $x_1 \dots x_m$ и последующего их сложения, затем умножения соответственно на u_1, \dots, u_m . Это позволяет получить так называемую систему нормальных уравнений

$$\begin{aligned}\sum_1^m yx &= a_1 \sum_1^m xx + a_2 \sum_1^m xu + \dots + a_n \sum_1^m xz; \\ \sum_1^m yu &= a_1 \sum_1^m ux + a_2 \sum_1^m uu + \dots + a_n \sum_1^m uz; \quad (10.40) \\ &\dots \dots \dots \\ \sum_1^m yz &= a_1 \sum_1^m zx + a_2 \sum_1^m zu + \dots + a_n \sum_1^m zz,\end{aligned}$$

решение которой и дает искомые коэффициенты.

Пусть, например, необходимо определить коэффициенты a_1 и a_2 в уравнении $k_p = a_1 + a_2 \psi$. Так как требуется определить два параметра, то система уравнений может быть представлена в виде двух уравнений $y = a_1 x_1 + a_2 u_2$ и $y u_2 = a_2 x_1 u_2 + a_2 u_2^2$, где $y = k_p$; $x_1 = 1$; $x_2 = \psi$.

Так как уравнения линейные, можно ограничиться четырьмя сериями опытов. Если они сведены в табл. 10.8, то систему нормальных уравнений можно записать в виде $5,48 = 4a_1 + 1100a_2$; $1519 = 1100a_1 + 307\,350a_2$, решение которых дает $a_1 = 0,78$; $a_2 = 0,0025$. Следовательно, эмпирическая формула получит вид $k_p = 0,78 + 0,0025 \text{ ц}$.

Метод наименьших квадратов обеспечивает достаточ-

Результаты опытов

$u_z = \alpha$	$y = k_p$	u^2	yx
230	1,26	52900	289,8
255	1,32	65025	336,6
295	1,40	87025	413,0
320	1,50	102400	480,0
1100	5,48	307350	1519,4

но надежные результаты. При этом степень точности коэффициентов A в (10.37) должна быть такой, чтобы вычисленные значения y совпадали со значениями в исходных табличных значениях. Это требует вычислять значения A тем точнее, чем выше индекс A , т. е. A_1 должно быть точнее (больше число десятичных знаков), чем A_3 ; A_3 — точнее, чем A_2 , и т. д. Для вычисления коэффициентов A методом наименьших квадратов необходимо пользоваться типовыми программами для ЭВМ.

10.4. Регрессионный анализ

Под регрессионным анализом понимают исследование закономерностей связи между явлениями (процессами), которые зависят от многих, иногда неизвестных, факторов. Часто между переменными x и y существует связь, но не вполне определенная, при которой одному значению x соответствует несколько значений (совокупность) y . В таких случаях связь называют регрессионной. Таким образом, функция $y=f(x)$ является регрессионной (корреляционной), если каждому значению аргумента соответствует статистический ряд распределения y . Следовательно, регрессионные зависимости характеризуются вероятностными или стохастическими связями. Поэтому установление регрессионных зависимостей между величинами y и x возможно лишь тогда, когда выполнимы статистические измерения.

Статистические зависимости описываются математическими моделями процесса, т. е. регрессионными выражениями, связывающими независимые значения x (факторы) с зависимой переменной y (результативный признак, функция цели, отклик). Модель по возможности должна быть простой и адекватной. Например, модуль упругости материала E зависит от его плотности ρ так,

что с возрастанием плотности модуль упругости материала увеличивается. Но выявить эту закономерность можно только при наличии большого количества измерений, так как при исследованиях каждой отдельной парной связи в зависимости $E=f(\rho)$ наблюдаются большие отклонения.

Суть регрессионного анализа сводится к установлению уравнения регрессии, т.е. вида кривой между случайными величинами (аргументами x и функцией y), оценке тесноты связей между ними, достоверности и адекватности результатов измерений.

Чтобы предварительно определить наличие такой связи между x и y , наносят точки на график и строят так называемое корреляционное поле (рис. 10.8). По тесноте

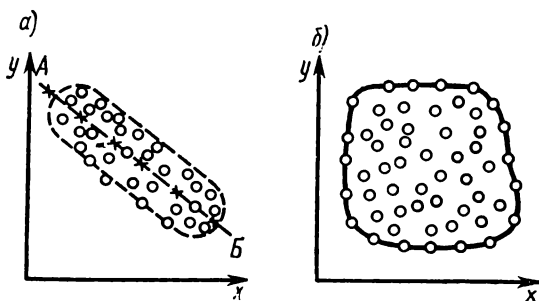


Рис. 10.8. Корреляционное поле

группирования точек вокруг прямой или кривой линии, по наклону линии можно визуально судить о наличии корреляционной связи. Так, из рис. 10.8, *а* видно, что экспериментальные данные имеют определенную связь между x и y , а измерения, приведенные на рис. 10.8, *б*, такой связи не показывают.

Корреляционное поле характеризует вид связи между x и y . По форме поля можно ориентировочно судить о форме графика, характеризующего прямолинейную или криволинейную зависимости. Даже для вполне выраженной формы корреляционного поля вследствие статистического характера связи исследуемого явления одно значение x может иметь несколько значений y . Если на корреляционном поле осреднить точки, т.е. для каждого значения x_i определить \bar{x}_i и соединить точки y_i , то можно будет получить ломаную линию, называемую экспери-

ментальной регрессионной зависимостью (линией). Наличие ломаной линии объясняется погрешностями измерений, недостаточным количеством измерений, физической сущностью исследуемого явления и др. Если на корреляционном поле провести плавную линию между \bar{y}_i , которая равноудалена от них, то получится новая теоретическая регрессионная зависимость — линия AB (см. рис. 10.8, а).

Различают однофакторные (парные) и многофакторные регрессионные зависимости. Парная регрессия при парной зависимости может быть аппроксимирована прямой линией, параболой, гиперболой, логарифмической, степенной или показательной функцией, полиномом и др. Двухфакторное поле можно аппроксимировать плоскостью, параболоидом второго порядка, гиперболоидом. Для переменных факторов связь может быть установлена с помощью n -мерного пространства уравнениями второго порядка:

$$y = b_0 + \sum_1^n b_i x_i + \sum_j^n b_{ij} x_i x_j + \sum_1^n b_{ii} x_i^2, \quad (10.41)$$

где y — функция цели (отклика) многофакторных переменных; x_i — независимые факторы; b_i — коэффициенты регрессии, характеризующие влияние фактора x_i на функцию цели; b_{ij} — коэффициенты, характеризующие двойное влияние факторов x_i и x_j на функцию цели.

При построении теоретической регрессионной зависимости оптимальной является такая функция, в которой соблюдаются условия наименьших квадратов $\sum (y_i - \bar{y})^2 = \min$, где y_i — фактические ординаты поля; \bar{y} — среднее значение ординаты с абсциссой x . Поле корреляции аппроксимируется уравнением прямой $y = a + bx$. Линию регрессии рассчитывают из условий наименьших квадратов. При этом кривая AB (см. рис. 10.8, а) наилучшим образом выравнивает значения постоянных коэффициентов a и b , т. е. коэффициентов уравнения регрессии. Их вычисляют по выражениям

$$b = (n \sum xy - \sum x \sum y) / n \sum x^2 - (\sum x)^2, \quad (10.42)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n}. \quad (10.43)$$

Критерием близости корреляционной зависимости между x и y к линейной функциональной зависимости яв-

ляется коэффициент парной или просто коэффициент корреляции r , показывающий степень тесноты связи x и y и определяемый отношением

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (10.44)$$

где n — число измерений. Значение коэффициента корреляции всегда меньше единицы. При $r=1,0$ x и y связаны функциональной связью (в данном случае линейной), т. е. каждому значению x соответствует только одно значение y . Если $r < 1$, то линейной связи не существует. При $r=0$ линейная корреляционная связь между x и y отсутствует, но может существовать нелинейная регрессия. Обычно считают тесноту связи удовлетворительной при $r \geq 0,5$; хорошей при $r=0,8 \dots 0,85$. Для определения процента разброса (изменчивости) искомой функции y относительно ее среднего значения, определяемого изменчивостью фактора x , вычисляют коэффициент детерминации

$$k_d = r^2. \quad (10.45)$$

Уравнение регрессии прямой можно представить выражением

$$y = \bar{y} + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}). \quad (10.46)$$

Пусть, например, имеется статистический ряд парных измерений:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	11	14	16	21	26	27	32	34	41

по которому можно найти уравнение прямолинейной регрессии, оценить тесноту связей и оценить степень достоверности. Расчет целесообразно вести в табличной форме (табл. 10.9).

В табл. 10.10 приведена сходимость экспериментальной и теоретической регрессии.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{55}{10} = 5,5; & \bar{y} &= \frac{230}{10} = 23; & \sigma_x &= \\ &= \frac{82,50}{10} = 8,25; & \sigma_y &= \frac{1054}{10} = 105,4. \end{aligned}$$

Расчет уравнения регрессии

x	y	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	x^2	y^2	xy	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
1	8	-4,5	-15	20,25	225	1	64	8	67,5
2	11	-3,5	-12	12,25	144	4	121	22	42,0
3	14	-2,5	-9	6,25	81	9	196	42	22,5
4	16	-1,5	-7	2,25	49	16	256	64	10,5
5	21	-0,5	-2	0,25	4	25	441	105	1,0
6	26	0,5	+3	0,25	9	36	676	156	1,5
7	27	1,5	+4	2,25	16	49	729	189	6,0
8	32	2,5	+9	6,25	81	64	1024	256	22,5
9	34	3,5	+11	12,25	121	81	1156	306	31,5
10	41	4,5	+18	20,25	324	100	1681	410	81,0
55	230	—	—	82,50	1054	385	6344	1558	286,0

Таблица 10.10

Сходимость экспериментальной и теоретической регрессии

y	8	11	14	16	21	26	27	32	34	41
$y_{\text{т}}$	7,1	10,6	14,2	17,7	21,8	24,8	28,3	31,9	35,4	39,0

Коэффициент корреляции согласно (10.54)

$$r = \frac{10 \cdot 1558 - 55 \cdot 230}{(10 \cdot 385 - 55^2)(10 \cdot 6344 - 230^2)} = -0,99.$$

Из (10.52) и (10.53)

$$b = \frac{10 \cdot 1558 - 55 \cdot 230}{10 \cdot 385 - 55^2} = 3,55;$$

$$a = \frac{230}{10} - 3,55 \frac{55}{10} = 3,48$$

Уравнение регрессии имеет вид

$$y = 3,48 + 3,55x.$$

Как видно из расчетов, сходимость оказалась хорошей.

Коэффициент детерминации, найденный по формуле (10.45), составляет $k_d = 0,99^2 = 0,98$, что означает, что 98 % разброса определяется изменчивостью x , а 2 % — другими причинами, т. е. изменчивость функции y почти полностью характеризуется разбросом (природой) фактора x .

На практике часто возникает потребность в установлении связи между y и многими параметрами x_1, \dots, x_n на основе многофакторной регрессии.

Многофакторные теоретические регрессии аппроксимируются полиномами первого (10.37) или второго (10.41) порядка. Математические модели характеризуют стохастический процесс изучаемого явления, уравнение регрессии определяет систематическую, а ошибки разброса — случайную составляющие.

Теоретическую модель множественной регрессии можно получить методами математического планирования, т. е. активным экспериментом, а также пассивным, когда точки факторного пространства выбираются в процессе эксперимента произвольно.

10.5. Оценка адекватности теоретических решений

В результате эксперимента получают статистический ряд обычно парных, однофакторных (x_i, y_i) или многофакторных (a_i, b_i, c_i, \dots) измерений. Статистические измерения подвергают обработке и анализу, подбирают эмпирические формулы и устанавливают их достоверность.

Перед подбором эмпирических формул необходимо еще раз убедиться в достоверности эксперимента, окончательно проверить воспроизводимость результатов по критерию Кохрена. Оценка пригодности гипотезы исследования, а также теоретических данных на адекватность, т. е. соответствие теоретической кривой экспериментальным данным, необходима во всех случаях на стадии анализа теоретико-экспериментальных исследований. Методы оценки адекватности основаны на использовании доверительных интервалов, позволяющих с заданной доверительной вероятностью определять искомые значения оцениваемого параметра. Суть такой проверки состоит в сопоставлении полученной или предполагаемой теоретической функции $y = f(x)$ с результатами измерений. В практике оценки адекватности применяют различные статистические критерии согласия.

Одним из таких критериев является критерий Фи-

ш е р а. Установление адекватности — это определение ошибки аппроксимации опытных данных. Для этого необходимо рассчитать экспериментальное (опытное) значение критерия Фишера — $k_{фэ}$ и сравнить его с теоретическим (табличным) — $k_{фт}$, принимаемым при требуемой доверительной вероятности p_d (обычно $p_d=0,95$). Если $k_{фэ} < k_{фт}$ — модель адекватна; если $k_{фэ} \geq k_{фт}$ — модель неадекватна. Опытный критерий Фишера вычисляют по формуле

$$k_{фэ} = D_a / D_{ср}, \quad (10.47)$$

где D_a — дисперсия адекватности; $D_{ср}$ — средняя дисперсия всего эксперимента, определяющиеся как

$$D_a = \frac{\sum_1^n (y_{i\tau} - \bar{y}_{iэ})^2}{n - d}; \quad (10.48)$$

$$D_{ср} = \frac{\sum_1^m \sum_1^n (y_{i\tau} - y_{iэ})^2}{mn}. \quad (10.49)$$

Здесь $y_{i\tau}$ — теоретическое значение функции для каждого измерения; $y_{iэ}$ — экспериментальное значение функции; $\bar{y}_{iэ}$ — среднее экспериментальное значение функции из m серий измерений; n — количество измерений в одном опыте (одной серии или количество опытов); d — число коэффициентов уравнения теоретической регрессии.

Значение $k_{фт}$ принимается по табл. 10.11 для доверительной вероятности 0,95 и числа степеней свободы $q_1 = n - d$, $q_2 = n(m - 1)$. В уравнении (10.48) $y_{i\tau}$ вычисляют по теоретической регрессии для фактора x_i ; \bar{y}_i — как средние из m серий измерений, т. е.

$$\bar{y}_{iэ} = \frac{1}{m} (y_{iэ} + y_{iэ} + \dots + y_{mэ}). \quad (10.50)$$

Пусть, например, получено теоретическое выражение $y=80x$ и для его подтверждения проведен эксперимент. В каждой из пяти серий (повторностей, $m=5$) выполнено по семь измерений ($n=7$). Результаты эксперимента приведены в табл. 10.12. По этим данным можно установить пригодность, т. е. адекватность теоретического выражения.

С этой целью по формуле (10.48) определяется дисперсия адекватности $D_a=5,32/(7-1)=0,89$. Здесь значение $d=1$, поскольку в теоретическом выражении один

Критерий Фишера

q_1	Значения $k_{\Phi T}$ при $p_d = 0,95$ для различных q_2								
	1	2	3	4	5	6	12	24	36
1	16	19	21	22	23	23	24	24	25
2	18	19	19	19	19	19	19	19	19
3	10	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,2
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,6	2,4	2,2
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,2	2,0
17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8	2,7	2,4	2,2	2,0
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
22	4,3	3,4	3,1	2,8	2,7	2,6	2,2	2,0	1,8
26	4,2	3,4	3,0	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,7
60	4,0	3,2	2,9	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
	3,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0

значащий член x . Дисперсия $D_{\text{ср}}$ вначале вычисляется построчно для m строк. Для первой строки $D_1 = \sum (y_{1r} - y_{1\bar{r}})^2 / m = 1/5[(12-16)^2 + (17-16)^2 + (15-16)^2 + (14-16)^2] = 4,4$; для второй строки $D_2 = 1/5[(23-24)^2 + (21-24)^2 + (24-24)^2 + (25-24)^2 + (23-24)^2] = 2,4$ и т. д. Тогда средняя дисперсия всего эксперимента составит $D_{\text{ср}} = \sum_1^n D_i / n = 40,4/7 = 5,77$. После этого по формуле (10.47) подсчитывается $k_{\Phi\bar{r}} = 0,89/5,77 = 0,15$.

Теоретические значения критерия Фишера можно принять по данным табл. 10.10 при следующих степенях свободы: $q_1 = 7-1=6$ и $q_2 = 7(5-1)=27$, $k_{\Phi T} = 3,75$. Так как $k_{\Phi\bar{r}} = 0,15 < k_{\Phi T} = 3,75$, то модель адекватна, т. е. полученная математическая модель с доверительной вероятностью 95 % хорошо описывает изучаемый процесс.

**Результаты эксперимента и оценка адекватности его
теоретического представления**

№ опытов	x_i	Измеренные значения $y_{i\alpha}$ в серии					Средние значения $y_{i\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n y_{i\alpha}$	y_{iT}	$y_{iT} = \bar{y}_{i\alpha}$	$(y_{iT} - y_{i\alpha})^2$	$\sum_{i=1}^m (y_{iT} - y_{i\alpha})^2$ m
		$y_{1\alpha}$	$y_{2\alpha}$	$y_{3\alpha}$	$y_{4\alpha}$	$y_{5\alpha}$					
1	0,2	12	17	15	14	16	14,8	16	1,2	1,44	4,4
2	0,3	23	21	24	25	23	23,2	24	0,8	0,64	2,4
3	0,4	30	34	31	35	35	33,0	32	1,0	1,00	3,8
4	0,5	38	43	40	39	42	40,4	40	0,4	0,16	3,6
5	0,6	52	47	48	49	40	47,2	48	0,8	0,64	16,4
6	0,7	59	58	55	54	53	55,8	56	0,2	0,04	5,4
7	0,8	62	66	62	61	63	62,8	64	1,8	1,44	4,4
Итого										5,36	40,4

Критерий Фишера обычно применяется для определения адекватности малых выборок. В больших выборках целесообразно применять критерии Пирсона, Романовского, Колмогорова. Так, критерий Пирсона наиболее широко применяется при больших статистических измерениях. В соответствии с этим критерием гипотеза о законе распределения подтверждается, если соблюдается условие

$$p(\chi^2, q) > \alpha = 1 - \varphi(x). \quad (10.51)$$

Здесь $\alpha = 1 - \varphi(x)$ — уровень значимости, обычно принимаемый равным 0,10; χ — критерий согласия Пирсона; q — число степеней свободы, равное

$$q = m - s, \quad (10.52)$$

где m — количество групп (серий, разрядов) большой выборки или число измерений в одной серии при анализе односерийного эксперимента; s — число используемых связей (констант).

Значение χ^2 вычисляют по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m (y_{\alpha i} - y_{Ti})^2 / y_{Ti}, \quad (10.53)$$

где y_{zi} , y_{ti} — количество измерений (частота) в каждой группе серий соответственно по данным эксперимента и теоретической кривой.

Пусть имеется большая выборка N измерений. Статистические измерения следует разделить на m разрядов: $x_1 \dots x_2$; $x_3 \dots x_4$; $x_5 \dots x_6$ и т. д. По данным измерений в каждом разряде может оказаться y_z измерений. Так, в диапазоне $x_1 \dots x_2$ имеется y_{z1} измерений (частота); в $x_3 \dots x_4$ имеется y_{z2} измерений и т. д. Очевидно, $\sum_1^m y_{zi} = N$.

По данным эксперимента следует построить экспериментальную кривую частот по $y_{zi} = f(x)$ или $y_{zi}/N = f(x)$. Эту кривую можно аппроксимировать какой-то теоретической кривой (законом Пуассона, показательным, логарифмическим, нормальным и др.). Для этой теоретической кривой устанавливают соответствующие экспериментальные частоты y_{mi} , производят вычисления критерия Пирсона χ^2 по формуле (10.53) и сравнивают его с данными табл. 10.13.

Пусть, например, произведено $N=250$ измерений некоторых величин x_i и по ним необходимо определить закон распределения. Для этого экспериментальные дан-

Таблица 10.13

Критерий Пирсона

χ^2	Значение критерия Пирсона $p(\chi^2, q)$ при числе степеней свободы q							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,317	0,606	0,801	0,909	0,962	0,985	0,994	0,998
2	0,157	0,367	0,572	0,735	0,849	0,919	0,959	0,981
3	0,083	0,223	0,391	0,557	0,700	0,806	0,885	0,934
4	0,045	0,135	0,261	0,406	0,549	0,767	0,079	0,854
5	0,025	0,083	0,171	0,287	0,415	0,543	0,660	0,757
6	0,014	0,049	0,111	0,199	0,306	0,423	0,539	0,647
7	0,008	0,030	0,071	0,135	0,220	0,320	0,428	0,536
8	0,004	0,018	0,046	0,091	0,156	0,238	0,332	0,433
9	0,002	0,011	0,020	0,061	0,109	0,173	0,252	0,342
10	0,001	0,006	0,018	0,040	0,075	0,124	0,188	0,265
11	0,000	0,004	0,011	0,026	0,051	0,088	0,138	0,201
12	—	0,002	0,007	0,017	0,034	0,062	0,100	0,151
13	—	0,001	0,004	0,011	0,023	0,043	0,072	0,111
14	—	0,000	0,002	0,007	0,014	0,029	0,036	0,059
15	—	—	0,001	0,004	0,010	0,020	0,030	0,042

ные $y_{\alpha i}$ целесообразно разбить на семь групп, результаты измерений нанести на сетку в прямоугольных координатах и установить, что кривая близка к закону нормального распределения. В таких случаях в качестве аппроксимирующей принимают кривую нормального распределения, по которой устанавливают соответственно теоретические частоты:

1	23	50	82	58	28	2
1	27	57	80	57	27	1

и по формуле (10.53) вычисляют критерий согласия

$$\chi^2_3 = \frac{(1-1)^2}{1} + \frac{(23-27)^2}{27} + \frac{(50-57)^2}{57} + \frac{(82-80)^2}{80} + \\ + \frac{(58-57)^2}{57} + \frac{(28-27)^2}{27} + \frac{(2-1)^2}{1} = 2,56.$$

По количеству разрядов $m=7$, констант нормального закона $s=2$, $q=7-2=5$. По данным табл. 10.12 в соответствии с p (2,56; 5) определяется $\chi^2_1=0,774$. Это свидетельствует о том, что адекватность удовлетворяется, поскольку $0,774 > 0,10$.

