

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Лекции Основы научных
исследований*

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по учебной дисциплине цикла природно-научной
(фундаментальной) подготовки

*Лекции Основы научных
исследований*

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лекции Основы научных

направление подготовки 6.0513 «Химическая технология»
специальность 6.051301 «Химические технологии тугоплавких
неметаллических и силикатных материалов»

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НАУКЕ	3
2 МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
2.1 Классификация методов научных исследований.....	10
2.2 Задачи и методы теоретического исследования.....	16
2.3 Методика проведения экспериментальных работ.....	22
2.4 Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований.....	24
2.4 Количественные измерения	25
2.4.2 Погрешности измерений	26
2.4.3 Формы представления конечных результатов измерений	32
2.4.4 Примеры статистической оценки результатов наблюдений и экспериментов	36
2.4.5 Корреляционный анализ.....	41
2.4.5.2 Ошибка коэффициента корреляции	44
2.4.5.3 Частный коэффициент корреляции	45
2.4.5.4 Ошибка частного коэффициента корреляции	48
2.4.5.5 Коэффициент прямолинейной регрессии	48
2.4.6 Планирование эксперимента. Полный факторный эксперимент	49
3 НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ: ЦЕЛЬ, ПРЕДМЕТ, ЭТАПЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	55
3.1 Средства поиска научной библиографической информации	57
3.2 Типы и задачи экспериментальных исследований, их классификация	58
3.3 Активный и пассивный эксперимент	62
3.4 Вычислительный эксперимент. Математическое моделирование	63
4 ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ	65
5 ОХРАНА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, СОЗДАВАЕМОЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	67

исследований

1 ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НАУКЕ

1.1 Термины и определения

Научная деятельность – деятельность, направленная на получение и применение новых знаний.

Научно-техническая деятельность – деятельность, направленная на получение, применение новых знаний для решения технологических, инженерных, экономических, социальных, гуманитарных и иных проблем, обеспечение функционирования науки, техники и производства как единой системы.

Экспериментальные разработки – деятельность, которая основана на знаниях, приобретенных в результате проведения научных исследований или на основе практического опыта, и направлена на сохранение жизни и здоровья человека, создание новых материалов, продуктов, процессов, устройств, услуг, систем или методов и их дальнейшее совершенствование.

Научные исследования – термин часто используется в научнотехнической литературе и в средствах массовой информации, подразумевает все процессы от зарождения идеи до ее воплощения в виде новых теорий, веществ, материалов, процессов, технологий, устройств, образцов техники и объединяет в себе понятия терминов "научная деятельность", "научно-техническая деятельность" и "экспериментальные разработки".

«Наука» – относительно этого термина нет единства мнений:

наука – это форма деятельности людей по производству новых знаний о действительности и о самом познании с целью открытия объективных законов. В этом аспекте она представляет собой явление духовной жизни общества, форму отражения в сознании внешнего мира. Научная деятельность направлена на получение и применение новых знаний об этом мире;

наука – это система постоянно обогащающегося знания о мире, развивающаяся на основе общественно-исторической практики. Со временем в этой системе изменяются элементы, структура и взаимосвязь элементов между собой. В этом аспекте подчеркивается результат научной деятельности в форме фактов, законов, теорий;

наука представляет собой особого рода социальный институт. Ее обслуживает ряд научных учреждений: научно-исследовательских институтов, академий, учебных заведений, конструкторских бюро, осуществляющих научные исследования. После того, как наука сформировалась в социальный институт, занятие наукой стало самостоятельной сферой человеческой деятельности, стало профессией;

наука все более становится непосредственной производительной силой. Она значительно влияет на орудия и средства труда и самого человека, увеличивая его власть над природой. Производство все более становится полем применения научных достижений, практического использования научных знаний.

Наука – это непрерывно развивающаяся система знаний законов создания, функционирования и развития человека, общества и окружающей их природной среды, получаемых и превращаемых в непосредственную производительную силу общества в результате специальной деятельности людей.

Целями науки являются:

- не вся совокупность знаний, а знание законов природы и общества;
- не только получение новых знаний, но и их применение для нужд человека и общества.

Основные потребности в науке для человека заключаются в следующем:

- объяснение явлений, происходящих в природе и обществе;
- прогнозирование поведения (развития) объектов природы и общества;
- создание новых объектов.

Двигателем развития науки является практика. Практические потребности человека направляют развитие науки, а ее ценность определяется, в основном, подтверждением на практике научных прогнозов.