Критерий Романовского определяется отношением

$$k_p = (\chi^2 - q) / \sqrt{2q}. \quad (10.54)$$

Число степеней свободы q определяется разностью (10.52). Адекватность удовлетворяется при $k_p < 3$. Для рассмотренного примера $k_p = \frac{(2,56-5)}{\sqrt{2 \cdot 5}} < 3$. Таким обра-

зом, по критериям Пирсона и Романовского гипотеза о принадлежности экспериментальных данных кривой нормального распределения подтверждается.

Критерий Колмогорова k_k применяется для оценки адекватности также при большой статистической выборке N .

Чтобы определить этот критерий, статистическую кривую частот преобразовывают в статистическую интегральную функцию, находят наибольшую разность частот между экспериментальной статистической интегральной кривой и соответствующей теоретической интегральной кривой:

$$D_0 = \max (\Sigma y_{\alpha i} - \Sigma y_{\tau i}). \quad (10.55)$$

Затем вычисляют

$$\lambda = D_0 \sqrt{N} \quad (10.56)$$

и по значению λ в специальных таблицах находят вероятность $p(\lambda)$. Адекватность удовлетворяется, если $p(\lambda) > 0,05$, т.е. экспериментальные данные подтверждают теоретическое распределение.

10.6. Элементы теории планирования эксперимента

Математическая теория эксперимента¹ определяет условия оптимального проведения исследования, в том числе и при неполном знании физической сущности явления. Для этого используются математические методы при подготовке и проведении опытов, что позволяет исследовать и оптимизировать сложные системы и процессы, обеспечивать высокую эффективность эксперимента и точность определения исследуемых факторов. Обеспечивается также эффективное управление экспериментом при неполном знании механизма явлений.

Эксперименты обычно ставятся небольшими сериями по заранее согласованному алгоритму.

После каждой небольшой серии опытов производится обработка результатов наблюдений и принимается строго обоснованное решение о том, что делать дальше.

При использовании методов математического планирования эксперимента возможно: решать различные вопросы, связанные с изучением сложных процессов и явлений; проводить эксперимент с целью адаптации технологического процесса к изменяющимся оптимальным условиям его протекания и обеспечивать таким образом высокую эффективность его осуществления и др.

Теория математического эксперимента содержит ряд концепций, которые обеспечивают успешную реализацию задач исследования. К ним относятся концепции рандомизации, последовательного эксперимента, математического моделирования, оптимального использования факторного пространства и ряд других.

Принцип рандомизации заключается в том,

¹ См.: *Налимов В. В., Голикова Т. И.* Логическое основание планирования эксперимента. М., 1981; *Таблицы планов экспериментов. Для факторных и полиномиальных моделей.* Справочное издание/ Под ред. В. В. Налимова. М., 1982; *Воробьев Ф. П., Голобородько, Н. К., Мануйлова А. М.* Математическое планирование эксперимента в биохимии и медицине. Харьков, 1977.

что в план эксперимента вводят элемент случайности. Для этого план эксперимента составляется таким образом, чтобы те систематические факторы, которые трудно поддаются контролю, учитывались статистически и затем исключались в исследованиях как систематические ошибки.

При последовательном проведении эксперимент выполняется не одновременно, а поэтапно, с тем чтобы результаты каждого этапа анализировать и принимать решение о целесообразности проведения дальнейших исследований (рис. 10.9). В результате эксперимента

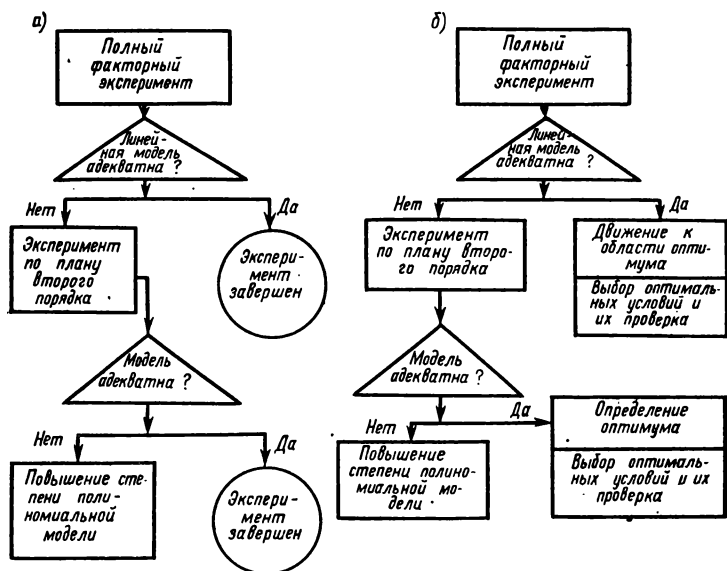


Рис. 10.9. Структурная схема эксперимента:

а — с целью математического описания исследуемого процесса; б — с целью оптимизации исследуемого процесса

получают уравнение регрессии, которое часто называют моделью процесса. Для конкретных случаев математическая модель создается исходя из целевой направленности процесса и задач исследования, с учетом требуемой точности решения и достоверности исходных данных, что обычно производится по критерию Фишера. Так как степень полинома, адекватно описывающего процесс, предсказать невозможно, то сначала пытаются описать явление линейной моделью, а затем, если она неадекват-

на, повышают степень полинома, т. е. проводят эксперимент поэтапно.

В настоящее время изданы каталоги планов эксперимента (например, каталог планов, выпущенный Московским государственным университетом), в которых приводятся сравнительная оценка планов и рекомендации по их выбору применительно к конкретным условиям эксперимента.

Важное место в теории планирования эксперимента занимают вопросы оптимизации исследуемых процессов, свойств многокомпонентных систем или других объектов. Как правило, нельзя найти такое сочетание значений влияющих факторов, при котором одновременно достигается экстремум всех функций отклика. Например, максимальный крутящий момент двигателя и минимальный расход топлива достигаются при различных режимах работы. Поэтому в большинстве случаев за критерий оптимальности выбирают лишь одну из переменных состояния — функцию отклика, характеризующую процесс, а остальные принимают приемлемыми для данного случая. Методы планирования эксперимента в настоящее время быстро развиваются, чему способствует возможность широкого использования ЭВМ.

ГЛАВА XI

ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ РАБОТЫ И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ

11.1. 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.

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 материала¹.

¹ См.: Мильчин А. Э. Методика редактирования текста. М., 1980; Сикорский Н. М. Теория и практика редактирования. М., 1980.

Текст рукописи следует делить на абзацы, т. е. на части, начинающиеся с красной строки. Правильная разбивка на абзацы облегчает чтение и усвоение содержания текста. Критерием такого деления является смысл написанного — каждый абзац включает самостоятельную мысль, содержащуюся в одном или нескольких предложениях.

В рукописи следует избегать повторений, не допускать перехода к новой мысли, пока первая не получила полного законченного выражения. Нельзя допускать в рукописи растянутые фразы с нагромождением придаточных предложений, вводных слов и фраз, писать по возможности краткими и ясными для понимания предложениями. Текст лучше воспринимается, если в нем исключены тавтологии, частое повторение одних и тех же слов и выражений, сочетания в одной фразе нескольких свистящих и шипящих букв.

Изложение должно быть беспристрастным, включать критическую оценку существующих точек зрения, высказанных в литературе по данному вопросу, даже если факты не в пользу автора. Если же необходимо включить спорное мнение, то это следует оговорить. В тексте желательно меньше делать ссылок на себя, но если это необходимо, то употреблять выражения в третьем лице: автор полагает, по нашему мнению и т. д.

Не рекомендуется перегружать рукопись цифрами, цитатами, иллюстрациями, ибо это отвлекает внимание читателя и затрудняет понимание содержания. Однако не следует и отказываться совсем от такого материала, так как 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 соответствовали бы стандартам. Нельзя, например, писать: 10 тонн или 10 тн, или 10 т., только 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, це-

лесообразно придерживаться следующего общего плана изложения (хотя индивидуальные отклонения возможны).

Вначале продумывается название (заглавие работы, которое должно быть кратким, определенным, отвечающим содержанию работы, так как по нему научная работа будет классифицирована в предметном каталоге). Название работы выносится на титульную страницу, на которой указываются полное имя, отчество и фамилия автора (авторов) в именительном падеже и должность, занимаемая им в момент написания работы, название учреждения и города, где была выполнена предлагаемая работа, год ее оформления, фамилия, должность и звание руководителя.

Оглавление (содержание) призвано раскрыть перед читателем в краткой форме содержание работы путем обозначения основных разделов, частей, глав и других подразделений рукописи. Место содержания в общей структуре рукописи может быть либо в начале ее, либо в конце.

Иногда при оформлении научной работы возникает необходимость дать 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 вступлении (введении) автор вводит читателя в круг проблем, дает постановку основного вопроса исследования, чтобы подготовить 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. 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 важную литературу от менее существенной. Это имеет большое значение для читателей, так как позволяет им определить положение работы в общей структуре работ по данной теме.

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. Особое внимание следует обращать на точность используемых в тексте слов и выражений, не допускать возможности двусмысленного их толкования.

Вновь введенные термины или понятия необходимо подробно разъяснять. Общеизвестные и даже специальные термины и понятия раскрывать необязательно, так как научная работа, как правило, предназначена для подготовленного читателя, для специалистов.

Цифровой материал, если он есть, представляется в форме, легко доступной обозрению (в виде таблиц, диаграмм, графиков) при соблюдении особой точности, так как неверные цифры могут привести к неверным выводам. Если же какой-то цифровой материал можно с достаточной ясностью и краткостью изложить в самом тексте, то его не следует облекать в табличную форму. Не надо также вносить в таблицы величины, которые выражаются для всех строк одинаковыми цифрами (удобнее их сообщать в основном тексте).

Каждая таблица, включенная в текст, должна иметь наименование (заголовок) и номер либо для всей работы (Таблица 27), либо для данной главы, например десятой (Таблица 10.3). Особое внимание надо обратить на заголовки граф таблицы. Таблица должна содержать ответы минимум на четыре вопроса: что, когда, где, откуда. Все сведения, которые могут быть вынесены в заголовки граф, нет надобности помещать в тексте таблицы (например, единицы измерения). Если в таблице имеются пропуски, их надо указать и пояснить, что они значат. Текст к таблицам дается очень краткий, в нем указываются только основные взаимоотношения и выводы, которые вытекают из цифрового материала.

Порядковую нумерацию вертикальным графам устанавливают только в том случае, если эти номера фактически используются в тексте (например, при ссылке на ту или иную графу или если таблица переносится на другую страницу текста). В таблицах необходимо избегать больших чисел, написанных полностью, а прибегать к сокращениям или укрупненным единицам, например, вместо 1391000 т написать 1,391 тыс. т и указать в заголовке, что числа в этой графе выражаются в млн. т.

В качестве примера подачи материала в таблице ниже приводится одна из них:

Т а б л и ц а 2. (Нумерационный заголовок)

**Изменение среднего объема одного учебника в печатных листах
(Тематический заголовок)**

Годы	Общий	Средний объем одного учебника		Головка
		для начальной и средней школы	для вузов	
1940	9,6	9,9	16,9	Хвостовая часть
1950	13,0	12,8	20,1	
1956	12,8	12,1	15,5	
Боковик		Прографка		

Нумерационный заголовок необходим для связи таблицы с текстом (по условиям верстки таблица не всегда стоит рядом с текстом, к которому относится). Тематический заголовок раскрывает содержание таблицы. Головка позволяет дать заглавие каждой графе. Боковик — левая вертикальная колонка — содержит данные о горизонтальных строках. Хвостовая часть или прографка дает сведения, относящиеся к соответствующим заголовкам боковика.

Выводы должны отвечать только тому материалу, который изложен в работе. Пишутся выводы в конце работы как итоговый материал в виде кратко сформулированных и пронумерованных отдельных тезисов (положений). Иногда их представляют в связанном, но предельно сжатом изложении. Но и при этом следует соблюдать принцип: в выводах надо идти от частных к более общим и важным положениям.

Характерной ошибкой при написании выводов является то, что вместо формулировки результатов исследований пишется о том, что делалось в данной работе и о чем уже говорилось в основном содержании. Получается повторение материала и в то же время образуется существенный пробел — отсутствие акцентации на результатах исследования.

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. Хорошо написанное заключение характеризуется тем, что человек, знакомый с исследованиями по данному направлению, прочитав это заключение, может ясно представить качественную сущность данной работы (без ее методических и конкретных количественных аспектов) и сделать определенные выводы о возможных направлениях дальнейших исследований.

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 в порядке, принятом в советской библиографии, и пронумерованы. В каждой позиции библиографии должны быть указаны: фамилии и инициалы автора, наименование книги, издательство (например, М., Машиностроение), год издания, объем в страницах (например, 523 с.). Если ссылка дается на журнал, то следует указывать фамилию и инициалы автора, наименование статьи, наименование журнала, год издания, номер журнала и страницы, которые занимает в журнале статья (например, с. 21...30). В тексте же научной работы достаточно ссылаться только на номер источника, ставя его в прямые скобки. Если требуется ссылка на определенную страницу, то, например, [24, С. 189] означает, что ссылка сделана на страницу 189 сочинения, которое в списке литературы значится под номером 24. Список литературы составляется либо по алфавиту фамилий авторов, при этом вначале указываются русские источники, а затем — иностранные, но по такому же принципу, либо по хронологическому признаку. Часто список литературы составляют и по порядку ссылок на нее в данной работе.

При написании научной работы следует помнить об архитектуре, т. е. соблюдении надлежащих пропорций между частями, разделами, главами, подглавами, параграфами и придании им соответствующего шифра: 1.1, 1.2 и т. д. Соблюдение этих пропорций делает наглядным логический строй данного произведения. Объем рукописи определяется по количеству печатных знаков. Один ма-

шинописный лист содержит 1700...1800 знаков, печатный лист — 40 тыс. знаков или 24 машинописные страницы.

В научных трудах часто возникает необходимость в конце работы дать приложение, куда входят вспомогательные таблицы, графики, дополнительные тексты и прочие материалы. При этом каждому материалу, таблице, графику надо присвоить самостоятельный порядковый номер, который при необходимости можно указать в тексте при ссылке на те или иные вспомогательные материалы.

Часто по тексту работы приходится готовить реферат или аннотацию. Аннотация — это краткая характеристика отчета или другого произведения печати с точки зрения содержания, назначения, формы и других особенностей. Аннотация выполняет прежде всего сигнальные функции и должна отвечать на вопрос: «о чем говорится в первичном документе?» Поэтому аннотации включают в себя преимущественно фразы в форме страдательного оборота, где сказуемое выражено глаголом в возвратной форме («рассматривается», «обсуждается», «исследуется» и т. п.) или пассивной глагольной формой («рассмотрен», «исследован», «доказан» и т. п.). Аннотации часто помещаются в отчетах, а также в книгах, брошюрах, тематических планах издательств, рекламных материалах, в библиографических пособиях и печатных каталожных карточках.

Реферат представляет собой сокращенное изложение содержания первичного документа (или его части) с основными фактическими сведениями и выводами. Реферат в отличие от аннотации выполняет не сигнальную, а познавательную функцию, отвечая на вопрос «что говорится в первичном документе?» Поэтому реферат может включать в себя фразы, выраженные любой грамматической формой. Рефераты помещаются в реферативных журналах и сборниках, информационных картах и др.

Основные требования к реферату и аннотации на произведения печати и непубликуемые документы содержит ГОСТ 7.9—77, согласно которому реферат должен включать заглавие реферата (как правило, совпадающее с заглавием первичного документа) и текст реферата. Текст реферата включает тему, предмет (объект), характер и цель работы, методы проведения работы (для новых методов дается описание, широко известные только называются), конкретные результаты работы (теоретичес-

тические, 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. Средний объем реферата в зависимости от реферируемых первичных документов должен иметь печатных знаков: 500 — для заметок и кратких сообщений; 1000 — для большинства статей, патентов; 2500 — для документов большого объема.

Аннотация в соответствии с ГОСТ 7.9—77 включает характеристику типа произведения, основной темы, проблемы, объекта, цель работы и ее результаты. В аннотации указывается, что нового несет в себе данное произведение и его читательское назначение. Средний объем аннотации — 600 печатных знаков.

Основные требования к оформлению научно-технического отчета (отчета о НИР) содержит ГОСТ 7.32—81. Согласно этому ГОСТу, отчет включает аннотацию и реферат с кратким изложением задач исследования и полученных результатов, введение с характеристикой отечественных и зарубежных достижений по исследуемой проблеме и текст отчета. В текст отчета входят: постановка задачи, формулировка технического задания, анализ известных методов и способов решения задачи, обоснование принятого решения по методам (способам) решения задачи, расчеты и результаты экспериментов (приводятся в форме, дающей возможность читателю проанализировать справедливость полученных результатов), выводы с сопоставлением и анализом полученных в процессе исследования теоретических и экспериментальных данных, заключение с оценкой результатов и указанием путей их использования.

Практика свидетельствует о том, что примерно $\frac{1}{5}$ содержащихся в отчете сведений впоследствии предоставляется потребителям в виде изданий, остальная часть их содержания хранится в архивах учреждений и организаций. С этим связана необходимость обязательной регистрации и учета всех НИР и ОКР по всем областям науки и техники. Задача эта возложена на ВНИИЦентр.

О результатах, полученных при выполнении той или иной научно-исследовательской темы, необходимо информировать научную общественность. Эти же цели (кроме возможности дополнительной оценки) преследует ВАК

СССР, установивший обязательную предварительную рассылку авторефератов перед защитой кандидатских и докторских диссертаций.

Следует при этом отметить, что научная информация¹ имеет свойство кумулятивности, т.е. уменьшения ее объема со временем путем более краткого, обобщенного изложения при переходе от документов, фиксирующих результаты лабораторных экспериментов, к научно-техническому отчету, статьям, обзорам, монографиям, учебникам, справочникам. В каждом последующем звене этой цепочки одна и та же информация, рожденная на этапе исследовательской деятельности, представляется в более уплотненном виде. В каждый последующий документ включается не вся созданная на этапе исследования информация, а только наиболее важная, актуальная, «отстоявшаяся», наиболее соответствующая читательскому назначению подготавливаемого документа. Такое представление научно-технической информации во все более уплотненном виде достигается путем свертывания информации². Это совокупность операций аналитико-синтетической переработки документов, преследующих цель создания вторичных документов или выражения содержания исходного текста в более экономичной форме при сохранении или некотором уменьшении его информативности в производном тексте. Существенно, что в процессе свертывания не просто сокращается текст, а именно «сворачивается», причем так, чтобы иметь возможность затем вновь его развернуть на основе сохраненных «смысловых вех», «смысловых опорных пунктов». (Так поступают, например, при составлении индивидуального конспекта, в который включается обычно то, что впоследствии позволяет мысленно восстановить конспектируемый текст.)

Различают информативное и метаинформативное свертывание. М е т а и н ф о р м а т и в н о е — это создание ряда документов, основная цель которых в той или иной степени раскрыть тему и содержание других документов (библиографические описания, аннотации, библиографические обзоры, авторефераты диссертаций, предисловия

¹ См.: Корюкова А. А., Дера В. Г. Основы научно-технической информации. М., 1985; Новиков Э. А., Егоров В. С. Информация и исследователь. Л., 1974; Гречихин А. А., Здоров И. Г. Информационные издания. М., 1979.

² См. Блюменау Д. И. Проблемы свертывания информации, Л., 1982.

и введения к книгам, программы учебных курсов, справочные аппараты изданий). Информативное — это создание ряда документов, основная цель которых — служить непосредственным источником информации при решении определенных задач. Результатом информативного свертывания могут быть как первичные документы (отчет, статья, краткое сообщение, информационный листок), так и вторичные (рефераты, фактографические справки, реферативные обзоры).

Важным этапом работы над рукописью отчета или другого материала, готовящегося к печати, является редактирование произведения, которое осуществляется первоначально автором при работе над рукописью (авторский этап издательского процесса) и затем редактором (редакционный этап издательского процесса). Основа редактирования — это критический анализ предназначенного к изданию произведения с целью его правильной оценки и совершенствования содержания и формы произведения ради интересов читателя и общества. При редактировании особое внимание обращается на идеологическое и политическое содержание текста, на существенность и полноту приводимых фактов, их новизну и связь с современной жизнью, достоверность, точность и убедительность, на вклад данной работы в прогресс соответствующей области знаний, на соблюдение законов и закономерностей конкретной науки, отрасли знаний, производства, на соответствие отдельных частей текста их функциям, на форму текста.

Важнейшими сторонами формы текста являются: композиционная (построение литературного произведения, объединяющее все его элементы в единое целое); рубрикационная (деление текста на структурные единицы, части, разделы, главы, параграфы); логическая (соответствие рассуждений, выводов и определений автора нормам логически правильного мышления); языково-стилистическая, графическая (качество таблиц и иллюстраций). В таблицах цифровой и текстовой материал группируется в колонки, отграниченные одна от другой вертикальными и горизонтальными линейками. Иллюстрация является изображением, служащим пояснением или дополнением к какому-либо тексту. В издательствах «Наука», «Машиностроение», «Просвещение» принято, что на один авторский лист может быть представлено в научной литературе 5...8 иллюстраций, в производственно-технической — 8...10, в учебной и популярной —

5...12. Ссылку на иллюстрацию помещают в тексте вслед за упоминанием предмета, ставшего объектом изображения, например: рис. 36. Повторные ссылки на иллюстрации сопровождаются сокращенным словом см. (см. рис. 36). Могут быть ссылки на часть иллюстрации, обозначенную буквой, например: рис. 40, б.

При редактировании текста необходимо обращать внимание на языково-стилистическую его сторону, т. е. на правильность построения фраз и грамматических оборотов, на целесообразность использования тех или иных слов. При этом полезно знать основные приемы анализа рукописи, позволяющие замечать и устранять типичные ошибки языка и стиля (см. Приложение 2). Распространенная ошибка — употребление необязательных, лишних слов. Многословие всегда затемняет основную мысль автора, ослабляет действенность печатного произведения, делает его менее доступным для читателя. Поэтому слова, употребление которых не находит оправдания, должны быть отнесены к лишним.

Слово «редактирование» происходит от лат. *redactus*, что дословно означает «приведенный в порядок». Однако автор не должен считать, что устранение беспорядка в его рукописи — дело редактора. По существу, автору рекомендуется в какой-то мере продублировать редактора. Это первая ступень обработки рукописи. Здесь необходимо примириться с многократными переделками, сокращениями и дополнениями. Желательно после известного промежутка времени заново прочитать свою рукопись и попытаться оценить ее в целом и по частям, как бы с точки зрения читателя (вторая ступень). Третья ступень — детальное прочтение для выявления ошибок в тексте, соответствия иллюстраций, единообразия терминологии, обозначений и т. д. Только после выполнения всего этого рукопись можно сдавать в издательство.

Если работа оформляется в виде статьи в журнал, то она должна быть отправлена в редакцию в законченном виде в соответствии с требованиями, которые обычно публикуются в отдельных номерах журналов в качестве памятки авторам. Рукопись статьи, представляемая для опубликования в журнале (сборнике), должна, как правило, содержать полное название работы, фамилию и инициалы автора(ов), аннотацию (на отдельной странице), список использованной литературы, разрешение на опубликование материалов в открытой печати (акт экспертизы).

Рукопись должна быть подписана автором(ами) и в приложении содержать фамилию, имя и отчество автора(ов), ученую степень автора(ов), их телефоны и адреса. Статьи, являющиеся результатом работ, проведенных в организациях, должны обязательно сопровождаться письмами этих организаций с просьбой о публикации.

Текст статьи представляется в двух экземплярах (один из которых — первый машинописный оттиск) на русском языке. Для статей (обзоров), переведенных на русский язык с других языков, желательно представление экземпляра на национальном языке.

Рукопись должна быть напечатана на пишущей машинке через два интервала на одной стороне листа. Формулы в текст необходимо вписывать разборчиво, размечать буквы русского, латинского и греческого алфавитов, обозначать прописные и строчные буквы, индексы и показатели степени. Иллюстративный и графический материал должен быть пронумерован и выполнен в виде, пригодном для полиграфического воспроизводства. К рисункам при необходимости отдельно дается текст подрисовочных подписей. Страницы рукописи следует пронумеровать (начиная с титульного листа), а на полях указать места размещения рисунков, графического материала и таблиц.

Объем публикаций зависит от конкретного журнала. Для статей и обзоров он, как правило, не превышает 20...25 страниц машинописного текста, для информационных сообщений — 3...5 страниц.

Некоторые научно-технические материалы (статьи, отчеты и др.) хотя и содержат неизвестные ранее сведения, но могут заинтересовать лишь небольшую часть специалистов, в связи с чем публиковать их в многотиражных журналах оказывается нецелесообразным. Но для того чтобы специалистам предоставить возможность ознакомления с такими работами, в стране введено депонирование, т.е. такие материалы (рукописи монографий, обзоров, отдельных статей, трудов конференций) принимаются на хранение. Депонирование предусматривает не только прием и хранение рукописей, но и организацию информации о них, копирование рукописей по запросам потребителей. Материалы для депонирования оформляются по тем же правилам, что и статьи, представляемые для публикации. За автором депонируемых материалов сохраняется авторское право, в дальней-

шем он может опубликовать их. В СССР функционирует Всесоюзная сеть депонирования, включающая около 100 организаций-депозитариев (организаций, принимающих рукописи на хранение). Перечень этих организаций, а также правила оформления депонированных рукописей приведены в инструкции о порядке депонирования рукописных работ по естественным, техническим, общественным наукам (М., ВИНТИ, 1977).

ВИНТИ принимает на депонирование рукописи от организаций АН СССР и академий союзных республик (по естественным, точным и техническим наукам), а также от учебных и научно-исследовательских институтов (по естественным и точным наукам); ИНИОН — по общественным наукам; центральные отраслевые органы НТИ — по тематике отрасли, республиканские институты НТИ — рукописи от организаций республиканского подчинения.

После опубликования реферата депонированной рукописи автору выдают справку с указанием его фамилии, названия рукописи, наименования реферативного издания, опубликовавшего реферат, и его номера. Организационными депонентами (направляющими рукописи на депонирование) обычно выступают редакции журналов, вузы, головные НИИ, а решения о передаче рукописи на депонирование принимаются редколлегией журналов, а также учеными, научно-техническими и издательскими советами учреждений и организаций, пользующихся правом издательской деятельности. Они являются ответственными за содержание направляемых на депонирование рукописей.

Депонирование дает авторам рукописей некоторые преимущества по сравнению с авторами опубликованных материалов, так как депонированные рукописи реферируются одновременно с опубликованными и они значительно менее остро ограничиваются по объему.

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 критические (подвергающие научному анализу позиции автора, уточняющие, а подчас 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. Акт экспертизы заполняется по специальной форме, подписывается членами экспертной комиссии и завершается круглой печатью учреждения, осуществившего экспертизу.

В целях оперативного информирования специалистов о результатах выполненных исследований, разработки рекомендаций по направлениям дальнейшей работы, по использованию результатов в народном хозяйстве организуются различные научные и научно-технические конференции, съезды, семинары, симпозиумы и т. п. Для выступления на таком собрании специалистов готовятся доклады, сообщения, подготовка которых осуществляется в соответствии с рассмотренными выше требованиями. Информация об итогах проведения конференции (совещания, семинара), как правило, публикуется в соответствующих журналах и других периодических изданиях.

11.2. Оформление заявки на предполагаемое изобретение

Научно-исследовательские работы, выполненные в области прикладных и особенно технических наук, нередко содержат результаты, представляющие собой новую конструкцию, материал, технологический процесс и т. п. В связи с этим все результаты научных исследований необходимо анализировать на предмет возможного изобретения, и если таковое обнаруживается, необходимо оформлять заявку на это изобретение. Объектами изобретений могут являться: *устройство* (например, машина, прибор, инструмент и др.); *способ* (например, способ изготовления изделия, получения вещества; способ лечения и др.); *вещество* (сплав, смесь, раствор, полученный нехимическим путем материал, химическое соединение и др.); *применение ранее известных устройств*,

способов, веществ по новому назначению с положительным эффектом (без их изменения по существу); штаммы микроорганизмов (бактерий, вирусов, водорослей), продуцирующие полезные вещества или используемые непосредственно. По правовой охране к изобретениям приравниваются следующие селекционные достижения: сорта и гибриды сельскохозяйственных культур и других культивируемых растений, породы сельскохозяйственных животных и птиц, типы пушных зверей и породы тутового шелкопряда.

Следует иметь в виду, что изобретениями не признаются методы и системы организации и управления хозяйством (планирование, финансирование, снабжение, учет, кредит, бухгалтерия, прогнозирование, нормирование, формы бланков, карточек и т. п.); условные обозначения (например, дорожные знаки, маршруты, коды, шрифты и т. п.); расписания, правила (например, правила игры, уличного движения и т. п.); проекты и схемы планировки сооружений, зданий и территорий (населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, парков, площадей и т. п.); методы и системы воспитания, преподавания, обучения, дрессировки животных; грамматика языка, системы информации, классификации, конъюнктурных и иных исследований, системы обработки и упорядочения документации; системы математических построений и преобразований; методы расчетов, математические решения задач, в частности, вычислительные алгоритмы и программы для вычислительных машин; методы научных разработок: методы проектирования и т. п.; предложения, касающиеся лишь внешнего вида (формы, фасона) изделий, охраняемых в соответствии с законодательством о промышленных образцах; решения, противоречащие принципам гуманности, социалистической морали и общественным интересам, или явно бесполезные решения и, наконец, собственно научные открытия, научные теории, основные положения науки, не решающие какой-либо конкретной задачи.

В СССР действуют две формы охраны авторских прав изобретателей: авторские свидетельства и патенты. На изобретения выдаются авторские свидетельства, если изобретение создано в процессе работы автора в государственной, кооперативной, общественной организации или по ее заданию. Если изобретение создано советскими организациями совместно с организациями зарубежных стран в процессе экономического и научно-технического

сотрудничества, то на основе взаимной договоренности в порядке исключения на изобретение может быть выдан патент.

Заявка на выдачу авторского свидетельства или патента на изобретение подается автором (соавторами) в Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий (Госкомизобретений). Заявки на селекционные достижения, приравненные к изобретениям, подаются в Госагропром СССР.

Если изобретение создано в связи с выполнением служебного задания, то заявка оформляется с участием автора (соавторов) и подается организацией. Если же изобретение не связано с выполнением служебного задания, то автор, работающий в организации, вправе подать личную заявку на выдачу авторского свидетельства через эту организацию, которая обязана оказать помощь в оформлении заявки.

Авторы изобретений, не работающие в организациях или работающие в организациях, но создавшие изобретения не в связи с выполнением служебного задания, вправе подать заявку непосредственно в Госкомизобретений или также через местную организацию Всесоюзного общества изобретателей и рационализаторов (ВОИР), которая должна оказать помощь в оформлении заявки.

При оформлении заявки необходимо руководствоваться указаниями по составлению заявки на изобретение, утвержденными Госкомизобретений СССР. Заявка на выдачу авторского свидетельства или патента должна включать заявление о выдаче авторского свидетельства или патента; описание изобретения с формулой изобретения, чертежи, схемы, акт испытаний и другие материалы, иллюстрирующие предполагаемое изобретение, если они необходимы для наиболее полного раскрытия сущности и значимости изобретения; справку о творческом участии каждого из соавторов в создании изобретения; аннотацию, содержащую краткое изложение того, что раскрыто в описании изобретения, в формуле изобретения и других материалах заявки, с указанием области применения и возможности использования изобретения; заключение о новизне технического решения, включая сведения о проведенных патентных исследованиях, с указанием возможных областей его применения в народном хозяйстве и ожидаемого технико-экономического или иного эффекта; акт экспертизы.

Если изобретение создано в связи с выполнением служебного задания, то заявление о выдаче авторского свидетельства подается от имени организации (организаций), создавшей изобретение совместно (в том числе в процессе экономического и технического сотрудничества стран — членов СЭВ).

Заявление может быть подано лично автором или соавторами, создавшими изобретение не в связи с выполнением служебного задания и испрашивающими авторское свидетельство на свое имя, но подающих заявку через организацию с ее заключением, или через местные организации ВОИР, или самостоятельно, а также испрашивающими патент и подающими заявку самостоятельно.

По заявкам иностранных граждан или иностранной фирмы заявление подается Торгово-промышленной палатой СССР.

Советские и иностранные организации могут подать заявление с просьбой о выдаче патента на совместное изобретение, созданное в связи с выполнением служебного задания при осуществлении научно-технического сотрудничества.

Для каждого вида заявлений предусмотрена специальная форма (бланк).

Описание изобретения, а также графические материалы (если они необходимы) являются основными документами заявки, отображающими созданное изобретение. В описании изобретения включаются название изобретения и класс Международной классификации изобретений, к которому оно, по мнению заявителя, относится; область техники, к которой относится изобретение, и преимущественная область использования изобретения; характеристика аналогов изобретения; характеристика прототипа, выбранного заявителем; критика прототипа; цель изобретения; сущность изобретения и его отличительные (от прототипа) признаки; перечень фигур графических изображений (если они необходимы); примеры конкретного выполнения; технико-экономическая или иная эффективность; формула изобретения.

Каждый раздел описания располагается в виде отдельного абзаца. При изложении всех разделов описания необходимо использовать термины, общепринятые в данной области техники, соблюдать единство терминологии, использовать одну систему единиц измерения.

Приведенная в заявке формула изобретения имеет решающее значение для оценки органом, осуществляющим

государственную научно-техническую экспертизу изобретений, новизны и существенных отличий, а также положительного эффекта заявляемого объекта, а в случае признания объекта изобретением только она одна приобретает правовое значение, т. е. она является единственным критерием для определения объема изобретения и по ней устанавливается факт использования (или неиспользования) изобретения.

Формула изобретения — это составленная по установленным правилам краткая словесная характеристика, выражающая техническую сущность, признаки объекта изобретения. Под признаками объекта изобретения понимаются, например, узел, деталь в устройстве, операция, параметры режима в способе и т. п. Существенными признаками называются такие, каждый из которых необходим, а все вместе взятые достаточны для того, чтобы отличить данный объект изобретения от всех других и характеризовать его в том качестве, которое проявляется в положительном эффекте.

Формула изобретения составляется либо в виде одного пункта (однозвенная формула), либо в виде двух или более пунктов (многозвенная формула). Однозвенная формула применяется тогда, когда техническая сущность изобретения охарактеризована совокупностью вещественных признаков, необходимых и достаточных для характеристики изобретения в общем виде, и не имеет развития или уточнения в виде признаков, необходимых в частных случаях выполнения или использования изобретения. В многозвенной формуле первый пункт содержит общие существенные признаки, каждый из которых необходим во всех случаях выполнения или использования изобретения, а второй и последующие пункты включают частные существенные признаки, развивающие и уточняющие совокупность признаков, указанных в первом пункте.

Каждый пункт формулы изобретения должен состоять, как правило, из *ограничительной части*, включающей, признаки, общие для заявляемого объекта изобретения и прототипа (известные признаки); *отличительной части*, включающей признаки, которые отличают заявляемый объект изобретения от прототипа (т. е. новые признаки объекта изобретения); *цели изобретения*, характеризующей положительный эффект.

В случаях, когда объектом изобретения является применение ранее известных устройств по новому назначе-

нию, допускается иная формула изобретения. Формулу изобретения в этих случаях надо излагать следующим образом: «Применение... (указывается название или определение известного устройства, способа или вещества)... в качестве (указывается конкретное новое назначение указанного устройства, способа или вещества)».

Графические материалы (чертежи, схемы, графики, рисунки и др.), прилагаемые к тексту описания изобретения, должны быть четко согласованы с текстом описания и давать отчетливое представление об объекте изобретения. Масштаб чертежей и четкость графического выполнения должны быть таковы, чтобы при фотографическом репродуцировании с линейным уменьшением размеров до $\frac{2}{3}$ можно было различить без затруднения все детали.

Схемы выполняются без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделий (установок) указывается приблизительно.

Рисунки должны носить схематический характер и быть простыми по выполнению. К описанию их следует прилагать лишь в том случае, если его невозможно проиллюстрировать чертежами или схемами.

Заключение о новизне существенных отличий и положительном эффекте технического решения готовится компетентными в соответствующей области специалистами, обсуждается на заседании научно-технического, технического, ученого совета или его секции, кафедры, лаборатории, отдела или другого структурного подразделения организации, а затем утверждается руководителем организации. Полноту и достоверность приводимых в справке сведений удостоверяет руководитель патентного подразделения или отдела по изобретательству и рационализации.

Заключение о новизне содержит название заявляемого изобретения с указанием его авторов и сведения о проведенных патентных исследованиях в виде справки, о возможных областях применения в народном хозяйстве, об ожидаемом технико-экономическом или ином эффекте, о технической готовности заявляемого изобретения к использованию в народном хозяйстве. Сведения о проведенных патентных исследованиях должны отражать изученную заявителем патентную документацию (советские и зарубежные авторские свидетельства и патенты, опубликованные заявки или извлечения из них и т. п.); научно-техническую литературу, имеющую прямое отношение

к заявленному объекту (книги, журналы, опубликованные отчеты, диссертации, проспекты, каталоги и т. п.); выявленные в процессе исследования аналоги заявляемого изобретения с указанием наиболее близкого из них — прототипа. В справке об исследовании заявляемого объекта по патентной и научно-технической литературе, как минимум, отражаются результаты исследований по патентной документации СССР, Великобритании, США, Франции, ФРГ (до 1945 г. — Германии), Швейцарии и Японии.

При исследовании новизны разработок, относящихся к профилирующим направлениям деятельности организации, и изобретений, намеченных к патентованию за границей, поиск осуществляется, как правило, на глубину 50 лет, предшествующих подаче заявки. При исследовании новизны разработок, не относящихся к профилирующим направлениям деятельности организации, патентный поиск осуществляется на глубину не менее 15 лет. Для новых областей науки и техники поиск производится начиная с первых по времени публикаций патентных документов.

Сведения о творческом участии соавторов приводятся в справке, предусмотренной специальной формой. В справке указывается конкретно, какое творческое участие принимал каждый соавтор в создании изобретения (по признакам объекта).

11.3. Устное представление информации

Значительную часть научных сведений ученые и специалисты получают из устных источников — докладов и сообщений на совещаниях, семинарах, симпозиумах, конференциях и беседах при личных встречах и т. д. **Совещание** — это форма коллективных контактов ученых и специалистов одного научного направления (области). Состав участников совещания и длительность выступлений строго регламентируются.

Коллоквиум — форма коллективных встреч, где, как правило, обмениваются мнениями ученые различных направлений. Все присутствующие являются участниками непринужденной дискуссии. На коллоквиумах официальные докладчики не назначаются.

Симпозиум представляет собой полуофициальную беседу с заранее подготовленными докладами, а также

выступлениями экспромтом. Участники симпозиума могут посещать не все доклады, встречаться в кулуарах.

Конференция — самая распространенная форма обмена информацией. Одна часть участников — докладчики — сообщает о новых научных идеях, результатах теоретических и экспериментальных работ, о производственном опыте, отвечает на вопросы. Другая, гораздо бо́льшая часть — слушатели, воспринимающие информацию. Слушатели могут задавать вопросы и участвовать в прениях. На докладчиков и слушателей ложится большая информационная нагрузка, поэтому устанавливается строгий регламент для докладчиков и выступающих в прениях, организуется секционная работа. Иногда на конференциях организуются стендовые доклады, при которых в определенном месте вывешивается иллюстративный материал к докладу и докладчик сразу же отвечает на вопросы, так как задающие вопросы с основным содержанием (идеями) доклада могли ознакомиться предварительно, прочитав сборник аннотаций докладов, включенных в программу конференции. Нередко конференции сопровождаются выставками книг, образцов, различного рода тематическими экспозициями. В научных учреждениях и учебных заведениях конференции зачастую проводятся систематически (годовые, приуроченные к различным датам и т. д.). Конференции обычно принимают решения и рекомендации.

Съезды и конгрессы являются высшей, наиболее представительной формой общения и имеют национальный или международный характер. Здесь вырабатывается стратегия в определенной области науки и техники или в ряде смежных областей.

Наиболее ответственная задача во всех выше перечисленных мероприятиях выпадает на долю докладчиков. Выступление с докладом — ответственное научное поручение. Доклад обеспечивает возможность апробирования результатов научного исследования в мнениях других лиц, проверить сделанные выводы через различные оценки специалистов, преодолеть сомнения и разногласия. Особенно полезны в этом смысле выступления слушателей и научные дискуссии.

Публичные выступления с докладами воспитывают привычку не бояться аудитории, умение быстро концентрировать внимание при ответах на вопросы, вести научную дискуссию. Перед выступлением с докладом следует подготовить краткий план изложения и подробный кон-

спект так, чтобы в начале доклада кратко сообщить основные вопросы, которые будут изложены. Во время доклада можно пользоваться записями, чтобы не упустить важное (это придает чувство уверенности, обеспечивает ясность и даже краткость в изложении материала). Однако записи не должны быть слишком подробными, так как это затрудняет пользование ими в момент доклада. Хорошая форма записей — карточка, в которой легко найти то, что нужно.

Если есть необходимость пользоваться доской, следует обратить внимание на внешний вид выписываемого материала — текста, чертежей, схем и т. д. Они должны быть четкими, разборчивыми. Если рисунки сложны, то лучше пользоваться заранее подготовленными плакатами или в крайнем случае цветным мелом.

В процессе доклада держаться следует свободно, не концентрировать своего внимания на отдельном слушателе, а обращаться ко всей аудитории. При подготовке доклада необходимо предварительно его несколько раз прочесть вслух.

Перед докладом следует подготовить тезисы. Это сжатые, кратко сформулированные основные положения доклада, сообщения и т. д. Они включают изложение основных положений всей научной работы от начала до конца, а не только собственно исследовательской части. Тезисы представляют собой развернутые выводы, с вводной поясняющей и обосновывающей частью, а также заключением. В тезисах в краткой форме (одна-две фразы) 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. Отдельные тезисы должны быть связаны между собой логически как звенья одной цепи. Объем тезисов — 60...125 машинописных строк.

Докладчики в процессе доклада часто используют демонстрационный материал и технику. Графические материалы выполняются на чертежной бумаге, желательно тушью. По формату, условным обозначениям, шрифтам и масштабам они должны соответствовать требованиям ЕСКД. В качестве графических материалов особенно часто используются схемы и диаграммы алгоритмов.