Система научных знаний запечатлена в научных понятиях, гипотезах, законах, эмпирических (основанных на опыте) научных фактах, теориях и идеях, дающих возможность предвидеть события, зафиксирована в книгах, журналах и других видах публикаций. Этот систематизированный опыт и научные знания предшествующих поколений обладают рядом признаков, главнейшие из которых следующие:

а) всеобщность, то есть принадлежность результатов научной деятельности, совокупности научных знаний не только всему обществу страны, в которой эта деятельность протекала, но и всему человечеству;

б) проверенность научных фактов; система знаний только тогда может претендовать на наименование научной, когда каждый факт можно проверить для уточнения истины;

в) воспроизводимость явлений, тесно связанная с проверенностью; определенный закон природы существует и открытое явление входит в систему научных знаний, если исследователь каким-либо методом может повторить открытое другим ученым явление;

г) устойчивость системы знаний, быстрое устаревание знаний свидетельствует о недостаточной глубине проработки накопленного материала или неточности принятой гипотезы.

Первой и наиболее характерной чертой современной науки является то, что она становится непосредственной производительной силой. Это значит, что технический прогресс непосредственно опирается на развитие науки. Даже техническое проектирование стало отраслью научного труда (почти всегда при проектировании решаются новые научные проблемы). Конечно, не вся наука «работает» исключительно на технику. В общем объеме науки значительное место занимают исследования, решающие «собственные» проблемы науки. И все же можно говорить об индустриализации науки не только с точки зрения ее оснащения, но и с точки зрения ее связей с производством.

Вторая характерная черта современной науки – масштабность. На смену ученым-одиночкам, относительно свободным в выборе научной проблематики и сроков исследования, пришла масса людей, опирающаяся на мощную техническую базу, научная работа которых планируется и управляется.

Резкое ускорение темпов научно-технического прогресса – третья характерная черта современной науки. Оно приводит, во-первых, к развитию науки в направлении ее внутренней дифференциации, вызывающей, в свою очередь, узкую специализацию исследователей, и, во-вторых, к колоссальному увеличению объема накапливаемых знаний, что требует новых масштабов и форм систематизации передачи научной информации.

Наряду с процессом дробления и специализации в современной науке проявляется и противоположный процесс «стыковки» не только смежных, но и весьма далеких наук, например: экономики и математики, эксплуатации автомобильного транспорта и математической логики. Это четвертая характерная черта современной науки, которую можно назвать тесным взаимодействием наук. Особенно ярко это проявляется в глубоком проникновении математических методов в самые разные, не только точные, но и гуманитарные науки.

В последние годы в науке обнаруживается еще одна – пятая характерная черта системный подход к изучению объектов исследования. Это означает, что исследователь выявляет не только строение и свойства исследуемого объекта, но и старается понять способ связи его частей и подсистем, понять функции, выполняемые каждым элементом. При системном подходе исследуемый объект рассматривается как сложное целое, обладающее свойствами сохранять устойчивость и качественную определенность в различных условиях его существования.

1.2 Классификация научных исследований

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

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:

1. 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.

2. По целевому назначению выделяют три вида научных исследований:

фундаментальные;

прикладные 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 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 работы,
научно-исследовательские работы (НИР)
опытно-конструкторские работы (ОКР).

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.

Разработки

В результате фундаментальных и прикладных исследований формируется новая научная и научно-техническая информация, ненаправленный 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.

3. В зависимости от источника финансирования научные исследования делят на:
госбюджетные;
хоздоговорные.

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.

1.3 Научное направление

Каждую научно-исследовательскую работу можно отнести к определенному направлению.

Научное направление - 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, газо-турбостроение и т.д.).

Структурными единицами научного направления являются:

- комплексные проблемы;
- проблемы;
- темы;
- 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.

Специфические проблемы характерны для определенных производств той или иной промышленности. Так, в автомобильной промышленности такими проблемами являются экономия топлива и создание новых видов топлива, в технологии огнеупоров - создание технологии получения огнеупорных материалов и изделий с минимальными энергетическими затратами.

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.

Научные вопросы - 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 государственных директивных документах.

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 формулироваться идеи комплексного использования нескольких научных направлений для решения производственных задач.

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 информированности о научных работниках, 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 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 монополии 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 в данной и смежных специальностях. 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.

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.

2 МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Классификация методов научных исследований

Большинство методов научных исследований можно подразделить на теоретические и эмпирические.