С х е м ы в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ

2.701—84. ЕСКД. Схемы, виды и типы. Общие требования к выполнению) подразделяются на структурные, функциональные, принципиальные и др. Выполняются они без соблюдения масштаба (действительное пространственное расположение составных частей либо не учитывается вообще, либо учитывается приближенно). На схемах допускается помещать различные технические данные, указываемые либо около графических обозначений, либо на свободном поле схемы (по возможности над основной надписью).

Диаграммы алгоритмов используются для наглядного представления аналитического решения задачи, разделения процесса на самостоятельные и легко преобразуемые части и для обеспечения работы с алгоритмами. Операция, которая выполняется на каждом шаге алгоритма, отображается диаграммным символом, внутри которого дается словесная или символическая запись. (ГОСТ 19.003—80. ЕСКД. Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические).

К техническим средствам, используемым при докладе, относятся диапозитив, диафильм, звукозапись, кинофильм, кодоскоп и пр.

Выступление с докладом — это самопроверка, самоконтроль автора через обращение к помощи коллективного разума. При этом очень полезны советы, замечания, сделанные по докладу. Участие в научной дискуссии требует от докладчика и специалиста-слушателя определенного умения, которому необходимо учиться.

Дискуссия — это полезная форма коллективного мышления. Различные точки зрения, высказываемые в дискуссии, способствуют активному мышлению, заставляют тщательно продумывать и обосновывать собственную точку зрения. Более того, между различными мнениями и факторами устанавливается ряд связей, которые без дискуссии могли бы оказаться упущенными.

Участие в дискуссии — лучший метод развития навыка критического суждения и обдумывания, где проверяется качество накопленных человеком знаний. Дискуссия — это хорошая тренировка в публичных выступлениях.

Формы участия в дискуссии могут быть различными. Например, слушать и записывать. Это не просто внимание, а самостоятельное мышление, так как запись требует личной оценки высказываемых мыслей. Записывать в момент дискуссии трудно, ибо высказываемые мысли

не так систематичны, так как у их автора не было достаточно времени для строгого логического построения своего выступления. Записывать следует резюме, выводы, а также меткие слова, выражения, образные сравнения и примеры, которые впоследствии позволяют восстановить в памяти атмосферу дискуссии, помогут вспомнить содержание. Записи удобнее вести на карточках, так как это облегчает обработку материала после дискуссии.

Формой участия в дискуссии является и постановка вопросов с целью уточнить неясные моменты или получить дополнительную информацию. Самая активная форма участия в дискуссии — это высказывание своего мнения, которое должно быть достаточно обоснованным. Этика поведения во время дискуссии может быть кратко определена так: *поиск истины, а не победа над противником, ибо последний может оказаться правым.*

ГЛАВА XII

ВНЕДРЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

12.1. Государственная система внедрения

Конечной формой реализации результатов научно-исследовательской работы является внедрение.

До последнего времени под внедрением понималось директивное введение в действие и эксплуатацию оформленного в соответствии с требованиями, освоенного и принятого рабочего варианта объекта исследования. Директивное введение в действие, по сути, является насильственным проникновением объекта исследования в сопротивляющуюся производственную среду.

Перевод нашей экономики на рельсы научно-технического и социального прогресса, хозрасчет и самофинансирование производственных предприятий формируют социальную потребность в новейших достижениях науки, поскольку они открывают пути к увеличению производительности и намечают новые области для применения человеческого труда. Производственники начинают понимать, что в новых социально-экономических условиях может выжить лишь то предприятие, которое создаст лучшие условия для развития науки и быстрого освоения ее достижений в производственной практике. Поэтому понятие «внедрение научных исследований» постепенно наполняется иным содержанием и приобретает смысл освоения и использования результатов исследований.

Внедрение классифицируется по двум признакам: форма материального воплощения; рабочая функция внедряемого объекта.

По форме материального воплощения внедряемых объектов внедрение делится на группы: здания и сооружения; машины, приборы, оборудование; технологические процессы; способы и средства контроля и испытаний; материалы, потребительская продукция; средства автоматизации и управления процессами и объектами; система организации и управления; алгоритмы и программы; методы и средства обеспечения исследований; стандарты (классификаторы, правила, технические условия, нормы и нормативы).

По рабочей функции внедряемых объектов внедрение делят на такие группы: эксплуатация зданий и сооружений; изготовление продукции; выполнение производственных работ; функционирование систем организации и управления; практическое применение в производственной деятельности типовых нормативно-методических и руководящих технических материалов.

Процесс внедрения состоит из двух этапов: опытно-производственного внедрения и серийного внедрения.

Как бы тщательно ни проводились НИР в научно-исследовательских организациях, все же они не могут всесторонне учесть различные, часто случайные факторы, действующие в условиях производства. Поэтому научная разработка на первом этапе внедрения требует опытной проверки в производственных условиях.

Так, новые конструкции машин, зданий, сооружений должны быть предварительно изготовлены и испытаны на полигонах или заводах-изготовителях. Новые материалы кроме тщательных лабораторных испытаний в производственных условиях применяют для изготовления конструкций на опытных участках. Технологические процессы подлежат опытной проверке на производственных предприятиях. При этом в ряде случаев требуется переоборудование традиционных технологических линий с добавлением нового оборудования. Если в результате выполнения НИР предлагается новая машина, механизм или какое-либо оборудование, то необходимо изготовить опытный образец.

Опытные образцы конструкций, материалов, машин тщательно изучают в производственных условиях (осуществляется натурный эксперимент) при различных многократных воздействиях механических нагрузок и природ-

ных факторов. Продолжительность таких испытаний устанавливаются специальными расчетами.

На основе результатов опытной производственной проверки оценивают технико-экономическую эффективность опытных образцов. Особое внимание уделяют эксплуатационным показателям качества образцов, надежности, долговечности, себестоимости, эксплуатационным затратам, технологичности изготовления и эксплуатации, возможности серийного производства, необходимости переоборудования производственных предприятий.

Результаты испытаний оформляют в виде пояснительной записки, к которой прилагают различные акты с оценкой конструктивных, технологических, эксплуатационных, экономических, эргономических, санитарно-гигиенических, противопожарных, организационных и других особенностей испытываемых образцов. Акты подписывают представители заказчика и подрядчика.

В большинстве случаев при испытании опытных образцов основными критериями являются долговечность и высокое качество. Так, при разработке новых конструкций дорожных одежд автомобильных дорог важнейший критерий — это срок службы, исчисляемый 10...30 годами. В то же время продолжительность испытания опытно-производственных образцов весьма ограничена. В таких случаях необходимо применять методы натурного моделирования условий службы конструкций, ускоряющие время; покрытия дорог испытывают на полигонах круглосуточным движением расчетных по осевой нагрузке и скорости автомобилей; новые материалы проверяют на стойкость многократными статическими и динамическими циклическими загрузками, замораживанием и оттаиванием образцов, действием агрессивных веществ и т. д.

Первый этап внедрения требует больших финансовых затрат, значительной трудоемкости в изготовлении опытных образцов, связан с продолжительными производственными испытаниями, часто требующими доделок и переделок. На этом этапе необходимо участие авторов в исследованиях опытных образцов и разработке рекомендаций по их совершенствованию и т. д. В целях ускорения внедрения результатов НИР организируются межведомственные временные коллективы из разработчиков и работников внедряющих организаций для конструктивной, экспериментальной доработки созданных технических новшеств. Порядок организации таких коллективов

предусмотрен постановлением Совета Министров СССР от 23 января 1984 г. № 87.

Если на первом этапе испытывают образец машины, имеющий народнохозяйственное значение, его совместно с технической документацией передают специальной комиссии на государственные, межведомственные или ведомственные приемочные испытания.

Приемочные испытания внедряемых объектов проводят для определения соответствия объектов техническому заданию, требованиям стандартов и технической документации, оценки технического уровня и определения возможности постановки объекта на производство.

По результатам испытания опытный образец внедряемого объекта должен быть доработан, а техническая документация откорректирована. Порядок проведения испытаний регламентируется ГОСТом.

Приемочные испытания оформляются актами Государственной, межведомственной или ведомственной приемки.

Завершением опытно-конструкторских работ считается опытно-промышленное внедрение предприятием новой технологии; изготовление опытного образца прибора или оборудования, передача установленной договором партии новых материалов или документации заводом-изготовителем.

Государственная система внедрения включает три уровня: общесоюзный; отраслевых министерств и ведомств; разработчиков и производственных организаций.

На общесоюзном уровне разрабатываются законодательные акты по использованию результатов НИР и охране прав создателей новой техники, технологии, материалов и т. п. На этом же уровне осуществляются экспертиза и регистрация открытий и изобретений как в нашей стране, так и за рубежом. Последнее осуществляется структурными подразделениями Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий. В большинстве случаев на этом уровне решаются вопросы продажи лицензий и патентов зарубежным предприятиям, хотя в последнее время право продажи лицензий и патентов предоставлено также и разработчикам.

Руководство всей работой по формированию, размещению и контролю за исполнением государственных заказов по развитию науки и техники и ходом внедрения результатов исследования осуществляется Государственным комитетом СССР по науке и технике.

ГКНТ СССР обеспечивает конкурсность разработок в научно-технической сфере, что отвечает требованиям Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 30 сентября 1987 г. № 1102 «О переводе научных организаций на полный хозяйственный расчет и самофинансирование».

На общесоюзном уровне внедрение важнейших достижений науки осуществляется путем включения их в соответствующие разделы пятилетних государственных планов развития народного хозяйства СССР. При разработке этих планов предусматриваются разделы, в которых отражаются мероприятия по внедрению вычислительной техники в народное хозяйство, внедрение новых методов планирования и управления производством.

Эти разделы плана утверждаются Госпланом СССР и Государственным комитетом Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы.

Отраслевые министерства и ведомства выполняют функции планирующих и контролирующих органов. В структуре министерств и ведомств имеются технические или научно-технические управления, на которые возложена ответственность за актуальность финансируемых НИР, сроки и масштабы внедрения их результатов. Эти управления организуют и планируют работу отраслевых НИИ, отраслевых лабораторий, оргтехпредприятий и отделов.

Уровень министерств и ведомств позволяет использовать наиболее действенные формы организации внедрения результатов НИР. Так, в последние годы получило распространение создание хозрасчетных научно-производственных объединений и учебно-научно-производственных комплексов. В основу деятельности хозрасчетных объединений положен программно-целевой метод организации и планирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), которые строятся по схеме: проблема — цель — программа — ресурсы — конечный результат. Данные объединения создаются на основе академических институтов, вузов и учреждений (НИИ) отраслевых министерств, а в качестве соисполнителей привлекаются промышленные предприятия. Аппарат управления объединениями соединяет вопросы планирования разработок, их ресурсного обеспечения и внедрения конечных результатов. Отраслевые министерства в рамках этих объединений финансируют не научные учреждения, а целевые программы с конкрет-

ными конечными результатами. По каждой из целевых программ в структуре хозрасчетного объединения выделяется головная организация, которая подбирает себе соисполнителей.

Создание хозрасчетных объединений на уровне министерств позволяет избежать дублирования работ, мелкотемья, распыления сил и средств, сокращает время освоения и использования результатов НИР.

Учебно-научно-производственные комплексы включают техникумы, вузы и производственные предприятия. Последние являются опытно-экспериментальной базой для разработчиков. В рамках этих комплексов формируются филиалы кафедр на производстве и инженерные центры, основными задачами которых являются: тиражирование законченных НИР и пропаганда результатов исследований. Аппарат инженерных центров готовит и рассылает информацию о научно-технических достижениях вуза; распространяет аннотированные тематические подборки и специальные издания; обеспечивает участие разработчиков в выставках; проводит совещания по разрабатываемым проблемам с участием организаций, заинтересованных во внедрении результатов НИР; готовит техническую документацию по внедряемому объекту; участвует в конструктивной и технологической доработке объекта.

Наличие собственной конструкторско-технологической и опытно-экспериментальной базы в таких объединениях и комплексах значительно ускоряет освоение результатов НИР.

Эффективный механизм внедрения законченных НИР создается и на уровне «разработчик — производственное предприятие». Организационной формой такого механизма являются отделы или группы внедрения у разработчиков и отделы новой техники у производственников. Эти подразделения занимаются конструкторской и технологической доработкой, организацией процесса внедрения, расчетами экономической и социальной эффективности внедряемых объектов. Данные подразделения занимаются внедрением результатов НИР, выполняемых по заданию предприятий, трестов, управлений и других подразделений. Обычно это краткосрочные работы по решению актуальных для данной организации научно-производственных вопросов (совершенствование конструкций с учетом максимального использования местных материалов и средств механизации, разработка новой технологии

и т. д.). В таких случаях законченные НИР внедряют хозяйственным способом, т. е. самим предприятием. Научно-исследовательская организация представляет заказчику конкретную, пригодную для внедрения техническую документацию (инструкции, указания, рабочие чертежи и т. д.), которую рассматривают на технических советах предприятия и после утверждения ее главным инженером направляют для внедрения на производство.

Объемы таких внедрений определяет заказчик. Они могут быть незначительными в первый год, если требуется их производственная проверка, или большими, если научное предложение разработано с максимальным учетом местных условий, тщательными лабораторными и полевыми испытаниями, моделированием во времени условий эксплуатации.

На уровне «разработчик — производственное предприятие» большую помощь оказывают отделы и группы содействия внедрения результатов НИР при Советах народных депутатов.

Внедрение результатов НИР осуществляется на основе годовых и пятилетних планов создания и внедрения новой техники и прогрессивной технологии предприятий и организаций-заказчиков. Предложения для включения в эти планы, подготовленные разработчиками, рассматриваются на научно-технических советах, а в случае особой ценности предложений — на коллегиях отраслевых министерств, и направляют на производство для обязательного применения. После опытно-производственного испытания новые материалы конструкции, технологию внедряют в серийное производство как элемент новой техники.

Для ускорения практического использования результатов НИР разработчики заключают с организациями и предприятиями хозяйственные договора на внедрение или выполнение научно-производственных услуг, договоры на передачу научно-технических достижений и оказание помощи в использовании заимствованного опыта. Согласно этим договорам разработчики обеспечивают авторский надзор, участие в конструкторской и технологической доработке.

Внедрение законченного объекта оформляется актом, который сопровождается копией документов, подтверждающих экономический и социальный эффект по формам Госкомстата СССР. Внедрение результатов НИР закрепляется приказом по предприятию заказчика. Если внед-

рение результатов НИР распространяется на отрасль производства, то его закрепление осуществляется приказом по соответствующему министерству или ведомству. Экономический эффект от внедрения результатов НИР отражается в статистической отчетности предприятия.

Высшие учебные заведения обеспечивают внедрение результатов НИР и в учебном процессе. Формами внедрения являются: включение результатов НИР в учебники, учебные и учебно-методические пособия, сборники задач, практикумов; формирование на основе результатов НИР новых и модернизация существующих курсов лекций; разработка и изготовление технических средств обучения, образцов машин, приборов, стендов, оборудования для учебных лабораторий и мастерских, демонстрационного материала для проведения лекций и практических занятий; разработка дипломных и курсовых проектов по тематике научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

12.2. Эффективность и критерии научной работы

Эффект от внедрения НИР — это результат, который находит отражение в сокращении живого и овеществленного труда на производство продукции в отрасли.

Эффект научных исследований может иметь различную природу: экономический эффект (рост национального дохода, сокращение денежных затрат на производство продукции, снижение затрат на научные исследования и т. п.); социально-экономический эффект (повышение производительности труда, ликвидация тяжести труда, улучшение санитарно-гигиенических, психологических, организационных условий труда, защита природы, повышение работоспособности и сохранение здоровья людей и т. п.); укрепление обороноспособности страны; повышение престижа советской науки и т. д.

Фактическую годовую экономию живого и овеществленного труда, выраженную в рублях, называют *годовым экономическим эффектом*.

Годовой экономический эффект в зависимости от стадии завершения работы может быть предварительным, ожидаемым, фактическим, потенциальным.

Предварительный (или *плановый*) *экономический эффект* рассчитывается на стадии технико-экономического обоснования целесообразности постановки исследований по укрупненным показателям на ожидаемый объект внедрения.

Ожидаемый экономический эффект рассчитывается на стадии завершения научных исследований по результатам НИР и нормативно-справочным показателям на планируемый объем внедрения. Если объем внедрения гарантируется заказчиком, то ожидаемый эффект называют *гарантированным*.

Фактический экономический эффект рассчитывается после внедрения разработки по фактическим показателям отчетного года и действующим нормам предприятия или организации, осуществивших внедрение.

Потенциальный экономический эффект — это сумма, рассчитанная по укрупненным показателям на возможный объем внедрения. Служит в качестве информации и обоснования целесообразности широкого внедрения разработок.

В случае продажи материалов НИР и лицензий зарубежным странам и фирмам может быть получен годовой экономический эффект от реализации материалов НИР за рубеж. Этот эффект выражается в рублях дохода, полученного государством в течение года.

Фундаментальные исследования начинают давать полезный эффект лишь спустя значительный период после начала работ. Их результаты применяют в различных отраслях народного хозяйства, иногда в тех, где их совсем не ожидали. Поэтому нелегко планировать ожидаемые результаты и эффективность таких исследований.

Фундаментальные теоретические исследования трудно оценить количественными показателями эффективности и поэтому часто используют лишь качественные показатели: возможность широкого применения результатов исследований в различных отраслях народного хозяйства страны; новизна явлений, дающая большой толчок для принципиального развития наиболее актуальных исследований, существенный вклад в обороноспособность страны: приоритет отечественной науки и широкое международное признание работ; фундаментальные монографии по теме и цитируемость их учеными различных стран.

Об эффективности любых исследований можно судить лишь после их завершения и внедрения, т. е. тогда, когда они начинают давать отдачу для народного хозяйства. Большое значение приобретает фактор времени. Поэтому продолжительность разработки прикладных тем по возможности должна быть короче. Лучшим является такой вариант, когда продолжительность их разработки не превышает трех лет.

Эффективность исследования коллектива (отдела, кафедры, лаборатории, НИИ, КБ, вуза) и одного работника оценивают по-разному.

Эффективность работы одного научного работника оценивают числом публикаций, новизной разработок, цитируемостью работ, выработкой и др. Количество публикаций (статей, монографий, учебников, учебных пособий и т. д.) не всегда объективно отражают эффективность научного работника. Бывают случаи, когда при меньшем количестве печатных работ отдача значительно больше, чем от большого количества мелких печатных работ. Выработку научного работника оценивают стоимостью НИР, выполненных за год. Новизна НИР научного работника оценивается количеством получаемых им авторских свидетельств и патентов. Цитируемость работ ученого оценивается числом ссылок других авторов на его печатные работы.

Эффективность работы научно-исследовательской группы или организации оценивается: показателем экономической эффективности; показателем производительности труда; количеством внедренных тем; количеством авторских свидетельств и патентов; количеством проданных лицензий или валютной выручкой. Оценка показателя экономической эффективности исследовательской группы осуществляется через отношение фактически полученной экономии от реализации разработок к среднегодовым затратам по НИР, рассчитанным по данным текущего года и трех предшествующих лет.

Показатель производительности труда оценивается через отношение сметной стоимости НИР и ОКР за год (тыс. руб.) к среднесписочному числу работников основного и подсобного персонала.

Повышение эффективности научных исследований в коллективе может быть достигнуто различными способами: улучшением планирования и организации НИР; рационализацией использования оборудования и ассигнований; применением научной организации труда; улучшением психологического климата в научном коллективе; стимулированием научного труда.

Особое место в структуре способов повышения эффективности труда научных работников является стимулирование.

Вся система показателей стимулирования и система распределения вознаграждения (или взысканий) должны быть понятны и справедливы. Нужно использовать раз-

нообразные формы стимулирования, материальное стимулирование должно сопровождаться моральным.

Стимулирование должно быть своевременным и гласным. Важнейшими стимулами для научного работника являются: общественное признание, материальное вознаграждение, время для свободного поиска по личным интересам ученого; обеспечение возможности практической реализации результатов исследований ученого. Положительное стимулирование всегда более действенно, чем отрицательное.

Расчет экономического эффекта НИР и ОКР осуществляется по «Методике определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений», утвержденной постановлением ГКНТ СССР, Госпланом СССР, Академией наук СССР и Государственным комитетом по делам изобретений и открытий от 14 февраля 1977 г.

Методика является обязательной для всех отраслей народного хозяйства и служит основанием для разработки и утверждения министерствами и ведомствами по согласованию с Государственным комитетом Совета Министров СССР по науке и технике и Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий, отраслевых методических указаний и инструкций.

Определение годового экономического эффекта НИР основывается на сопоставлении приведенных затрат по базовому и новому вариантам техники, технологий процесса и т. д. Приведенные затраты определяются по формуле

$$З_{пр} = C + E_n K, \quad (12.1)$$

где $З_{пр}$ — приведенные затраты на единицу продукции (работы), руб.; C — себестоимость единицы продукции (работы), руб.; K — удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб; E_n — нормативный коэффициент капитальных вложений ($E_n = 0,15$).

Расчет годового экономического эффекта производится по формуле

$$\mathcal{E} = (З_{пр1} - З_{пр2}) A_2, \quad (12.2)$$

где \mathcal{E} — годовой экономический эффект, руб.; $З_{пр1}$, $З_{пр2}$ — приведенные затраты на единицу продукции (работы) соответственно до и после внедрения НИР, руб; A_2 — годовой объем производства продукции (работы) после

внедрения результатов НИР в расчетном году, натуральных единиц.

Если в процессе НИР или ОКР требуются дополнительные капиталовложения, то вычисляют фактический срок их окупаемости:

$$t_{\text{ф}} = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1}, \quad (12.3)$$

где $t_{\text{ф}}$ — фактический срок окупаемости, лет; K_1 и K_2 — удельные капиталовложения (на единицу продукции в год) по новому и старому вариантам; C_1 и C_2 — себестоимость единицы продукции по новому и старому вариантам.