К эмпирическим методам относят наблюдение и эксперимент.

Под наблюдением подразумевается сбор фактов реально происходящих явлений без существенного вмешательства исследователя в их ход. Примером классического наблюдения является ежедневный сбор данных о метеорологических условиях местности: температуре и влажности воздуха, направлении и силе ветра и т.п.

При эксперименте исследователь сознательно вмешивается в нормальное протекание процесса или явления и с помощью материальных средств (приборов, реактивов и др.) существенно изменяет или создает новые условия его протекания.

При наблюдении и эксперименте во многих случаях проводят счет и измерения.

К теоретическим методам научных исследований относят:

Абстракция – это метод научного исследования, основанный на отвлечении от несущественных сторон и признаков рассматриваемого объекта. Абстракция позволяет упростить технический объект или процесс, заменить его моделью, т.е. другим эквивалентным в определенном смысле объектом (исходя из условий задачи) и исследовать эту модель.

Различают три типа абстракции.

Изолирующая абстракция производится для вычленения и четкой фиксации исследуемого объекта по существенным признакам.

Обобщающая абстракция применяется для получения общей картины процесса или явления. Например, в результате обобщения свойств электрических, пневматических, гидравлических машин, жидкостных реактивных двигателей, двигателей внутреннего сгорания возникает такая обобщающая абстракция как преобразователь энергии. Работу парового двигателя, двигателя внутреннего сгорания, ракетного двигателя, холодильника можно рассматривать с единых позиций термодинамики как работу тепловой машины.

Идеализирующая абстракция заключается в замещении реального объекта идеализированной схемой для упрощения процесса его изучения. При идеализации объектов необходимо четко сформулировать принятые допущения.

Например, при расчете конструкции на прочность реальные шарнирные опоры заменяют идеальными, считая, что трение в опорах отсутствует. Следствием идеализации модели может стать превышение напряжений, действующих в реальной конструкции, над расчетными значениями. Поэтому в расчеты вводят коэффициенты безопасности.

Идеализирующая абстракция используется при мысленном конструировании понятий о несуществующих и, может быть, несуществующих объектах, но имеющих прообразы в реальном мире. Например, точка (в реальном мире нет объекта, не имеющего измерений), прямая, инерция, абсолютно черное тело и др. Созданные идеальные объекты находят определенное истолкование в терминах реальных объектов и их применение подтверждено практикой научно-технического развития.

Сравнение – это операция мышления, направленная на установление сходства или различия изучаемых объектов по каким-либо признакам. В основе операции лежит классификация сравниваемых понятий.

Операция сравнения может выполняться только для однородных объектов, входящих в определенный класс. Формирование такого класса объекта, а также определение состава существенных и отличительных признаков сравнения в ряде случаев представляет собой достаточно сложную интеллектуальную задачу.

Индукция (лат. *inductio* – наведение) – операция мышления, основанная на обобщении эмпирической информации об устойчивой повторяемости признаков ряда явлений. Индуктивные умозаключения позволяют от отдельных фактов перейти к общему знанию.

Индуктивные умозаключения в большей степени способствуют получению новых знаний. История науки показывает, что многие научные открытия в физике, химии, биологии сделаны на основе индуктивного обобщения эмпирических данных.

В зависимости от полноты и законченности эмпирического исследования различают полную и неполную индукцию. При полной индукции на основе повторяемости признаков у каждого явления (объекта), относящегося к определенному классу, заключают о принадлежности этого признака всему классу. Это возможно в тех случаях, когда исследователь имеет дело с замкнутыми классами, число элементов (объектов) в которых является конечными и легко обозримыми.

При неполной индукции на основе повторяемости признака у некоторых явлений, относящихся к определенному классу, заключают о наличии этого признака у всего класса явлений. При этом подразумевается, что сам класс сформирован по каким-либо другим признакам, а не тем, что анализируются.

Логический переход в неполной индукции от некоторых элементов ко всем элементам класса не является произвольным. Он оправдан устойчивыми эмпирическими основаниями. Однако, обобщение в этом случае носит вероятностный характер, и вывод может содержать ошибки. Например, большинство сталей и сплавов имеют положительный коэффициент термического расширения, причем значительно больший, чем у неметаллов. Но обобщающего вывода сделать нельзя, например, сплав инвар марки И-36, содержащий 36% Ni, при температуре от -50 до 100 °С имеет коэффициент линейного расширения, близкий к нулю.

Дедукция (лат. *deduction* – выведение) – операция мышления, заключающая в том, что на основании общего знания выводятся частные положения. Дедуктивные умозаключения обладают высокой степенью доказательности и убедительности.

Дедуктивные рассуждений (от известных общих закономерностей) могут приводить к эффективным частным решениям. Например, известно, что усталостное разрушение конструкции от внешних нагрузок происходит в результате зарождения трещин в

поверхностном слое. Трещины появляются в результате действия растягивающих напряжений. Отсюда вывод – если при изготовлении детали в поверхностном слое создать внутренние сжимающие напряжения, то можно повысить усталостную прочность конструкции.

Анализ (греч. analysis – разложение, расчленение) – процедура разложения объекта (предмета, явления, процесса) на составные части. Особую специфику представляет анализ технического объекта (ТО).

При анализе ТО можно выделить два подхода:

1. мысленное или реальное расчленение объекта на составные элементы. При этом выявляется структура объекта, т.е. состав элементов и отношения между ними, исследуются причинно-следственные связи между элементами.

Например, космический аппарат можно рассматривать как совокупность систем – системы двигательной установки, системы ориентации КА, управления научной аппаратурой, системы терморегулирования и др. Каждая система анализируется как автономный комплекс объектов определенного функционального назначения. Используя методы абстракции, можно описать элементы системы при помощи идеализированных моделей, определить оптимальные параметры каждой системы;

2. расчленение свойств и отношений объекта на составляющие свойства и отношения. При этом одни из них подвергаются дальнейшему анализу, а от других отвлекаются. Затем подвергаются анализу те свойства, от которых отвлекались. В результате понятия о свойствах и отношениях исследуемого объекта сводятся к более общим и простым понятиям. Изолирующая абстракция является частным случаем такого анализа.

Примером может служить анализ трубопроводной системы, с одной стороны, как объекта, обладающего определенным гидравлическим сопротивлением, а с другой – как объекта, который не должен разрушаться при действии на него различных нагрузок.

Синтез (греч. synthesis – соединение, сочетание, составление) – метод научного исследования какого-либо объекта, явления, состоящий в познании его как единого целого, в единстве и взаимной связи его частей.

Синтез, с одной стороны, является методом познания, с другой – это метод практической деятельности. Процессы проектирования, конструирования определяются как операции синтеза. При этом новый полученный объект имеет существенно другое качество, чем элементы его составляющие. Это не сумма элементов, это более сложное взаимодействие.

Синтез является приемом, противоположным анализу. Вместе с тем оба приема предполагают и дополняют друг друга. Без анализа нет синтеза, без синтеза – анализа.

Например, при разработке космического аппарата как комплекса систем, анализ каждой системы и оптимизация ее параметров сопровождается исследованием совместной работы всех систем с учетом их взаимодействия.

Обобщение – это операция мышления, заключающаяся в переходе от частного к общему, причем на более высокую степень абстракции. Индукция является частным случаем обобщения. Обобщение позволяет формулировать общие принципы и законы на основе исследования частных явлений.

По смысловому (познавательному) содержанию обобщения подразделяются на два вида:

1. обобщения, порождающие новые понятия, формулирующие законы, принципы, теории, которые не определяются исходным смысловым содержанием изучаемых явлений. Это обобщения, позволяющие выявить общую сущность по-разному воспринимаемых явлений. Например, обобщением понятий «радиоволны», «тепловые лучи», «свет», «гамма-излучение» является понятие «электромагнитные колебания, отличающиеся различной длиной волны»;

2. обобщения, позволяющие применить известные явления, принципы, закономерности, действующие в одной области знаний, в другой области.

Например, использование данных о форме тела рыб, дельфинов, китов в судостроении с целью создания судов с минимальным гидравлическим сопротивлением.

Аналогия является одним из способов логического перехода от известного к новому знанию, выдвижения предположений. Аналогия – это умозаключение о принадлежности объекту определенного признака (т.е. свойства или отношения) на основе сходства в существенных признаках с другим объектом.

В зависимости от характера связи между признаками различают строгую аналогию, дающую достоверное заключение, и нестрогую аналогию, дающую вероятностное заключение.

На принципах строгой аналогии построены доказательства в области математики.

При нестрогой аналогии зависимость между сходными и переносимыми признаками определена как необходимая с определенной степенью вероятности. Поэтому, обнаружив у другого объекта признаки сходства, можно лишь в вероятностной форме утверждать о наличии у него переносимого признака.