Чтобы оценить эффективность затрат, фактический срок окупаемости сравнивается с нормативным. Последний определяется по формуле

$$t_{\text{н}} = \frac{1}{E_{\text{н}}}, \quad (12.4)$$

где $t_{\text{н}}$ — нормативный срок окупаемости, лет.

Если $t_{\text{ф}} \leq t_{\text{н}}$, то капиталовложения в НИР или ОКР эффективны.

При расчете ожидаемого экономического эффекта возможны различные случаи: определение ожидаемого эффекта от внедрения по сравнению с плановым; расчет эффекта в целях сравнения разработок с лучшими отечественными и зарубежными образцами; установление эффекта в целях сравнения с существующими образцами на данном производстве.

После выполнения НИР создается экономический потенциал, который реализуется по мере внедрения результатов исследований в производство. Экономический эффект зависит от объема и длительности внедрения, затрат на улучшение качества продукции и др.

Если экономический эффект достигается в результате изменения затрат на производство продукции при прежнем ее качестве (растет производительность труда вследствие внедрения нового технологического процесса), то эффект на расчетный год вычисляют по формуле

$$\mathcal{E} = [(C_1 - C_2) + E_{\text{н}}(K_1 - K_2)] Q, \quad (12.5)$$

где Q — годовой объем продукции на t -й год.

При расчете экономического эффекта от внедрения результатов НИР необходимо учитывать так называемые предпроизводственные расходы на научные исследования, оборудование, изготовление и испытание новых об-

разцов, опытно-промышленное производство результатов НИР.

Расчеты эффекта, превышающие 2 млн. руб., согласовываются с Государственным комитетом СССР по науке и технике и оформляются в порядке, определенном в письме ГКНТ СССР от 27 декабря 1982 г. № 31-2/135.

Важнейшими показателями социального эффекта от внедрения результатов НИР являются: уменьшение численности промышленно-производственного персонала (условное высвобождение работающих); повышение производительности труда на предприятии.

Условное высвобождение работающих рассчитывается по формуле

$$\Delta\varphi_t = (T_1 - T_t) A_t, \quad (12.6)$$

где $\Delta\varphi_t$ — условное высвобождение работающих в t -м году, чел.; T_1 и T_t — трудоемкость единицы продукции в натуральном выражении от внедрения результатов НИР и в t -м году, чел.; A_t — объем производства в t -м году, в натуральных единицах.

Повышение производительности труда на предприятии определяется по формуле

$$B_t = \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_1 - \Sigma\Delta\varphi_t} - 1 \right] 100, \quad (12.7)$$

где B_t — процент роста производительности труда за счет внедрения результатов НИР в t -м году; φ_1 — среднесписочная численность промышленно-производственного персонала в году, предшествующем внедрению результатов НИР, чел.; $\Sigma\Delta\varphi_1$ — уменьшение численности промышленно-производственного персонала (условное высвобождение работающих) за счет внедрения новой техники в t -м году, чел.

ГЛАВА XIII

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ В НАУЧНОМ КОЛЛЕКТИВЕ

13.1. Основные принципы управления научным коллективом

Вклад ученых-одиночек в общий объем научных исследований непрерывно уменьшается. Так, если еще в начале XX столетия им принадлежало до 80 % научной продукции, то в настоящее время — не превышает 30 %. Таким

образом, роль научного коллектива в выполнении научных исследований существенно возросла в настоящее время и будет увеличиваться в перспективе.

В совместной деятельности научных сотрудников, специалистов, других работников выделяются дополнительные источники повышения эффективности научно-исследовательской работы, не сводимые к простой сумме усилий участников. На подобный факт первым обратил внимание К. Маркс: «Подобно тому как сила нападения эскадрона кавалерии или сила сопротивления полка пехоты существенно отличаются от суммы тех сил нападения и сопротивления, которые способны развить отдельные кавалеристы и пехотинцы, точно так же и механическая сумма сил отдельных рабочих отлична от той общественной силы, которая развивается когда много рук участвует одновременно в выполнении одной и той же нераздельной операции».

Для того чтобы коллектив, предназначенный для выполнения той или иной темы, работал слаженно, чтобы каждый из участников точно знал возложенные на него задачи и конечную цель труда коллектива, необходимо правильно, на научной основе организовать управление этим коллективом. Еще В. И. Ленин определил общие принципы социалистического планового управления¹. На основе ленинской трактовки этих принципов в ныне действующей Конституции СССР выделены общие принципы управления при социализме: демократический централизм (ст. 3); социалистическая государственная законность (ст. 4); партийное руководство (ст. 6); участие в управлении общественных организаций (ст. 7) и трудовых коллективов (ст. 8).

Общие принципы управления дали возможность разработать и принципы управления научным коллективом. Успех в реализации этих принципов в значительной мере определяется подбором, расстановкой и воспитанием исполнителей, стилем руководства, сбалансированностью рабочих мест, моральными качествами руководителя и психологическим климатом в коллективе.

Наиболее приемлемый стиль работы научного руководителя² в свое время был достаточно просто и точно сформулирован академиком А. Ф. Иоффе. В своих воспо-

¹ См.: В. И. Ленин. О научной организации труда. М., 1970.

² См.: Жариков Е. С. Вступающему в должность. (Научно-популярный справочник для начинающего руководителя). М., 1985; Красовский Ю. Д. Если я руководитель. М., 1983.

минаниях академик Н. Н. Семенов пишет: «Абрам Федорович Иоффе считал, что искусство руководства молодыми сотрудниками сводится к нескольким простым требованиям... В общении с учениками будь прост, демократичен и принципиален. Радуйся и поддерживай их, если они правы, сумей убедить их, если они неправы, научными аргументами. Если ты хочешь, чтобы ученик занялся разработкой какой-либо новой твоей идеи или нового направления, сделай это незаметно, максимально стараясь, чтобы он как бы сам пришел к этой идее, приняв ее за свою собственную, пришедшую ему самому в голову под влиянием разговоров с тобой. Никогда не приписывай своей фамилии к статьям учеников, если не принимал как ученый прямого участия в работе. Если интересы дела требуют от тебя, как от руководителя, переключения группы сотрудников на новую тематику, объясни, почему эта новая область интересна, почему она нужна государству. Объясни, почему ты заинтересован в том, чтобы именно данный сотрудник был на новой работе; никогда не заставляй что-либо делать, пользуясь своей силой и положением. Не увлекайся чрезмерно руководством учениками, давай им возможность максимально проявлять свою инициативу, самим справляться с трудностями. Только таким путем ты вырастишь не лаборанта, а настоящего ученого. Давай возможность ученикам идти их собственным путем».

Приведенные требования, по сути, полностью отражают принципы управления, которым должен следовать руководитель научного коллектива.

Эффективное управление научным (да и любым другим) коллективом предполагает полную сбалансированность рабочих мест. Этого особенно трудно достичь в научном коллективе, где технология деятельности исследовательских рабочих мест подчас строго не определена. Рабочие места являются элементами организационно-технологической системы, имеют определенную структуру (рис. 13.1).

Сбалансированность рабочего места означает, что этому месту должны приписываться только те функции, которые обеспечены средствами, необходимыми для их исполнения (не должно быть средств, не связанных с какой-либо функцией). Обязанности и права при этом должны быть взаимно уравновешены, т.е. каждая обязанность должна быть обеспечена определенным правом и каждое право должно осуществляться только при нали-

ции определенной обязанности. Объем ответственности и объем власти должны быть связаны, т.е. ответственность за что-либо должна обеспечиваться соответствующей властью, и наоборот.

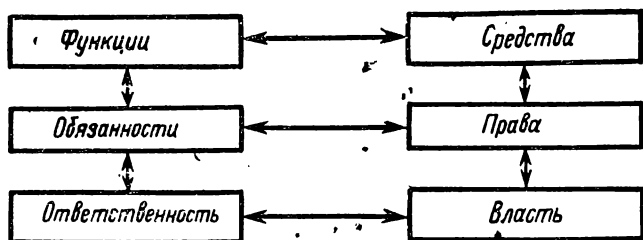


Рис. 13.1. Структура рабочего места

При выборе методов и средств управления научным коллективом серьезное значение имеет его численность. Когда в непосредственном подчинении оказывается более семи или восьми человек, руководитель в процессе управления начинает испытывать определенные трудности.

С ростом численности коллектива эти трудности непрерывно возрастают. Некоторые руководители при этом стараются как можно дольше удерживать управление каждым человеком в своих руках; другие выделяют группу для непосредственного управления; третьи как-то структурируют коллектив.

Первый стиль руководства может привести и часто приводит к хаотическому управлению, когда начальник отдает указания одним подчиненным, а спрашивает с других, не выдерживается плановое распределение обязанностей и т.п. Таким образом, в руководимом им коллективе почти всегда находятся сотрудники, которые, пообещав выполнить указание начальника, потом ничего не делают, но старательно не попадают на глаза начальнику, справедливо рассчитывая, что поручение может забыться.

Второй стиль частично свободен от названных недостатков. Руководитель внимательно следит за деятельностью лишь трех — пяти подчиненных.

Третий стиль — пассивный, так как управление практически полностью отдается в руки подчиненных и иногда приводит к так называемому порочному кругу управ-

ления (рис. 13.2), когда все в равной степени безвластно и безответственны.

Успех в деятельности научного коллектива во многом зависит от того, соблюдаются ли следующие принципы организации работы с людьми.

Принцип информированности о существе проблемы. Любое полезное нововведение может быть воспринято позитивно и даже с энтузиазмом, если для членов кол-

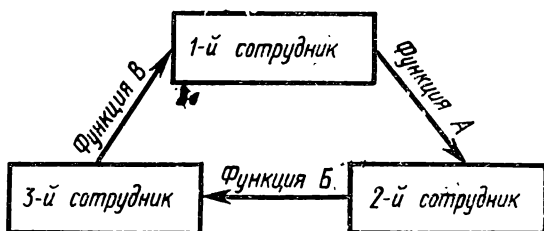


Рис. 13.2. Порочный круг управления

лектива станет ясно, какие производственные или социальные задачи будут решены в результате их работы.

Принцип превентивной оценки работы заключается в соответствующем информировании сотрудников для исключения отождествления ими временных затруднений с отрицательными последствиями самого управленческого мероприятия.

Принцип инициативы снизу. Информация о предстоящей задаче должна войти в сознание непосредственных исполнителей как дело полезное и нужное, как самим работникам, так и обществу. Тогда работа выполняется значительно быстрее.

Принцип тотальности. Работники всех звеньев, на которых прямо или косвенно окажет влияние новое задание, должны быть не только заранее проинформированы о возможных проблемах, но и привлечены к участию в их разрешении.

Принцип перманентного информирования. Руководитель коллектива должен систематически информировать весь коллектив как о достигнутых успехах в решении задачи, так и о трудностях и срывах. При этом следует устанавливать самые разнообразные формы обратной связи.

Принцип непрерывности деятельности. Завершение одной разработки должно совпадать с началом разработ-

ки другого задания, которое может усилить возможности первой разработки либо придет к ней на смену.

Принцип индивидуальной компенсации. Учет особенностей ценностных ориентаций людей, их потребностей и интересов.

Принцип учета типологических особенностей восприятия инноваций различными людьми. Результаты исследований психологов показывают, что всех людей по их отношению к новым заданиям и нововведениям можно подразделить на новаторов, энтузиастов, рационалистов, нейтралов, скептиков, консерваторов, ретроградов. Учитывая эти индивидуальные особенности характеров, можно целенаправленно влиять на работников, формируя их поведение, способствующее эффективной деятельности.

Советская высшая школа представляет студентам широкие возможности для занятий научно-техническим творчеством. Наиболее одаренным студентам дано право возглавлять студенческий творческий коллектив (например, подразделение студенческого конструкторского бюро). Уже на студенческой скамье молодому человеку приходится решать многие научно-организационные задачи, вести деловую переписку (или, по крайней мере, готовить проекты документов), проводить деловые совещания.

13.2. Деловая переписка

Важной задачей, связанной с совершенствованием управления, является качественная работа с документами, ускорение их составления и оформления. Ее решению в значительной степени способствует создание стандартов унифицированной системы организационно-распорядительной документации (ГОСТ 6.38—72, ГОСТ 6.39—72), представляющих собой свод единых научно обоснованных правил подготовки и оформления документов¹.

Документы подразделяются на простые и сложные. Первые посвящены одному вопросу, вторые — нескольким. Текст любого документа, согласно требований ЕГСД, должен состоять не менее чем из двух основных частей. В первой излагают обоснование или основание составления документа, во второй — предложения, решения, распоряжения, выводы и просьбы. В редких случаях

¹ См.: Головач А. С. Оформление документов. Киев, Донецк, 1983.

текст документа содержит одну заключительную часть (например, в приказах — распорядительную без преамбулы, а в письмах и заявлениях — просьбу без мотивировки). Однако в большинстве случаев документ должен состоять из введения, доказательства и заключения. Нередко заключению предшествует вывод.

Во введении излагаются причины и непосредственный повод для составления служебного документа. В этой части нередко делают ссылки на другие, ранее полученные документы, послужившие основанием для создания нового. В доказательстве излагается существо вопроса, приводятся доводы, факты, цифровые данные для его обоснования. Доказательство должно убеждать о необходимости удовлетворения просьбы или требования. Сложное доказательство целесообразно заканчивать выводом. Заключение — главная логическая составная часть, в которой формулируется основная цель документа (просьба, предложение, согласие, отказ). Заключение в служебном документе обязательно.

В зависимости от содержания документов применяется прямой или обратный порядок расположения логических элементов. В первом случае после введения следуют доказательство и заключение. При обратном порядке — вначале излагается заключение, а затем — доказательство. В последнем случае введение отсутствует. В обратном порядке составляются несложные документы и его применяют реже.

Каждому виду документов присуща своя речевая конструкция. Для распорядительных актов (приказов, распоряжений, указаний, решений постановлений) характерна повелительная форма. При составлении служебных писем, в которых излагаются просьбы (требования), следует использовать форму логического доказательства целесообразности принятия положительного решения и т. д.

При составлении текста документа должны обеспечиваться достоверность и объективность содержания при нейтральности тона, полнота информации и максимальная краткость, достигаемые за счет выбрасывания слов, не несущих смысловой нагрузки. Необходимо избегать применения при составлении документов канцелярско-бюрократических и архаических слов.

Так, например, вместо «благovolите сообщить» надо использовать «просим сообщить», «сообщите»; вместо «досконально» — «точно»; вместо «надлежит» — «следует».

ет»; вместо «на обороте сего» — «на обороте»; вместо «на обозревание» — «на просмотр»; вместо «прошение» — «заявление» и т. д.

В служебных документах не следует прибегать к диалектизмам, т. е. к местным словам и выражениям, которые могут быть понятны только ограниченному числу людей. Иностранные слова должны употребляться лишь в меру необходимости, если они не могут быть заменены словами языка, на котором составляется документ.

13.3. Организация деловых совещаний

Одной из наиболее распространенных форм проявления ленинского принципа демократического централизма в действии являются деловые совещания¹, уровень организации которых определяет меру участия трудящихся в выработке и сознательном исполнении управленческих решений.

Помимо своего прямого назначения каждое рационально организованное деловое совещание выполняет важную учебно-воспитательную функцию. На деловом совещании сотрудники обучаются умению мыслить масштабно, по-государственному, комплексно подходить к обсуждаемой проблеме, учитывать не только ближайшие, но и отдаленные последствия принимаемых решений. Здесь идет обучение манере речи; грамотности и четкости изложения своих мыслей; умению аргументировать и отстаивать свои позиции. На совещании развиваются деловые качества участников; возрастает их компетентность в процессе взаимного обмена идеями; накапливаются навыки творческого решения задач и умение управлять. Деловое совещание представляет и руководителю широкие возможности проявления собственных качеств: организованности, ответственности, силы убеждения, умения работать с кадрами и др.

Малоэффективные совещания (в результате неудовлетворительной их подготовки или неумелого проведения) приводят к отрицательным социально-психологическим последствиям (снижается активность работников, бесплодно тратится время).

Условно все деловые совещания можно систематизировать по специфике рассматриваемых вопросов (адми-

¹ См.: Волгин Б. Н. Организация и проведение деловых совещаний. Серия «Наука и управление». М., 1977. № 9.

нистративные, технические, кадровые, финансовые, технологические, оперативные); по частоте, периодичности; по составу и количеству участников; по кругу и количеству вопросов, выносимых на совещание; по структуре и организации; по методам проведения и др. Однако наиболее удобно классифицировать деловые совещания по задачам. Так, на проблемном совещании осуществляется поиск оптимального управленческого решения вынесенной на обсуждение хозяйственной проблемы.

Такие совещания обычно проводятся по схеме: доклад — вопросы к докладчику — прения — выработка решения. Если участники совещания заблаговременно получили нужные материалы (тезисы доклада, справки, проект решения) и имели возможность изучить их, можно проводить совещание без доклада, либо предоставив докладчику 3...5 мин на резюме, либо сразу начать совещание с вопросов.

Инструктивное совещание преследует цель передачи распоряжений и необходимых сведений сверху вниз по схеме управления для их быстрого выполнения. Целесообразно на таких совещаниях не ограничиваться простым пересказом решений, директив, рекомендаций, а конкретизировать их для каждого исполнителя (подразделения, организации и др.); разъяснить возникающие вопросы; определить сроки выполнения поручений отдельными исполнителями с учетом общего срока, заданного в директивах.

На оперативном совещании руководство получает информацию о текущем состоянии дел снизу вверх по схеме управления. В ходе оперативного совещания (без докладов и длительных выступлений) происходит обмен мнениями с возможными репликами с мест, выявляются участки работы, на которые должны быть направлены главные усилия, в чем и проявляется коллективное творчество.

Подготовка совещаний представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий. Так, например, дни и часы для совещаний лучше установить постоянные. Работник любого ранга должен быть уверен, что в рабочей неделе есть дни, когда его не оторвут от четко спланированных дел, не вызовут на совещание. *Время проведения совещаний* лучше устанавливать в конце рабочего дня, так как иначе возрастают скрытые потери времени, связанные с совещанием. С утра целесообразно проводить лишь оперативки.

Важное значение имеет *подбор участников* совещания, так как каждый участник дополнительно затрачивает время, которое относится к скрытым потерям. Конечно, нерационально устанавливать количество участников по наличию мест в зале заседания.

В проблемном совещании должен участвовать узкий круг компетентных лиц, отсутствие любого из которых снижает качество обсуждения и принимаемых решений; участниками инструктивного и оперативных совещаний являются исполнители и (или) их непосредственные руководители. Подбирать участников совещания должен руководитель организации (подразделения). Он может прибыть на совещание сам и, если это не обязательно, направить своего заместителя или того сотрудника, который ведет данный участок работы. Однако во всех случаях отвечает за выполнение принятых на совещании решений руководитель.

Эффективность делового совещания в значительной мере зависит от повестки (программы) совещания. *Повестка* — это перечень вопросов, подлежащих обсуждению на совещании. Практика проведения деловых совещаний свидетельствует о том, что количество совещаний целесообразно уменьшать даже путем расширения повестки на каждом из них. Обычно на совещание выносятся два-три главных вопроса и несколько дополнительных (мелких), которые можно решить достаточно просто и быстро.

При организации совещания целесообразно сразу же определить ожидаемое время его окончания. Это сокращает длительность совещания примерно на 10 %.

Подготовку доклада (а иногда и выступлений) следует поручать специалисту, хорошо знакомому с проблемой.

Подготовка прений (обсуждения доклада) сводится к заблаговременному ознакомлению участников совещания с повесткой дня и всеми материалами, которые могут заинтересовать участников и вызвать стремления высказать свою точку зрения по ним.

Руководство дискуссией на деловом совещании требует соблюдения ряда правил. Нельзя, например, допускать прямых выпадов выступающих против своих оппонентов, так как в такой обстановке люди обычно воздерживаются от высказываний своего мнения. Руководителю следует проявлять особую тактичность, когда он высказывает свое несогласие с чьей-то идеей.

При этом целесообразно вначале остановиться на тех вопросах, мнения по которым совпадают. И лишь затем изложить контраргументы, которые должны быть конкретными. При этом нецелесообразно давать оценки типа «несерьезно», «сомнительно», «с этим трудно согласиться».

В. И. Ленин обладал большим даром руководить дискуссией. Соратник Владимира Ильича А. А. Андреев вспоминает: «Несмотря на строгость и порядок, которые поддерживались на заседаниях, должен сказать, что на этих заседаниях не чувствовалось никакой натянутости, была вполне свободная товарищеская обстановка. Ленин был требователен, но никогда в его отношениях к людям не было ничего раздражительного и оскорбительного. Всякий говорил то, что думал, не боясь быть грубо одернутым. С Лениным можно было совершенно свободно спорить по любому вопросу, а такие споры имели место. Он никогда не считал свое мнение неоспоримым и всегда внимательно выслушивал доводы других»¹.

Конечной целью делового совещания является принятие решения. Решение готовит специальная комиссия или непосредственно председатель (руководитель) собрания, который, подводя итоги обсуждения, формулирует решение. Если рассматривавшийся вопрос остался до некоторой степени неясным, можно отложить принятие решения до получения необходимой дополнительной информации. Тогда оно принимается руководителем индивидуально или на очередном совещании.

Руководителю следует твердо ориентировать коллектив на принятие четких, прямых, однозначных, не допускающих кривотолков решений, не следует допускать такие неконкретные формулировки как улучшить работу, обратить внимание, повысить уровень и т. п. Необходимо обязательно устанавливать конкретные сроки, а исполнителям предоставлять необходимые права и возможности. Иначе даже конкретнейшие решения останутся неисполненными.

Практика проведения деловых совещаний показывает, что рациональная длительность оперативного совещания не превышает 20...30 мин, проблемных совещаний с насыщенной повесткой дня — не более 1,5...2 ч, причем для рассмотрения одного, достаточно сложного вопроса, необходимо отводить около 40...45 мин.

¹ Андреев А. А. Воспоминания о Владимире Ильиче Ленине. В 5 т. М., 1969. Т. 4. С. 26.

При четкой организации работы совещания этого времени достаточно. Например, на заседаниях Совнаркома, проводимых с участием В. И. Ленина, докладчику давали 5...10 мин, выступающим — 3 мин. Несмотря на длинный перечень вопросов в повестке дня, заседания проходили исключительно плодотворно.

13.4. Формирование и методы сплочения коллектива

Чаще всего руководитель приходит в уже сформированный коллектив и должен по мере необходимости решать вопросы естественной текучести кадров, что является одним из аспектов управления коллективом. О каждом работающем сотруднике или вновь привлекаемом для работы в данном коллективе, чтобы успешно сотрудничать с человеком, руководитель должен иметь определенное представление об идейно-политических качествах личности, его социальной активности; оценить профессиональную подготовку (способность выполнять определенный тип работы); социально-психологические качества (умение взаимодействовать с другими людьми в процессе совместной работы); деловые качества (способность без суетливости добиваться достижения определенных практических результатов за короткое время); интеллектуально-психологические возможности работника (интеллектуальный уровень, силу воли, творческий потенциал, инициативность и др.).

Словом, надо знать все, что может влиять на процесс работы человека и его результаты. Кроме этого, надо уметь оперировать этим знанием так, чтобы получать надежный прогноз делового (а иногда и бытового) поведения работника. Дифференцированный подход в работе с людьми опирается на такую схему управленческого решения задач подбора и расстановки кадров: «хочу» — «могу» — «нужно». Все три компонента взаимосвязаны между собой. «Нужно» определяет потребность системы в кадрах определенной квалификации претендента на рабочее место. «Хочу» характеризует систему потребностей и интересов каждого отдельного работника (не всегда компоненты «нужно» и «хочу» полностью совпадают). «Могу» характеризует личные возможности человека (профессиональные, общественные). Следует иметь в виду, что возможности (способности) при соответствующих условиях могут развиваться, корректироваться.

Разработан ряд методов изучения деловых и личност-

ных качеств работников¹. Например, один из таких методов, называемый «Типология-7», предназначен для выявления у человека врожденных или приобретенных «управленческих» качеств: креативности (способности к прогрессивным преобразованиям), исполнительности, созерцательности, консервативности, авантюристичности, деловитости, надежности.

При формировании и сплоченности коллектива руководителю необходимы знание и выполнение организационных и психологических принципов и правил. Например, полезно учитывать правило неадекватности отображения человека человеком, чтобы не попасть в зависимость от ранее полученных сложившихся оценочных установок. На основе эффекта ложного согласия («Так говорят все») может сложиться неверное представление о сотруднике. Наносит вред для деятельности коллектива эффект снисхождения, если проявляется тенденция излишне положительной оценки качества личности, события и поступка. Типичная логическая ошибка может быть построена на неверном предположении тесной связи определенных свойств личности с признаками поведения. Например, молчаливость не всегда является признаком ума и т. п. Иногда неверная оценка личности формируется из-за так называемых ошибок контраста. Например, люди могут казаться более раскованными и легкими в общении, если их сопоставлять с людьми застенчивыми. Нередко встречаются также ошибки национальных, профессиональных и других стереотипов.

Учет перечисленных выше оценок сотрудников, составляющих научный или другой тип коллектива, может способствовать повышению его работоспособности.

Здоровый психологический климат в коллективе — основа сплоченности, а следовательно, и эффективности работы коллектива. Этому способствует ориентация стимулов к труду одновременно и на личные потребности. Это не значит, что руководителю надо заботиться прежде всего о материальных стимулах. Важно удовлетворить и основные нравственные потребности лично-

¹ В определении способностей не всегда помогают и экзаменационные оценки, которые иногда случайны и оценивают только знания. Известно, что Чехов никогда не получал за школьные сочинения больше «тройки». Щедрин, написав сочинение за ночь, получил «двойку», да еще с припиской: «Не знаете русского языка». А Шаляпина не приняли в консерваторию.

сти¹, которые возникают в ее профессиональной деятельности и профессиональном общении в процессе работы: осознание личной сопричастности к делам и планам коллектива; стремление творчески выразить себя в труде; гордость своим знанием, мастерством; уважение товарищей по работе; признание социальной значимости результатов работы партийным, профсоюзным, комсомольским и административным руководством организации, т. е. почет по заслугам. Мобилизации и сплочению коллектива способствуют политическая и экономическая учеба, активное участие отдельных сотрудников и всего коллектива в индивидуальном и коллективном социалистическом соревновании, различных смотрах, конкурсах.

Сплачивает сотрудников и общественная работа, которая развивает коммуникативные способности, помогает полностью раскрыть сильные стороны личности — интеллект, характер, нравственные качества. Эффективный метод сплочения коллектива — широкое привлечение сотрудников к техническому творчеству, изобретательству и, что следует выделить особо, к управлению делами производства. И наконец, очень сближают людей совместные занятия спортом, отдых, культурные развлечения.

13.5. Психологические аспекты взаимоотношения руководителя и подчиненного

Руководителю любого ранга необходимы политическая зрелость (владение марксистско-ленинской теорией, высокая социальная активность, способность предвидеть политические последствия принимаемых решений); государственный подход (глубокое знание важнейших экономических и социальных задач в развитии народного хозяйства, четкое понимание места и роли своей организации или подразделения в решении этих задач); социалистическая деловитость. В. И. Ленин в «Очередных задачах Советской власти» специально подчеркнул, что главное в социалистической деловитости есть умение «без шума (и вопреки суматохе и шуму) налаживать крепкую и дружную совместную работу большого количества людей в рамках советской организации»². Важнейшим по-

¹ См.: Пекелис В. Д. Твои возможности, человек. М., 1984.

² Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 36. С. 193.

казателем уровня деловитости является умение ценить и экономить время. Руководитель должен также обладать социалистической предприимчивостью (находчивость, изобретательность, инициативность, энергичность, практичность). Развитию инициативы и предприимчивости способствуют постоянное изучение и обобщение передовых достижений науки и техники в той области знаний, в которой работает данный коллектив, передового опыта хозяйствования, а также периодическая переподготовка руководителей на базе современных достижений науки, всестороннее стимулирование и поддержка инициативных начинаний и новаторства, их юридическое обеспечение.

Каждый руководитель должен обладать соответствующим уровнем компетентности, определяемым его личными возможностями, квалификацией (знанием, опытом). Именно компетентность позволяет ему принимать участие в разработке определенного круга решений или решать самому. В процессе управления руководитель всегда должен придерживаться определенной служебной этики, т. е. норм и правил поведения, сила которых основывается на общественном мнении и традициях; должен уметь выделять существенные общие и особенные черты в людях и в ситуациях, понимать логику развития ситуации, переносить положительный опыт из одной ситуации в другую. Важно также уметь сопереживать с другими людьми, уметь в условиях ограниченного времени свертывать до минимума процесс общения с подчиненными, воспитывать в себе память на людей и типичные социальные ситуации; для экономии энергетических затрат на руководство уметь избирательно реагировать на поступки людей, проявлять настойчивость в реализации своих стратегических целей и владеть всеми этими этически оправданными методами воздействия на людей. Следует при этом иметь в виду, что отдельные сотрудники иногда применяют различные приемы «самозащиты» в целях приобретения каких-то желаемых привилегий (держится подальше от руководства, чтобы иметь возможность сказать, что был заброшен и им не руководили, не помогали; заявляет, что задача для него слишком сложна: «Я не профессор» и т. п.).

Непростой оказывается целесообразная реакция руководителя, например, на опоздание подчиненного на работу. Для того чтобы принять правильное решение, которое будет понято должным образом как нарушителем

дисциплины, так и коллективом, руководителю необходимо учесть следующие обстоятельства: есть ли у опоздавшего оправдательный документ; на сколько времени он опоздал; как часто это с ним случается; как опоздание отразилось на результатах работы; как опоздание повлияло на других людей; какова общая — деловая и моральная — обстановка в коллективе; что за человек опоздавший — хороший или плохой работник, молодой или пожилой и другие факторы. Таким образом, принятие решения даже по такому, казалось бы, простому вопросу требует от руководителя серьезной продуманности и учета многих обстоятельств.

Оценивая сотрудника положительно, руководитель должен учесть ряд факторов, от соотношения которых зависит правильность его оценочного решения: характер выполняемой работы (объем, сроки, качество, важность задания); опыт выполнения подобной работы прежде; реакция коллектива; притязания сотрудника (похвала в меру, если они очень большие). Взвешивая эти и другие факторы, можно точнее сориентироваться в оценке сотрудника и в форме ее оглашения (публично или наедине и т. п.).

Особое чувство меры, большой психологический такт требуются от руководителя при негативных оценках деятельности. Только с учетом факторов, характеризующих последствия допущенной ошибки, переживания работником своей вины, руководитель может правильно оценить работника и в связи с этим усилить или ослабить критику, сразу ее высказать или спустя некоторое время; в какой обстановке (публично или наедине); в какой форме (устный или письменный выговор); от чьего имени (сам или совместно с общественными организациями). Но всегда принимаемое решение не должно зависеть от самочувствия и настроения руководителя. С провинившимся сотрудником необходимо побеседовать. Подобный разговор целесообразнее всего вести в конце рабочего дня; в необходимых случаях можно и перед работой, но ни в коем случае не перед ответственной, а тем более опасной работой.

В некоторых организациях иногда публикуются памятки для руководителей с советами по типу следующих: хороший коллектив — чаще всего продукт повседневных, длительных усилий руководителя; воспитать хорошего подчиненного гораздо более благородная, хотя и трудная задача, чем постоянно думать за него и сделать его

безукоризненным, но бездумным исполнителем; во избежание недоразумений отдавайте приказы и распоряжения в письменной форме; не критикуйте подчиненного на людях, особенно когда вы взволнованы и раздражены; умеете слушать подчиненных; говорите кратко, предварительно обдумав все, что хотите сказать; честно признавайте свои ошибки, в этом залог эффективной совместной работы; контролируйте работу подчиненных своевременно, оперативно, постоянно; при этом основной акцент—на важные этапы работы; не выполняйте за подчиненных их работу; ориентируйтесь на положительную мотивацию, так как это эффективнее ориентации на отрицательную; передавайте любое задание на тот уровень организации (компетентности), на котором оно может быть успешно выполнено; если можете, будьте мудрее других, но не показывайте этого.

К этому следует добавить, что руководителю в психологии общения с подчиненными нужно учитывать особенности психологии мужчин и женщин, возраст, темперамент, образовательный уровень сотрудников, иметь знания о конфликтах в коллективе и способах их разрешения.

13.6. Управление конфликтами в коллективе

Конфликт¹ является одним из средств управления и неверно поступает руководитель, когда стремится либо подавлять все без разбора конфликты, возникающие в подразделении, либо не вмешиваться в них. Обе эти позиции глубоко ошибочны.

Полезная функция конфликтов вытекает из известного положения о том, что источником всякого развития является противоречие, столкновение противоположных тенденций или сил. Конечно, далеко не всякий конфликт способствует развитию коллектива, поэтому руководитель должен стремиться воздействовать на конфликт в нужном направлении.

Конфликты можно подразделить на эмоциональные (источник которых кроется либо в личностных качествах оппонентов, либо в их психологической несовместимости) и деловые (происходящие, например, из-за распределения ответственности за выполнение должностных функций, прав и т. д.).

¹ См.: Бородкин Ф. М., Коряк Н. М. Внимание: конфликт! Новосибирск, 1983.

Известно несколько способов поведения человека в конфликте: рациональный (целенаправленный), предполагающий логический анализ позиций каждого из участников конфликта, определение цели и средств конфликтного взаимодействия, построение стратегии поведения; эмоциональный, направляемый сиюминутными требованиями ситуации и неосознанными побуждениями.

В конфликтные ситуации чаще всего попадают *неуправляемые личности*, характеризующиеся отсутствием самоконтроля, неумением планирования своего поведения и пренебрежением последствиями поступков, и *сверхточные личности*, которые отличаются особой скрупулезностью и добросовестностью в работе и поведении; их завышенные требования предъявляются не только к себе, но и к окружающим, что иногда приводит к придирчивости.

На стиль научной и производственной деятельности влияет тип нервной системы человека.

Лица с сильной нервной системой способны дольше и с большей интенсивностью трудиться в течение суток. Однако вследствие этого они порой не щадят своего здоровья, расшатывают свою нервную систему и портят отношения с другими сотрудниками на работе.

Лицам со слабой нервной системой особенно необходимо планирование режимов труда и отдыха.

Заметны различия и между работниками разного возраста.

Молодые сотрудники нередко оказываются участниками конфликтов из-за неумения соблюдать требования производства, в частности трудовой дисциплины, неумения подчинять свои интересы интересам дела и коллектива. Из-за этого у них происходят конфликты и со старшими товарищами, и с руководителями, предъявляющими к ним законные требования. Чем старше человек, тем требовательнее он относится к условиям своего труда, в частности к санитарно-гигиеническим условиям.

Руководитель должен учитывать, что образовательный уровень сотрудников предъявляет к нему свои дополнительные требования. Чем выше уровень, тем больше сотрудники ищут возможностей для реализации своего потенциала, ищут дело, которое приносило бы им удовлетворение, позволяло творчески проявить себя. И это стремление необходимо использовать. Нередко в организации в результате неформальных контактов складываются

группы людей, тяготеющих друг к другу не только из-за определенной технологии работы. Подобные группы из трех, редко семи-восьми человек в социальной психологии называются неформальными. Такая группа обладает большой силой влияния на своих членов и человек, входящий в группу, подвергается двум видам управляющих воздействий: со стороны своего непосредственного руководителя и со стороны неформальной группы.

Если руководитель сумеет направить воздействие группы на отдельного ее члена по нужному пути, то группа становится союзником руководителя. Если же группа ожидает от своего члена одного поведения, а руководитель — другого, то, как правило, возникает конфликт.

Исследования психологов показали, что хорошее отношение членов группы обычно ценится дороже, чем благодарность в приказе, а боязнь потерять расположение и уважение группы действует на человека сильнее, чем угроза выговора. Если же член такой группы, следуя групповым ожиданиям, идет на конфликт с руководителем, то группа обычно «принимает удар на себя», в результате возникает конфликт между руководителем и группой. Поэтому если руководитель стремится к тому, чтобы его воздействия были эффективными, он должен найти формы управления не отдельными работниками, а неформальными группами, рассматривая каждую из них как самостоятельную единицу и учитывая их специфику при формировании стратегии управления.

Эффективность работы группы во многом зависит от позиции ее неформального лидера. Некоторые руководители иногда чересчур настороженно относятся к деятельности лидера и стремятся потеснить его с занимаемых позиций. Такая тактика обычно кончается неудачей, ибо всякие нападки на лидера лишь укрепляют его позицию в группе и сплачивают группу вокруг него. Гораздо разумнее попытаться привлечь лидера на свою сторону, опереться на его реальный авторитет, сделать его союзником. У п р а в л я т ь — значит, создавать такую обстановку, в которой с необходимостью будет получен запланированный результат. Полный успех может быть достигнут тогда, когда цели организации воспринимаются членами группы как свои, личные.

Трудовой коллектив не просто функционирует, он постоянно развивается и не всегда его развитие напоминает постепенную эволюцию. Новое, как известно, рож-

дается в борьбе со старым, и даже те сознательные изменения, какие вносятся в деятельность коллектива, нередко встречают сопротивление, порождают споры и противоречия, ибо не всегда и не все сразу оказываются подготовленными к тем новым требованиям, с которыми им приходится столкнуться.

Это не должно останавливать руководителя. В конечном счете страшны не сами противоречия между людьми, а негативное следствие конфликтных ситуаций — неразрешенный конфликт, несправедливость и нанесение обиды, ухудшение отношений, а иногда и увольнение работников. Попытка полностью избегать конфликтов может даже наносить вред работе. Следует стремиться правильно разрешить конфликтные ситуации, обращать их на пользу дела и устранять возможные негативные следствия.

13.7. Научная организация и гигиена умственного труда

В физиологии и психологии труд подразделяется на преимущественно физический и преимущественно умственный, требующий активации внимания, процессов мышления и других психических функций; сопровождающийся выраженным нервно-психическим и эмоциональным напряжением. Конечно, такая классификация весьма относительна.

Умственная деятельность¹ проявляется в определенных нейрофизиологических состояниях человека: усиливается кровоснабжение и увеличивается биоэлектрическая активность мозга, повышается энергетический обмен нервных клеток, увеличивается нервно-психическое напряжение, так как информация, которую воспринимает и перерабатывает человек в процессе профессиональной деятельности, несет большую эмоциональную нагрузку.

Нервно-психическая нагрузка вызывает усиление сердечно-сосудистой деятельности и дыхания, повышение расхода энергии.

Многочисленные исследования физиологов и психологов позволили получить обобщенную «фотографию» работоспособности человека в течение рабочего дня (рис.

¹ См. Кукушкин В. Д., Неволин И. Ф., Бушуев В. С. Организация умственного труда/Под ред. В. Н. Бринзы. М., 1980.

13.3.). В соответствии с этим графиком период вработываемости длится от нескольких минут до часа (работоспособность человека в этот период повышается, но продуктивность работы колеблется, так как человек легко отвлекается на посторонние раздражители). Поэтому очень важно заставить себя в этот период работать, проявить волевое усилие, благодаря которому можно преодолеть снижение продуктивности.

Период оптимальной работоспособности характеризуется устойчивым рабочим состоянием. Он наиболее продуктивен. Период полной компенсации отличается возникновением начальных признаков утомления, которые могут компенсироваться волевыми усилиями человека и положительным отношением к работе, утомление в этот период как бы «маскируется», а нервно-психическое напряжение увеличивается.

Продолжительность этих двух периодов уменьшается при повышении интенсивности труда, ухудшении условий работы (шум, плохо проветриваемое помещение, неподготовленное рабочее место и т. п.).

В период неустойчивой компенсации происходят утомление и соответствующее снижение работоспособности, за счет волевого усилия это снижение можно замедлить, но не исключить. В этот период уменьшается чувствительность анализаторов (в первую очередь — зрение); ухудшаются психические функции, память. В этом случае целесообразнее всего устроить в работе перерыв.

Следующий период часто называют «конечным порывом», он выражается в кратковременном повышении работоспособности за счет мобилизации организма перед концом работы. Этот период бывает не у всех и не всегда.

Затем наступает период прогрессивного сни-

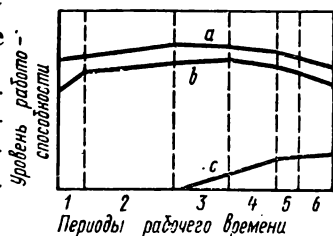


Рис. 13.3. Изменение работоспособности в течение рабочего дня:

1 — вработываемость; 2 — оптимальная работоспособность; 3 — полная компенсация; 4 — неустойчивая компенсация; 5 — конечный порыв; 6 — прогрессивное снижение работоспособности; а — максимальные резервные возможности; б — эффективная работа; с — утомление

жения работоспособности, характеризуемый быстрым нарастанием утомления и соответственно снижением эффективности умственной работы. Наблюдаются замедление реакции, нарушение координации в моторных компонентах деятельности и др. В этой ситуации следует прекратить работу, так как утомление может перейти в переутомление, что весьма опасно для организма научного работника и в первую очередь — для его центральной нервной системы.

Эффективность умственного труда наряду с обеспечением оптимальных условий трудовой деятельности (удобство рабочего места, необходимый уровень освещенности, отсутствие посторонних раздражителей, соответствующая температура и чистота воздуха) во многом связана с организацией полноценного отдыха в течение рабочего дня и после работы.

В течение рабочего дня научному работнику необходимы кратковременные перерывы для отдыха. Рациональная частота и длительность перерывов со временем определяются индивидуально. Следует отметить при этом, что динамика работоспособности человека между кратковременными перерывами в работе как бы в микроцикле повторяет полный рабочий день. Правда, не всегда удается расслабиться и переключиться на отдых и в минуты кратковременных перерывов, так как человек невольно мысленно возвращается к нерешенной задаче (а точнее — не уходит от нее) или начинает обдумывать предстоящую работу. Отдыха может и не получиться. Для уменьшения периода вработываемости, полноценности кратковременного отдыха многие опытные научные работники советуют делать перерывы только после преодоления наиболее сложного этапа работы. Тогда перерыв проходит на положительной эмоциональной волне, человек за короткое время восстанавливает свои силы и без «раскачки» включается в работу.

Здоровье — это количество резервов в организме, максимальная производительность органов при сохранении качественных пределов их функций. Для успешного и качественного выполнения научного задания в установленные сроки необходимо правильно использовать свои физиологические резервы. Их разделяют как бы на три эшелона. Первый эшелон в виде усиления деятельности органов включается сразу же при переходе от состояния относительного покоя к привычной повседневной деятельности. Механизмом его включения явля-

ется система условных и безусловных рефлексов с обычной активизацией желез внутренней секреции. Второй эшелон резервов вводится в строй, когда организм попадает в так называемую экстремальную ситуацию (экзамены и предельные нагрузки до произвольного отказа). Дополнительным механизмом включения этого эшелона резервов являются эмоции. Наконец, третий эшелон резервов используется организмом только в борьбе за жизнь. Поэтому лишь первые два эшелона физиологических резервов входят в понятие «здоровье».