Условиями, повышающими степень вероятности выводов в нестрогой аналогии, является:

1. Сходство употребляемых объектов в значительном числе существенных признаков.
2. Отсутствие существенных различий между употребляемыми объектами.

3. Высокая вероятность знания о зависимости между сходными и переносимыми признаками.

При решении научных и инженерно-практических задач обращаются не только к известным законам и научным обобщениям, но и к ранее приобретенным знаниям о сходных единичных явлениях.

Аналогия используется не только для поиска конкретного инженерного решения, но и при выборе метода решения поставленной задачи.

Гипотеза – это форма развития человеческих знаний, представляющая собой обоснованное предположение, объясняющее свойства и причины исследуемых явлений.

Достоверному познанию явлений объективного мира всегда предшествует длительная работа по осмыслению эмпирического материала. Эта работа всегда сопровождается построением различного рода догадок, предположений относительно действительных причин наблюдаемых явлений, преодолением различного рода противоречий. Результатом этой работы является гипотеза, без которой невозможен переход от незнания к знанию, т.е. гипотеза – это форма развития знания (получения знания).

Новое знание первоначально всегда возникает в форме гипотезе, построение которой начинается с индуктивного обобщения эмпирического материала. При этом могут использоваться дедуктивные выводы, методы аналогий.

На основе обобщения выдвигаются предположения.

В отличие от предположений гипотеза должна быть состоятельной, т.е. удовлетворять определенным логико-методологическим требованиям. Она должна быть непротиворечивой (т.е. не противоречить всему исходному эмпирическому материалу), принципиально проверяемой, эмпирически и теоретически обоснованной (т.е. иметь достаточную предсказательную и объяснительную силу для отыскания новых фактов и их объяснения).

В зависимости от объекта исследования различают гипотезы общие и частные:

Общая гипотеза – это научно обоснованное предположение о закономерностях естественных и общественных явлений. Они выдвигаются для объяснения всего класса описываемых явлений. Будучи доказанными, они становятся научными теориями и являются ценным вкладом в развитие научных знаний.

Частная гипотеза – это научно обоснованное предположение о причинах, происхождении и закономерностях функционирования группы объектов, выделенных из класса рассматриваемых.

Гипотеза считается доказанной и переходит в разряд достоверных истин, во-первых, если предположение, составляющее содержание гипотезы, выводится, как следствие, из общего характера (т.е. доказывается методом дедукции), во-вторых, если путем наблюдения

существующих объектов и процессов или проведением специального эксперимента могут быть практически обнаружены новые факты, подтверждающие содержание гипотезы. В последнем случае гипотеза дает направление поиска этих фактов и позволяет правильно организовать проведение эксперимента.

Лекции Основы научных

2.2 Задачи и методы теоретического исследования исследований

Теория – это учение, система научных принципов, идей, обобщающих практический опыт и отражающих закономерности природы, общества, мышления. Это также совокупность обобщенных положений, образующих науку или раздел какой-либо науки.

Теоретические исследования ставят своей целью выделение в процессе синтеза знаний существенных связей между исследуемым объектом и окружающей средой, объяснение и обобщение результатов эмпирического исследования, выявление общих закономерностей и их формализацию.

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). Однако формирование теории не всегда связано с построением ее математического аппарата.

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).

Теоретические исследования включают анализ физической сущности процессов и явлений, формулирование гипотезы исследования, построение (разработку) физической модели, проведение математического исследования, анализ теоретических решений, формулирование окончательных выводов. Если не удастся выполнить математическое исследование, то рабочая гипотеза формулируется в словесной форме с привлечением графиков, таблиц и т. д.

Процесс проведения теоретических исследований состоит обычно из нескольких стадий.

Оперативная стадия включает проверку возможности устранения технического противоречия, оценку возможных изменений в среде, окружающей объект, а также анализ возможности переноса решения задачи из других отраслей знания, применения «обратного» решения (нельзя ли использовать решения задач, обратных данной, взяв их со знаком «минус») или использования «пробобразов» природы.

В процессе второй – синтетической – стадии исследования определяется влияние изменения одной части объекта на построение других его частей, устанавливается необходимость изменения других объектов, работающих совместно с данным, оценивается возможность применения измененного объекта или найденной технической идеи при решении других задач.