Эффективность умственного труда существенным образом зависит от физического состояния человека, а работника умственного труда постоянно подстерегает опасность гиподинамии — мышечной бездеятельности. Рецептов для борьбы с гиподинамией много и они, как правило, индивидуальны. Но одно, пожалуй, универсальное средство для всех — физические упражнения при правильной дозировке нагрузки.

Непредсказуемость открытий в науке, отсутствие готовых путей для достижения ее, не сформулированных еще целей, нередко связаны с подчас мучительным изнуряющим поиском истины, неудачами в работе ученого. Серьезными нервными перегрузками характерна и работа руководителя — организатора науки. Поэтому довольно распространенным среди этой категории работников заболеванием является невроз — болезнь, которая редко излечивается медикаментозными средствами.

Снижению негативного эмоционального напряжения эффективно способствует психическая гигиена, важнейшая функция которой — предупредительная. Практика показывает, что человек может избежать невроза, если сформирует для себя эффективную психологическую защиту от стрессов и будет неукоснительно ее соблюдать. Это *смена ориентаций* в случае неудачи, постигшей человека при достижении какой-либо поставленной цели. В таких ситуациях человек должен переключаться с одной цели на другую. Следует также *уметь обесценить то, чего не смог достичь*, так как малые потери переносить легче, чем значительные. Облегчает последствия также *способность заранее (в уме) осмысливать возможную неудачу*. Это позволяет избежать возникновение комплекса неполноценности как признака нервно-психического отклонения, а иногда превентивное осмысление неудачи увеличивает шансы ее избежать.

При стрессовых ситуациях помогают также *навык*

к расслаблению — снятие напряжения с помощью релаксационных (расслабляющих) пауз (от 15 до 30 мин в день) или *доверительное общение* со своими коллегами по работе, откровенный рассказ кому-либо о своих неудачах приводит к облегчению восприятия неудачи, т. е. к эффекту, именуемому «разделенным горем» и, конечно же, *юмор*, который многие психологи относят к средствам временной передышки от напряжения, проблем и конфликтов, который, хотя и не разрешает этих сложностей, но облегчает реакцию на них.

Руководитель, наделенный чувством юмора, может оказать большое положительное влияние на коллектив в какой-либо тяжелый для него момент.

В заключение следует отметить возможность для руководителя *умения отделять служебные отношения от личных*. Это надежное средство сохранения душевного равновесия и повышения производительности труда.

Исследования показали, что на здоровье влияют не сами эмоции (положительные или отрицательные), а отношение человека к ситуации, породившей эти эмоции. Если человек даже в очень трудной жизненной ситуации остается активным, старается разрешить конфликт, то и переживания и отрицательные эмоции для него не вредны. Если же он обнаруживает моральную капитуляцию, отказывается от решительных действий, то у него возникают пассивно-оборонительные эмоции, губительные для человека. То, что называют активной жизненной позицией, оказывается дважды полезным — и в социальном, и в чисто медицинском плане.

Общей предпосылкой успеха психогигиены является объективное познание человеком самого себя. Успех в конечном итоге на стороне того, кто правильно оценивает себя, свои обязанности, соответствие своих возможностей уровню притязаний.

13.8. Нравственная ответственность ученого

Задачи строительства коммунистического общества ставят перед нашими учеными не только научно-теоретические и научно-практические проблемы, но и вопросы повышения роли морального фактора в научно-исследовательской работе и научной среде. Моральная атмосфера в научных коллективах и результативность науч-

ной деятельности находятся в известной зависимости друг от друга¹.

В связи с увеличением численности научных работников и особенно там, где складывается пренебрежительное отношение к моральным ценностям науки прошлого и слабо поставлено нравственно-этическое воспитание среди научной молодежи, вероятность появления различных отрицательных моральных установок и форм поведения увеличивается. В этих условиях каждому члену коллектива необходимо прививать чувство ответственности за порученное дело, за качественное и своевременное выполнение поставленной задачи.

Даже талантливость и деловитость человека при ослабленной ответственности оказывается не достоинствами, а средствами искажения истины во имя временных интересов и целей эгоистического, узко личного, а не подлинно общественного характера.

Цель науки — выявление и исследование законов природы, поиск истины. Ученый пытается постичь сущность окружающего нас мира, изучая механизмы и взаимосвязи явлений.

Свобода научного поиска, его объективность и эффективность часто обеспечиваются полицентричностью, т. е. независимым финансированием из различных источников (госбюджет, хоздоговор), а также международным характером науки, в котором заинтересованы не только ученые, но и государства (ни одному государству не под силу, да и не выгодно развивать науку во всем ее объеме самостоятельно). Ярким примером этому служат международные научные комплексные программы стран социалистического содружества.

Полицентричность науки проявляется также в разнообразных возможностях для публикаций результатов исследований (существование различных перекрывающихся по тематике научных журналов с разными составами редакционных коллегий, обеспечивает публикации результатов практически любого исследования или любой идеи, если только они выполнены с учетом элементарных технических требований и содержат элемент нового).

Для науки факты начинают существовать лишь после их независимого воспроизведения. В ходе многократных

¹ См. *Медянцева М. П.* Нравственная ответственность ученых в условиях НТР. Серия «Этика». М., 1977. № 10.

и разносторонних воспроизведений научных данных из них постепенно отсеиваются исходный субъективизм, случайные и несущественные элементы; эти данные дополняются и уточняются и в конце концов входят как окончательные, полностью воспроизводимые в систему научных знаний. Иначе говоря, научные факты или идеи начинают жить не с момента их получения или публикации, а лишь после того, как они подтверждаются в новых циклах исследований или включаются в уже существующий цикл, индуцированный другими данными или идеями.

Из этого вытекает ряд конкретных организационных следствий. Во-первых, дублирование в поисковых исследованиях не только не вредно, но абсолютно необходимо (разумеется, в определенных пределах). Во-вторых, никто не может заменить естественной цикличности исследований в становлении научной истины.

Таким образом, научный подход вовсе не исключает субъективизма; более того, он питается субъективизмом даже в его крайних проявлениях как неизбежным следствием полного раскрытия индивидуальности исследователя. Научная этика дает исследователю даже право на ошибки. Но при этом наука извлекает из деятельности ученого лишь положительный опыт.

Высокую эффективность научного поиска обеспечивают два механизма¹. Первый — автоматический. Это хорошая продуктивная идея, ценное и воспроизводимое наблюдение естественным образом привлекают внимание исследователей, и фронт работ в новом направлении сам собой расширяется за счет менее актуальных работ. Наиболее ярким примером последнего времени такого развития работ в физике является поиск материалов, обеспечивающих сверхпроводимость электрического тока. В научно-исследовательскую работу этого направления включается все большее количество научных коллективов. Второй механизм — организационный. Финансирующие организации, опирающиеся на мнение компетентных специалистов, стимулируют наиболее активно работающих исследователей, в результате чего то или иное направление становится доминирующим в данной области науки.

Бесперспективное исследование или исследование, не

¹ См.: Абелева Э. А., Абелев Г. И. Этика: цемент науки//Химия и жизнь. 1985, № 2.

индуцировавшее цикла «расширенного воспроизводства», не привлекает притока свежих сил и при современных темпах развития науки быстро затухает.

В профессиональной этике ученого можно выделить вопросы, связанные как с собственно исследовательской работой, так и с научно-организационной деятельностью. Точность фактического материала — основа науки. Профессионального исследователя в этом отношении может характеризовать даже некоторый педантизм — излишняя, казалось бы, скрупулезность в изложении фактов. Несерьезное отношение к научным фактам ведет к самому страшному для исследователя — к научной «смерти» (человек продолжает жить и работать, но работ его не читают и не цитируют, он как бы перестает существовать для науки). Объективную истину нужно найти и отличить от заблуждений, которые чрезвычайно живучи.

И в наше время в общем потоке информации появляются непроверенные факты, слухи. Запретить лженаучные рассуждения нельзя (это лишь привлекает к ним внимание), но с ними нужно бороться только путем противопоставления им действительных фактов науки, путем популяризации действительно научных идей. Соригенироваться в безбрежном море научных идей современности можно только овладев научным методом познания, став профессионалом в своей области.

Предельный профессионализм — одно из главных предъявляемых требований к человеку, посвятившему себя науке. Профессиональная этика без профессионализма превращается в пустую формальность. Но не противоречит ли такое утверждение фактам? Ведь всем известно, что Ампер и Фарадей не получили специального образования, Вольт учился в школе иезуитского ордена, Джоуль был пивоваром, врачами были Коперник, Гельмгольц и Майер; юристами — Авогадро, Лавуазье и Ферма; в наше время Эдвин Хаббл, сделавший крупнейшие открытия в астрономии, по образованию был юристом, Луи де Бройль — один из основателей квантовой теории — филологом... Но люди, отвергающие требования профессионализма и ссылающиеся на исторические примеры, забывают, что все перечисленные ученые достигали своего успеха только в результате того, что в процессе научных поисков стали образованнейшими в новой области специалистами, овладели секретами нового мастерства. Идеи, выдерживающие про-

верку, рождаются только на основе профессионализма, только при этих условиях возникает научная интуиция.

Решая какой-то вопрос, исследователь сначала старается собрать все, что было сделано в этой области до него, и затем, естественно, в ходе работы следит за текущей литературой. Публикуя полученные результаты, автор должен ссылаться на все родственные работы вне зависимости от своего к ним отношения. Он имеет полное право высказать свое отношение к цитируемой работе, но не замечать труд предшественника неэтично. К нарушению этических норм относится и плагиат — умышленное присвоение авторства на чужую работу или даже использование автором в своей работе чужих принципиально важных результатов; идей без ссылок на первоисточник. Это лишает человека морального права называться творческим работником, ученым. Именно поэтому плагиат преследуется законом. Резко отрицательно реагируют на него специализированные советы по защите диссертаций и Высшая аттестационная комиссия (ВАК) при Совете Министров СССР.

Иногда двое или даже несколько людей, порой одновременно в разных странах, приходят независимо друг от друга к одинаковым результатам. Приоритет принадлежит тому, кто первый оповестил общественность о своих достижениях. Вопрос о научном и техническом приоритете важен для национальной науки в целом. Именно поэтому некоторым высоко авторитетным научным организациям разрешена публикация препринтов — срочных и кратких сообщений о вновь полученных результатах исследований.

Этика индивидуального исследования непосредственно смыкается с этикой руководства научной группой или лабораторией. При коллективном исследовании или комплексе исследований отношения участников этой общей работы должны определяться их реальной ролью в ее замысле и осуществлении, а не административным положением. Творческий коллектив плодотворно может работать только в том случае, если положение сотрудников соответствует и органически вытекает из их действительной роли в исследованиях и это затем находит адекватное отражение в совместных публикациях в оценке совместной деятельности. В случае же, когда такого соответствия нет, рано или поздно возникают ложные отношения, идущие во вред делу и приводящие к распаду коллектива.

Однако далеко не всякая разновидность труда дает моральное и юридическое право на личную подпись под публикацией, считать себя соавтором изобретения, рационализаторского предложения. В частности, при создании изобретения, рационализаторского предложения к соавторам не относится лицо, оказавшее только техническую помощь (изготовление чертежей и образцов, выполнение расчетов, оформление документации, проведение опытной проверки и т. п.), а иногда и тот, кто высказал идею или предложил тему, но не принял участия в совместном творческом труде. В последнем случае лишь сам коллектив исполнителей может предложить такому сотруднику войти в авторский коллектив.

Этическое положение ученого в научно-организационной сфере более сложно, чем в области исследования. Его личная позиция формально отделена от принятия решения ученым советом или редколлегией журнала и часто формально освобождает от моральной ответственности за принятое решение. В то же время подобная процедура обезличивает принятое решение, дробит ответственность за него, лишает этическую позицию ученого той очевидности, какой она обладает в сфере индивидуального исследования. Строгое отношение к фактам и честность по отношению к коллегам — вот этическая норма в любой ситуации.

В профессиональной этике органически сочетаются строгое отношение и... терпимость. Печальные примеры из истории науки показывают, насколько вредоносны бывают фанатически убежденные в своей непогрешимости ученые, в особенности имеющие заслуженный авторитет (даже если они не прибегают к мерам административного воздействия на инакомыслящих). Их ошибочные или поверхностные суждения о работах других направлений, не согласующихся с принятой ими точкой зрения, высказанные публично, приобретают подчас силу окончательного приговора в глазах общества и подрывают уверенность в правильности выбранного пути у самого автора исследования.

Научная терпимость предполагает широту взглядов, глубокое понимание принципов организации науки, подлинную заинтересованность в ее прогрессе; она требует от ученого преодоления личной ограниченности, личных симпатий и антипатий, а когда нужно, и совершения поступков, даже противоречащих собственным интересам.

Вместе с тем научная терпимость может быть плодо-

творной лишь в сочетании с абсолютно принципиальным, нетерпимым отношением к ложным научным выводам, т. е. ко всему неподлинному, противоречащему научной этике.

В капиталистическом обществе ученый, нередко рассматривается как средство получения информации, как поставщик конкретных сведений по заказу фирмы, монопольного объединения, правительственных учреждений. Стремление правящих кругов сохранить существующие общественно-экономические порядки зачастую вступает в противоречие с задачей ученых выявить истину. Естественно, что в этих условиях многие ученые начинают бояться ответственности, особенно за использование открытий в милитаристских целях.

Осознание ответственности, переживаемое в таких случаях ученым выливаются в социальный протест, в создание прогрессивных национальных и международных организаций ученых, активно выступающих против ядерной войны, за разоружение и мир во всем мире.

Каждый, кто собирается посвятить свою жизнь науке, обязан придирчиво проверить свою внутреннюю нравственную готовность к трудному, ответственному пути ученого.

Важнейшей задачей, поставленной XXVII съездом партии перед высшей школой страны, является существенное повышение качества подготовки специалистов с высшим образованием, обладающих творческими способностями, навыком практического использования полученных в вузе знаний в деле ускорения научно-технического прогресса.

Длительный опыт многих ведущих вузов страны показал, что одним из эффективных направлений решения такой задачи является привлечение студентов к творческой работе в период обучения, требующей применения уже полученных знаний, 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 занятий.

С этим были связаны усилия многих вузов поднять эффективность творческого воспитания будущих специалистов в направлении усложнения учебных заданий, введение в них творческих элементов, что естественным путем приводило к целесообразности привлечения студентов к научно-исследовательской работе в самых различных формах.

Накопление опыта, расширение такой работы как в рамках учебного процесса, так и вне его дало возможность, с одной стороны, обобщить положительный опыт, а с другой — принять меры, способствующие по возможности более ранней подготовке студентов для участия

в творческой, научно-исследовательской работе, ведущейся не только непосредственно в вузе, но и в других исследовательских производственных организациях, участвующих в подготовке специалистов.

Такой мерой было включение во многие планы вузов специального времени, отводимого для выполнения учебно-исследовательской работы и введение учебной дисциплины «Основы научных исследований», утверждение Государственным комитетом СССР по народному образованию учебной программы по этой дисциплине, в соответствии с которой подготовлен предлагаемый учебник.

В задачу названной дисциплины (и учебника) входит вооружение будущего специалиста комплексом знаний, необходимых для участия в творческой работе, выполняемой, как правило, коллективом.

В связи с этим учебник охватывает вопросы, которые помогут специалисту с большей подготовкой участвовать в исследованиях, правильнее организовать свое рабочее время в процессе поиска решения поставленной перед ним творческой задачи.

Научно-техническая революция привела к прогрессивно увеличивающемуся объему научной и научно-технической информации по каждому направлению человеческих знаний. Выбор темы для исследовательской работы практически невозможен без предварительного ознакомления со всей информацией, относящейся не только к выбираемой теме, но и к вопросам, смежным с ней. Если ранее эту работу в течение всей своей творческой жизни выполнял сам ученый, то в современных условиях эта задача оказалась ему непосильной (слишком велик объем), поэтому постепенно развивалась система информации, которая теперь предоставляет специалистам труднооценимые услуги. Однако, чтобы воспользоваться ими, необходимо иметь представление о системе информации в стране и в мире.

Освоение каждым специалистом сведений, содержащихся в предлагаемом учебнике, дадут желаемый высокий эффект только при условии, если теоретическая работа будет подкреплена практикой, практическим участием студентов в научно-исследовательской, конструкторской, проектной и другой творческой работе в период обучения.

В настоящее время многие вузы стремятся организовать свою научно-исследовательскую работу так, чтобы каждый будущий специалист нашел в ней свое место.

Важность в современных условиях научно-технической революции именно такой организации подготовки специалистов с высшим образованием особенно четко проиллюстрирована постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР по Московскому высшему техническому училищу им. Н. Э. Баумана. Его коллективу, как флагману технического образования в стране, поручена подготовка специалистов высшей квалификации, обладающих глубокими фундаментальными и прикладными знаниями и развитыми творческими способностями. В этих целях на каждом факультете предусмотрена организация научно-исследовательского института, который совместно с факультетом составит научно-учебный комплекс. Основной задачей такого комплекса является обеспечение активной творческой работы в НИИ преподавателей и студентов, а научных работников НИИ — в учебном процессе, в руководстве творческой работой студентов.

7

Использование ИПЯ в документальных АИПС

Основу любого информационно-поискового языка (ИПЯ) составляет множество лексических единиц (ключевых слов, словосочетаний, дескрипторов) и заданные на этом множестве отношения между лексическими единицами. Под *ключевым словом* (КС) понимается однозначное слово естественного языка, выражающее смысловое содержание запроса самостоятельно или в наборе с другими КС. *Словосочетание* — это последовательность нескольких (2...5) слов естественного языка, выражающая основное смысловое содержание фрагмента документа или запроса. Словосочетание может использоваться и в роли ключевого слова. *Дескриптор* — это понятие, обозначающее группу эквивалентных или близких по смыслу ключевых слов, т. е. это имя класса синонимов. В качестве дескрипторов могут быть использованы код, слово или словосочетание.

Среди отношений используются парадигматические и синтагматические. Парадигматические отношения обусловлены наличием не языковых, а логических связей между предметами и явлениями, обозначаемыми данными словами. Например, отношениям «вид—род», «часть—целое», «причина—следствие» соответствуют «шкаф—мебель», «лезвие—нож», «молния—гром».

В ИПЯ недопустима многозначность, поэтому в нем учитываются парадигматические отношения синонимии (полисемия, условная синонимия, абсолютная синонимия) и омонимии знаков естественного языка. Омонимия знака (слова, словосочетания, выражения) состоит в том, что он при одинаковом написании может иметь различный смысл. Например, понятие «соль» может обозначать: вещество, ноту, суть чего-либо и т. д. Полисемия знака состоит в том, что один и тот же знак выражает несколько родственных значений. Например, слово «ключ» обозначает: дверной ключ, нотный ключ и т. д. Синонимия знаков состоит в том, что один и тот же объект имеет разные обозначения. Например, слова

«коллега» и «друг» могут относиться к одному и тому же человеку, но отличаются друг от друга по смыслу. Это условные синонимы. Абсолютная синонимия имеет место тогда, когда разные слова обозначают один и тот же объект и выражают одинаковый смысл.

Отношения, устанавливаемые при соединении слов в словосочетания и фразы, носят название синтагматических отношений. Простейший вид синтагматических отношений — вхождение нескольких лексических единиц ИПЯ в один и тот же текст, фрагмент текста, фразу, т. е. отношение координации.

Парадигматика и синтагматика — это два различных аспекта ИПЯ, первый связан с его лексикой, а второй — с грамматикой. По характеру грамматических средств различают прекоординированные и посткоординированные ИПЯ.

Прекоординированные ИПЯ — это языки, у которых словарный состав, парадигматические и синтагматические отношения самостоятельно не существуют, а образуют жестко связанную структуру. По сути дела, каждый ИПЯ этого типа представляет собой некоторую систему классификации. Индексирование текстов (перевод текстов на ИПЯ) состоит в присвоении каждому документу соответствующего индекса (рубрики, подрубрики) используемой системы классификации. Иерархические классификации получают заданием отношения древовидного порядка (например, Десятичная классификация Дьюи, Классификация Библиотеки конгресса США, Универсальная десятичная классификация, Международная классификация изобретений, Рубрикатор ГСНТИ). Алфавитно-предметные классификации получают заданием отношений алфавитного порядка на множествах лексических единиц ИПЯ, определяемых предметными классами понятий. Примерами таких ИПЯ являются различного рода каталоги и указатели. Фасетные классификации включают несколько жестких структур (фасетов), каждая из которых отображает один аспект отношений между словами ИПЯ. По сути дела, фасетная классификация есть набор нескольких иерархических классификаций. Построению фасетных классификаций предшествует фасетный анализ, в результате которого вся лексика ИПЯ разбивается на поаспектные множества (фасеты). На этих множествах и строятся в дальнейшем иерархические классификации. Например, часто рассматривают-

ся фасеты: «Вещества», «Материалы», «Процессы», «Состояния», «Свойства», «Реакции», «Действия».

Посткоординированные ИПЯ — это языки, словарный состав которых не связан грамматикой заранее, и такая связь осуществляется в процессе индексирования и/или поиска. Обычно выделяют три типа таких ИПЯ: дескрипторные ИПЯ, семантические коды и синтагматические ИПЯ, из них наибольшее распространение в АИПС получили дескрипторные ИПЯ.

Иногда ИПЯ делят на классификационные (к ним относят иерархические и фасетные классификации), рубрикационные (алфавитно-предметные классификации) и дескрипторные (все посткоординированные ИПЯ).

В основе дескрипторных ИПЯ лежит принцип координатного индексирования, который предполагает, что основное смысловое содержание документа может быть выражено списком ключевых слов, т. е. наиболее существенных для понимания текста полнозначных слов, к ним относятся существительные, прилагательные, глаголы, наречия, числительные, местоимения. Неполнозначные слова — это предлоги, союзы, частицы.