На следующей стадии – постановки задачи – определяется конечная цель решения задачи, проверяется возможность достижения той же цели более простыми средствами, выбирается наиболее эффективный путь решения и определяются требуемые количественные показатели.

Аналитическая стадия включает определение конечного результата, который желательно получить в самом идеальном случае, также выявляются препятствия, мешающие достижению идеала, и их причины, определяются условия, обеспечивающие получение идеального результата с целью найти, при каких условиях исчезнет «помеха».

При проведении теоретических исследований широко используются методы расчленения и объединения элементов исследуемой системы (объекта, явления).

Метод разделения 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 каждого структурного элемента. На завершающей стадии исследования элементы объединяются в сложную модель объекта.

Упрощения, которые вводятся на всех этапах построения модели объекта, сопровождаются определенными допущениями, которые должны быть осознанными и обоснованными. Неверные допущения могут приводить к серьезным ошибкам при формулировании теоретических выводов.

Метод объединения, противоположный методу расчленения, тесно связан с комплексным подходом к изучению объекта. Их объединение называют «общей теорией систем», или «системологией».

Общая теория систем (ОТС) возникла на основе изучения некоторых биологических объектов и явлений. Со временем в ее структуре выделились два направления. Цель первого – 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, которые дают возможность определения организации системы, исходя из характеристик взаимодействия с внешней средой, а характеристик взаимодействия, в свою очередь, исходя из организации системы.

Первый постулат утверждает, что функционирование систем любой природы может быть описано на основе рассмотрения структурно-функциональных связей между отдельными элементами систем. Второй постулат состоит в том, что организация системы может быть установлена на основе проведенных извне системы наблюдений за элементами, которые непосредственно взаимодействуют с ее окружением. Третий постулат гласит, что организация системы полностью определяет ее функционирование и характер взаимодействия с окружающей средой.

При разработке теорий наряду с вышеизложенными методами используются логические методы и правила, носящие нормативный характер. К их числу относятся правила вывода сложных понятий из простых, установления истинности сложных высказываний. Для построения теорий применяют 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 проникать в сущность природных явлений, создавать постоянно развивающуюся научную картину мира.

В технических науках необходимо стремиться к применению математической формализации выдвинутых гипотез и выводов. При решении практических задач математическими методами осуществляются математическая формулировка задачи (разработка математической модели), выбор метода исследования полученной модели, анализ полученного математического результата.

Математическая модель представляет собой систему математических соотношений – формул, функций, уравнений, систем уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса. Для моделирования могут быть использованы непрерывные или дискретные, детерминированные или вероятностные функции.

Анализ информационного массива позволяет установить непрерывность или дискретность исследуемого показателя и объекта в целом. В непрерывных процессах все сигналы представляют собой непрерывные функции времени. В дискретных – все сигналы квантуются по времени и амплитуде. Если сигналы квантуются только по времени, то есть представляются в виде импульсов с равной амплитудой, то такие объекты называют дискретно-непрерывными. Установление непрерывности объекта позволяет использовать для его моделирования дифференциальные уравнения. Одним из методов исследования дискретных процессов является теория автоматов.

Первым этапом математического моделирования является постановка задачи, определение объекта и целей исследования. 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 так: границы области охватывают те элементы, воздействие которых на исследуемый объект существенно; за этими границами действие исследуемого объекта на внешние объекты стремится к нулю. Это позволяет рассматривать моделируемую систему как замкнутую (то есть, с известной степенью приближения, независимую от внешней среды), что упрощает математическое исследование.

Следующим этапом является выбор типа математической модели. Обычно строится несколько моделей, на основе сравнения результатов исследования которых с реальностью устанавливается наилучшая. Если оказывается, что для формирования математической модели недостаточно исходных данных, то выполняется поисковый эксперимент, в ходе которого 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 (значением входного сигнала) и его реакцией на внешнее воздействие (значением выходного сигнала). Под выходной характеристикой системы понимается изменение выходного сигнала системы во времени. Если значения выходного и входного сигналов прямо пропорциональны, то моделирование объекта осуществляется с использованием линейных функций. Нелинейность статической характеристики и наличие

запаздывания в реагировании объекта на внешнее воздействие являются яркими признаками нелинейности. В этом случае для моделирования объекта должна быть принята нелинейная математическая модель.

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. 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.

Объект исследования можно считать стационарным, если в ходе ряда экспериментов установлено, что значение фиксируемого параметра в течение всего времени наблюдения не выходит за пределы отклонения, соответствующего ошибке измерения.