Простейший дескрипторный ИПЯ основан на принципе чистого координатного индексирования и поиска, который состоит в индексировании документов и запросов списками ключевых слов и в последующем сравнении полученных списков. Документ выдается на запрос в том случае, если их поисковые образы имеют не менее K общих ключевых слов.

Пусть, например, заданы следующие документы:

02. Хлористый натрий, бромистый калий, йодистый калий.

04. Ядерные реакторы.

05. Столкновение мезона с протоном.

06. Химические реакторы.

08. Передача электроэнергии из Англии в Шотландию.

Поисковые образы (результаты индексирования) документов:

02. Хлориды, натрий, бромиды, калий, йодиды.

04. Ядерные, реакторы.

05. Столкновения, мезоны, протоны.

06. Химические, реакторы.

08. Передача, электроэнергия, Англия, Шотландия.

Рассмотрим некоторые типичные ситуации, возникающие при поиске в подобном массиве.

1. Ложная координация

Запрос — Йодистый натрий

ПОЗ — Йодиды, натрий

В соответствии с принципом чистой координации, если $K \leq 2$, то в массиве, выданном на данный запрос, будет документ 02. В действительности этот документ не отвечает запросу, так как в нем говорится об йодистом калии, а не о натрии.

2. Неполная координация

Запрос — столкновение протона с протоном

ПОЗ — столкновение, протоны

Выдача — документ 05, не соответствующий запросу.

3. Синонимия ключевых слов

Запрос — поваренная соль

ПОЗ — поваренная соль

Выдача отсутствует, хотя нужно выдать документ 02, так как «поваренная соль» синоним термина «хлористый натрий».

4. Полисемия

Запрос — реакторы

ПОЗ — реакторы

Выдача — документы 04, 06, т. е. химические и ядерные реакторы.

5. Необозначенность родо-видовых (парадигматических) связей

Запрос — галоиды щелочных металлов

ПОЗ — галоиды, щелочные металлы

Выдачи нет, хотя нужно выдать документ 02, так как

а) галоиды: бромиды, йодиды, хлориды и т. д.;

б) щелочные металлы: калий, натрий и т. д.

6. Ложные синтагматические связи

Запрос — передача электроэнергии из Шотландии в Англию

ПОЗ — передача, электроэнергия, Шотландия, Англия.

Выдача — документ 08, хотя он и не отвечает запросу.

7. Невыдача документов, близких по смыслу запросу

Запрос — хлористый и йодистый натрий, щелочные металлы

ПОЗ — хлориды, йодиды, натрий, щелочные металлы

Выдача отсутствует при $K=5$, хотя при $K=3$ будет выдан документ 02.

Чтобы избежать указанных ошибок, обычно применяют более точные дескрипторные ИПЯ, которые учитывают парадигматические и синтагматические отношения. Такие ИПЯ, например, предусмотрены в современных

АИПС, реализуемых на основе ППП АСОД, ДИАЛОГ, CDS/ISIS. Эти языки служат для описания смыслового содержания как документов, так и запросов, поэтому изучение конкретного ИПЯ состоит в освоении средств описания документов и языка запросов.

Средства описания документов используются в полном объеме специалистами по информатике для создания и введения баз данных в рамках АИПС. При этом документ представляется в виде совокупности полей и указывается, из каких полей выбираются ключевые слова (дескрипторы) при индексировании. Поля могут быть *текстовыми* (содержать произвольный текст не больше установленной длины, может быть разделение полей на подполя или параграфы) или *форматными* (включать набор элементов данных фиксированной длины, расположенных в определенной последовательности). Например, форматное поле «дата» может состоять из элементов «число», «месяц», «год». Пользователю для проведения поиска необходимо знать только состав полей конкретной базы данных (наличие текстовых и форматных полей, их метки или имена).

Пусть, например, поиск ведется в документальной базе данных, где каждый документ представлен следующим набором полей:

1. Тип документа. 1 — символ; «к» — для книги; «ж» — для журнальной статьи; «г» — для газетной статьи.

2. Стандартные элементы библиографического описания. Для книги: автор, заглавие, место издания, издательство, год издания, количество страниц. Для журнальной статьи: автор, заглавие, название журнала, год издания, том и номер выпуска, страницы. Для газетной статьи: автор, заглавие, название газеты, год, месяц, число.

3. Реферат.

4. Ключевые слова.

Ниже приводится пример описания такой базы данных (в объеме, достаточном для проведения поиска пользователем) и образец документа. Знак «+» в графе «возможность поиска» означает, что из данного поля при индексировании выбираются ключевые слова. Отметим, что реальные АИПС позволяют более точно описывать структуру документа (например, задавать подполя и параграфы в текстовых полях, повторяющиеся поля).

Форматные поля:

Имя поля	Длина	Содержание
ТИП	1	Тип документа «к» — книга, «ж» — журнал, «г» — газета
ГОД	4	Год публикации
МЕСЯЦ	2	Месяц публикации (для газеты)
ЧИСЛО	2	Число публикации (для газеты)

Текстовые поля:

Имя поля	Содержание	Возможность поиска	Использование		
			«К»	«Ж»	«Г»
АВТ	Автор	+	+	+	+
ЗАГ	Заглавие	+	+	+	+
МЕСТО	Место издания	—	+	—	—
ИЗД	Издательство	—	+	—	—
НАЗВ	Название	+	—	+	+
ТОМ	Том журнала	—	—	+	—
НОМЕР	Номер журнала	—	—	+	—
СТР	Для книги — кол-во страниц, для журнала — страницы	—	+	+	—
РЕФ	Реферат	+	+	+	+
КС	Ключевые слова	+	+	+	+

Образец документа:

ТИП	К
ГОД	1980
АВТ	Горностаев Ю. М., Зиновьев С. П.
ЗАГ	Применение системы телеуправления КАМА в автоматизированных системах научно-технической информации
МЕСТО	Москва
ИЗД	Международный центр научной и технической информации
СТР	115
РЕФ	Рассмотрены вопросы построения диалоговых систем обработки научно-технической информации на базе программной системы телеуправления КАМА. Проведен функциональный анализ прикладных задач, описаны основные возможности системы КАМА. Изложены методические рекомендации по разработке прикладных программ диалоговых информационных систем
КС	КАМА, монитор, ДИАЛОГ, ИПС, телеобработка, статистика, телеуправление

Язык запросов включает обычно операторы определения общей логики поиска, операторы связи терминов в логические предложения, операторы учета синтагматических и парадигматических отношений, операторы поиска по форматным полям.

Общая логика поиска определяется обычно операторами: «начало поиска», «выбор базы данных», «поиск по терминам», «поиск по форматным полям», «вывод документов на экран», «вывод документов на печать».

Связь терминов в логические предложения осуществляется с помощью операторов И (AND, +, &), ИЛИ (OR, *) и НЕ (NOT, 7).

Примеры:

1. Документы о вычислительных машинах

ЭВМ * ЕС ЭВМ * СМ ЭВМ

2. Документы по диалоговым информационно-поисковым системам

ДИАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ+ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ

3. Документы по информационно-поисковым системам, исключая ссылки на документы об их эксплуатации
ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ
NOT ЭКСПЛУАТАЦИЯ

4. Документы по защите данных в ЭВМ

ЗАЩИТА ДАННЫХ * (СЕКРЕТНОСТЬ+ЭВМ)

Учет синтагматических отношений осуществляется с помощью задания максимального расстояния между терминами по количеству слов (АСОД), вхождения терминов в конкретное поле (ДИАЛОГ, CDS/ISIS), совместного использования терминов в поле, предложении, параграфе (АСОД, ДИАЛОГ), использования словосочетаний (CDS/ISIS).

Примеры:

1. НАДЕЖНОСТЬ & ЭВМ (+—1) термины «надежность» и «ЭВМ» должны стоять рядом (в любой последовательности)

2. ОПЕРАЦИОННАЯ & СИСТЕМА (SEN) термины «операционная» и «система» входят в одно предложение

3. УПРАВЛЕНИЕ..ЗАГ термин «управление» входит в поле «Заглавие»

Учет парадигматических отношений осуществляется с помощью операторов расширения запроса одноосновными терминами— \bowtie (АСОД, ДИАЛОГ, CDS/ISIS), в том числе с указанием длины усеченного окончания (ДИАЛОГ), расширения запроса с помощью терминов-синонимов (ДИАЛОГ, CDS/ISIS).

Примеры:

1. Запрос АВТОМАТ \bowtie эквивалентен запросу

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ OR АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ OR АВТОМАТЫ

2. Запрос ANY СТРАНЫ БЕНИЛЮКСА эквивалентен запросу

БЕЛЬГИЯ OR НИДЕРЛАНДЫ OR ЛЮКСЕМБУРГ

Поиск по форматным полям обычно дополняет поиск по терминам и задается с помощью операторов сравнения: больше (GT, >), меньше (LT, <), равно (EQ, =), не равно (NE, \neq), больше или равно (NL, \geq) и т. д.

Примеры:

1. Описание журнальных статей, напечатанных не раньше 1985 г.

ГОД NL 1985 AND ТИП EQ Ж

2. Описания документов за 1981...1986 гг.

ГОД > 1980 AND ГОД < 1987

Кроме этих основных операторов конкретные ИПЯ могут включать дополнительные возможности: операторы поиска с весовым (пороговым) критерием соответствия (АСОД), просмотр поля для поиска заданной строки символов (CDS/ISIS), проверка наличия и отсутствия поля (CDS/ISIS).

Информационно-поисковые тезаурусы. Для более эффективного использования лексических единиц ИПЯ и правильного учета парадигматических отношений при проведении поиска могут быть использованы информационно-поисковые тезаурусы (ИПТ). ИПТ — это словарь-справочник для перевода с естественного языка на ИПЯ с учетом парадигматических отношений, т. е. для индексирования документов и запросов. В ИПТ перечислены дескрипторы и синонимичные ключевые сло-

ва, показан метод устранения синонимии, омонимии и полисемии, выражены иерархические (родовидовые) и ассоциативные связи между дескрипторами. ИПТ являются результатом трудоемкого семантического анализа текстов документов и оформляются в виде ручного или автоматического словаря.

По тематическому охвату ИПТ делятся на политематические, отраслевые и узкотематические, различающиеся широтой охвата и степенью детализации понятий. Примерами политематических ИПТ является тезаурус EURONET, а также «Тезаурус научно-технических терминов», разработанный в СССР.

К отраслевым относятся тезаурусы систем INSPEC, INIS. Узкотематические ИПТ охватывают узкие научные направления и строятся на базе отраслевых или политематических ИПТ.

В соответствии с государственным стандартом (ГОСТ 18383—73 «Тезаурус информационно-поисковых систем. Общие положения. Форма представления») ИПТ имеет словарную и семантическую части. Рассмотрим структуру ИПТ на примере «Тезауруса научно-технических терминов».

Словарная часть — общий алфавитный список терминов (около 19 тыс.). Между терминами имеются три вида парадигматических связей: предпочтительные для отражения отношений дескрипторов и их условных синонимов, иерархические (родовидовые отношения), ассоциативные («предмет—процесс», «причина—следствие», связь по возможному использованию). Все три типа связей отображаются в тезаурусе в виде перекрестных ссылок (табл. П.1).

Т а б л и ц а П.1

Перекрестная ссылка	Символ	Тип связи
ИСПОЛЬЗОВАТЬ	ИСП	Предпочтительный
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ВМЕСТО	ИВ	»
РОДОВОЙ ДЕСКРИПТОР	РД	Иерархический
ВИДОВОЙ ДЕСКРИПТОР	ВД	»
АССОЦИАТИВНЫЙ ДЕСКРИПТОР	АД	Ассоциативный

Запись словарной статьи дескриптора:

заглавный дескриптор ИВ — список условных обозначений

РД — список родовых дескрипторов

ВД — список видовых дескрипторов

АД — список ассоциативных дескрипторов

Запись условного синонима:

условный синоним ИСП дескриптор

Семантическая часть «Тезауруса научно-технических терминов» представлена систематическим указателем дескрипторов, указателем иерархических отношений дескрипторов и пермутационным указателем терминов.

Систематический указатель терминов имеет иерархическую трехступенчатую структуру: тезаурус в целом — одна из 33 дескрипторных областей — одна из 302 дескрипторных групп — дескриптор. Указатель служит для раскрытия тематического профиля ИПТ.

Указатель иерархических отношений служит для отображения структуры родо-видовых отношений. Статья указателя имеет следующий вид:

- родоначальный дескриптор
- . видовой дескриптор 1-го уровня
- .. видовой дескриптор 2-го уровня
- ...видовой дескриптор 3-го уровня и т. д.

Пермутационный указатель терминов представляет собой словарь, упорядоченный по алфавиту каждого слова из словосочетания и служит для облегчения работы со словосочетаниями, так как в «Тезаурусе научно-технических терминов» словосочетание составляют около 70 % всех терминов.

Использование информационных систем для оценки технического уровня изделий. XXVII съезд КПСС поставил задачу резкого повышения качества и конкурентоспособности изделий, особенно в области машинной продукции. В этих условиях огромное значение приобретает задача прогнозирования конкурентоспособности вновь создаваемых изделий и образцов новой техники. Для решения этой задачи в настоящее время все более широко начинают использоваться информационные методы и банки соответствующих данных.

Важную роль при этом имеет выработка требований к создаваемым базам данных. Проблема заключается прежде всего в том, чтобы иметь в соответствующей информационной системе (банке данных) все необходимые

сведения о наиболее перспективных аналогах. Эта задача решается на основе организации соответствующего потока информации о состоянии мирового рынка в данной области. В сборе и оценке информации участвуют специалисты-разработчики, представители внешнеторговых организаций, ведомств по стандартизации и патентной информации, потребители и т. д. Обычно собирают 5...10 изделий-аналогов.

Следующий этап заключается в определении наиболее существенных параметров изделий-аналогов и оценке соответствующих значений. Таким образом, каждый параметр для любого из изделий-аналогов характеризуется, с одной стороны, своим «весом» (относительная величина, определяемая экспертным путем, например, в диапазоне от 0 до 1), а с другой — конкретным значением этого параметра (измеряемым или в необходимых случаях также оцениваемым). Таким образом, исходной информационной базой для оценки технического уровня является матрица размерностью $n \times m$, где n — число изделий-аналогов, включая и оцениваемый образец, а m — число существенных (с точки зрения влияния на технический уровень) параметров.

Опуская математическую сторону вопроса обработки данных, основанную на методе регрессионного анализа, отметим, что для каждого из отобранных параметров можно получить два предельных значения — «максимальное» и «минимальное». Множество значений между ними образует множество допустимых значений для соответствующего параметра оцениваемого изделия. Совокупность таких множеств по всем существующим параметрам образует так называемый допустимый коридор значений. Соответствие разрабатываемого изделия мировому уровню оценивается по отношению его существенных параметров к параметрам, лежащим в коридоре значений. Более сложные методы позволяют ставить и решать задачи оптимизации параметров вновь создаваемых изделий.

Итак, прогнозная оценка соответствия изделий техническому уровню является удовлетворительной, если все (или большинство) наиболее существенных расчетных параметров попадают в коридор соответствующих значений. Данный подход предполагает, что соответствие изделия техническому уровню в конечном итоге оценивается некоторым скалярным показателем (например, чис-

лом от 0 до 1). Более высокое значение этого показателя соответствует и более высокой расчетной оценке технического уровня.

Важно отметить, что метод допускает не только оценку технического уровня, но и служит основой для расчета цен на новое изделие.

Как уже отмечалось, описанный здесь подход в настоящее время все более широко используется в практике. Разновидности этого метода широко применяются в ЧССР, ГДР, ВНР, НРБ (методы КОРТЕР, РАНК-64, БИСЕР). На основе этих методов, фактически представляющих собой комбинацию методов экспертной оценки, регрессионного анализа и информационных методов, оценены многие сотни новых изделий и быстро создаются и пополняются соответствующие банки данных.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Приемы, помогающие устранять типичные ошибки языка и стиля рукописи

1. Соотнесение между собой синтаксически зависимых слов. Отдаленность друг от друга синтаксически зависимых членов предложения часто мешает заметить их несогласованность. Так, сказуемое может оказаться во множественном числе, а подлежащее в единственном, или наоборот. То же может произойти, если несколько однородных слов управляют одним или, наоборот, один глагол (отглагольное существительное) управляет несколькими словами. Например, вместо «уход и обслуживание машины», «доставка и удаление продукции с рабочих мест» следует писать: «уход за машиной и ее обслуживание», «доставка продукции на рабочие места и удаление с них».

2. Установление вариантов синтаксических зависимостей. Бывает, что синтаксический строй фразы ведет к возможности двоякого ее понимания. Поэтому при чтении текста необходимо видеть все варианты прочтения. Так, слово «который» в придаточном предложении формально соотносится со стоящим перед ним словом в главном предложении. Однако, на этом месте часто стоит дополнение к слову, соотносящемуся по смыслу со словом «который». Например, «исследовались восемь пар фраз, каждая из которых иллюстрировала орфографическое правило». Придаточное предложение характеризует

не фразы, а пары фраз, поэтому следует написать: «Исследовались восемь пар фраз. Каждая пара иллюстрировала орфографическое правило».

3. Замена местоимения словами, которые оно может замещать. По правилу, местоимение замещает ближайшее существительное, и поэтому текст может быть неверно понят. Например, в фразе «Изображая Петра как выдающуюся историческую личность, автор не забывает, что он — защитник интересов помещичьего класса» лучше, исключая двойное прочтение, вместо «он» поставить «тот» или «царь».

4. Выделение одинаковых, однокоренных и противостоящих по смыслу слов. Необходимо уметь видеть в тексте сочетания вроде «исследователь в последующих работах», «большое значение имеют наименьшие затраты». Правильнее было бы написать: «исследователь в дальнейших работах», «важное значение имеют наименьшие затраты».

5. Выявление лишних слов и признаков канцелярского стиля. Необходимо знать наиболее распространенные, типичные лишние слова и выработать навык выделять их при чтении.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Основные положения	6
Глава II. Организация научно-исследовательской работы в СССР	13
2.1. Организационная структура науки в СССР	13
2.2. Подготовка, использование и повышение квалифика- ции научно-технических кадров и специалистов народ- ного хозяйства	23
2.3. Научные общественные организации	28
2.4. Научно-исследовательская работа студентов в совет- ской высшей школе	35
Глава III. Методологические основы научного познания и твор- чества	44
3.1. Понятие научного знания	44
3.2. Методы теоретических и эмпирических исследований	56
3.3. Элементы теории и методологии научно-технического творчества	64
Глава IV. Выбор направления научного исследования и этапы научно-исследовательской работы	79
4.1. Выбор направления научного исследования	79
4.2. Оценка экономической эффективности темы	84
4.3. Этапы научно-исследовательской работы	85
Глава V. Поиск, накопление и обработка научной информации	88
5.1. Информатика как наука	88
5.2. Научные документы и издания	97
5.3. Государственная система научно-технической инфор- мации	105
5.4. Международная система НТИ стран — членов СЭВ	109
5.5. Информационно-поисковые системы	110
5.6. Научно-техническая патентная информация	113
5.7. Государственная система патентной информации (ГСПИ)	119
5.8. Организация работы с научной литературой	121
Глава VI. Теоретические исследования	130
6.1. Задачи и методы теоретического исследования	130
6.2. Использование математических методов в исследо- ваниях	136
6.3. Аналитические методы	161
6.4. Вероятностно-статистические методы	173
Глава VII. Моделирование в научном и техническом творчестве	187
7.1. Подobie и моделирование в научных исследованиях	187
7.2. Виды моделей	196
7.3. Организация и обработка результатов эксперимента в критериальной форме	198
7.4. Физическое подобие и моделирование	203

7.5. Аналоговое подобие и моделирование	204
7.6. Математическое цифровое подобие и моделирование	206
Глава VIII. Применение ЭВМ в научных исследованиях	209
8.1. Типы ЭВМ и возможности вычислительных систем	209
8.2. Программное обеспечение ЭВМ	219
8.3. Автоматизированные системы научных исследований	232
Глава IX. Экспериментальные исследования	244
9.1. Классификация, типы и задачи эксперимента	244
9.2. Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований	258
9.3. Рабочее место экспериментатора и его организация	268
9.4. Влияние психологических факторов на ход и качество эксперимента	271
9.5. Вычислительный эксперимент	274
Глава X. Обработка результатов экспериментальных исследований	277
10.1. Основы теории случайных ошибок и методов оценки случайных погрешностей в измерениях	277
10.2. Методы графической обработки результатов измерений	291
10.3. Методы подбора эмпирических формул	296
10.4. Регрессионный анализ	305
10.5. Оценка адекватности теоретических решений	310
10.6. Элементы теории планирования эксперимента	316
Глава XI. Оформление результатов научной работы и передача информации	318
11.1. Оформление результатов научной работы	318
11.2. Оформление заявки на предполагаемое изобретение	331
11.3. Устное представление информации	337
Глава XII. Внедрение и эффективность научных исследований	341
12.1. Государственная система внедрения	341
12.2. Эффективность и критерии научной работы	348
Глава XIII. Организация работы в научном коллективе	353
13.1. Основные принципы управления научным коллективом	353
13.2. Деловая переписка	358
13.3. Организация деловых совещаний	360
13.4. Формирование и методы сплочения коллектива	364
13.5. Психологические аспекты взаимоотношения руководителя и подчиненного	366
13.6. Управление конфликтами в коллективе	369
13.7. Научная организация и гигиена умственного труда	372
13.8. Нравственная ответственность ученого	376
Заключение	383
Приложение 1	386
Приложение 2	397

Основы научных исследований