Первоначальные данные об исследуемом объекте либо результаты поискового эксперимента позволяют установить схему взаимодействия объекта с внешней средой по соотношению входных и выходных величин. Возможны четыре схемы взаимодействия:

– одномерно-одномерная схема (рисунок 2.1, а) – на объект воздействует только один фактор, а его влияние оценивается по одному показателю (один выходной сигнал); связь выходного сигнала y с входным x может быть описана функцией $y = f(x)$, в качестве которой чаще всего принимают полином;

– одномерно-многомерная схема (рисунок 2.1, б) – действие одного фактора оценивается несколькими показателями, при этом по аналогии с предыдущей схемой определяются отдельно математические модели входного воздействия с каждым выходным сигналом, которые считаются независимыми;

– многомерно-одномерная схема (рисунок 2.1, в) – на объект воздействует несколько факторов, а его поведение оценивается по одному показателю;

– многомерно-многомерная схема (рисунок 2.1, г) – на объект воздействует множество факторов и его поведение оценивается по множеству показателей, при этом математическая модель принимается аналогичной многомерно-одномерному взаимодействию, но учитываются как независимые действия на объект, так и особенности, появляющиеся в результате совместного воздействия факторов.

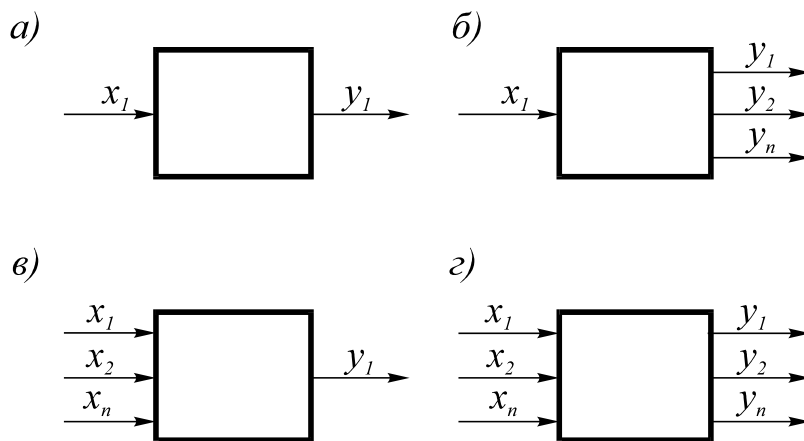


Рисунок 2.1 – Схемы моделей взаимодействия объекта с внешней средой

Если при использовании многомерно-одномерной и многомерно-многомерной схем для описания зависимости каждого выходного сигнала от входного применяется линейная математическая модель, то появляется возможность использования принципа суперпозиции. Он 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 образуется в результате суммирования ее реакции на каждый входной сигнал. В случае многомерно-одномерной схемы связь между выходным и входным сигналами описывается выражениями:

- при равнозначности внешних воздействий $y = a \sum x_n$;
- при неравнозначности внешних воздействий $y = \sum a_n x_n$,

где a_n – постоянный коэффициент.

Процесс выбора математической модели объекта заканчивается ее предварительным контролем. При этом осуществляются следующие виды контроля:

- контроль размерностей сводится к проверке выполнения правила, согласно которому приравниваться и складываться могут только величины одинаковой размерности;
- контроль порядков направлен на упрощение модели, он предполагает определение порядков складываемых величин и отбрасывание малозначительных слагаемых;
- контроль характера зависимостей предполагает проверку направления и скорости изменения одних величин при изменении других; явления, вытекающие из математической модели, должны соответствовать физическому смыслу задачи;
- контроль экстремальных ситуаций заключается в проверке наглядного смысла решения при приближении параметров модели к особым точкам, например, к нулю или

бесконечности;

– контроль граничных условий состоит в проверке правильности учета всех связей, наложенных на объекты математической модели, в том числе соответствия им граничных условий;

– контроль математической замкнутости сводится к проверке того, что математическая модель дает однозначное решение;

– контроль физического смысла предполагает анализ физического содержания промежуточных соотношений, используемых при построении математической модели;

– контроль устойчивости модели осуществляется путем варьирования исходных данных в рамках имеющейся информации о реальном объекте, причем оно не должно приводить к существенному изменению решения.

Цель и задачи, которые ставятся при математическом моделировании, играют немаловажную роль при выборе типа модели. Практические задачи требуют простого математического аппарата, а фундаментальные – более сложного, допускают прохождение иерархии математических моделей. В настоящее время при решении технических задач появляется необходимость в привлечении сложного математического аппарата, который сосредоточен в вычислительных программных комплексах инженерного анализа.

2.3 Методика проведения экспериментальных работ

Для проведения эксперимента любого типа необходимо провести ряд предварительных действий: разработать гипотезу, подлежащую проверке, создать программу 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 методики эксперимента. Методика – это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования. Она должна включать следующие составные элементы:

– проведение предварительного целенаправленного наблюдения над изучаемым объектом или явлением с целью определения исходных данных (гипотез, выбора варьируемых факторов);

– создание условий, при которых возможно экспериментирование (подбор объектов

для экспериментального воздействия, устранение влияния случайных факторов);

- определение пределов измерений;
- систематическое наблюдение за ходом развития изучаемого явления в процессе эксперимента и точные описания фактов;
- проведение систематической регистрации измеряемых величин 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.

Важным этапом подготовки к эксперименту является определение его целей и задач. Объем и трудоемкость исследований зависят от степени точности принятых средств измерений и глубины теоретических разработок. Чем четче сформулирована теоретическая часть исследования, тем меньше объем эксперимента. Количество задач для конкретного эксперимента не должно быть слишком большим (как правило 3 – 4, максимально до 10).

Чтобы перед экспериментом выбрать варьируемые факторы, то есть установить основные и второстепенные характеристики, влияющие на исследуемый процесс, необходимо проанализировать расчетные (теоретические) схемы процесса. При этом используется метод ранжирования. 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 не более трех. Если же переменных величин много, целесообразен принцип многофакторного анализа.

При регистрации величин в ходе одного и того же процесса повторные отсчеты на приборах, как правило, неодинаковы. Отклонения объясняются различными причинами – неоднородностью свойств изучаемого тела, погрешностью приборов, субъективными особенностями экспериментатора и др. Чем больше случайных факторов, влияющих на опыт, тем больше расхождения значений, получаемых при измерениях. Это ведет к необходимости повторных измерений. Установление потребного минимального количества измерений имеет большое значение, поскольку дает возможность получения наиболее объективных результатов при минимальных затратах времени и средств. Оно должно обеспечить устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности.

Чтобы обосновать набор средств измерений (приборов), экспериментатор должен быть хорошо знаком с выпускаемой в стране измерительной аппаратурой (при помощи регулярно издающихся каталогов, по которым можно заказать те или иные средства измерений). Естественно, что в первую очередь следует использовать стандартные, серийно выпускаемые машины и приборы, работа на которых регламентируется официальными документами. В отдельных случаях возникает потребность в создании уникальных приборов, установок, стендов, машин для разработки темы. Для этих целей желательно использовать готовые узлы выпускаемых приборов или реконструировать существующие. Причем целесообразность изготовления нового оборудования должна быть тщательно обоснована как теоретическими расчетами, так и практическими соображениями.

Важным разделом методики является выбор методов обработки и анализа экспериментальных данных. Обработка данных сводится к систематизации всех значений, классификации, анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи – таблицы, графики, формулы, позволяющие быстро сопоставлять и анализировать полученные результаты. Размерность всех параметров должна соответствовать единой системе физических величин. Особое внимание в методике должно быть уделено математическим методам обработки и анализу опытных данных, в том числе установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между варьируемыми характеристиками, установлению критериев и доверительных интервалов.

2.4 Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований

Ответственный момент при проведении любых экспериментов – установление точности измерений и погрешностей. Методы измерений должны базироваться на законах специальной науки метрологии – науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Основными компонентами метрологии являются:

- 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);
- методы и средства измерений;
- 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 проградированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствовать нормам).

2.4 Количественные измерения

При эмпирических методах исследования в большинстве случаев проводятся измерения. Измерение — это определение значения измеряемой величины путем сравнения ее с эталоном. Конечным результатом измерения являются единичные значения измеряемой величины (первичные данные).

Результаты измерений могут иметь качественный или количественный характер. Качественные значения обычно выражаются словами. Количественные значения — числами.

Пример. Вы измеряли свой рост. Результат измерения можно выразить качественным значением (средний, ниже среднего, выше среднего, низкий, нормальный, высокий и др.). В этом случае за эталон вы приняли рост какого-то человека. Можно представить результат измерения роста и количественным числовым значением, если за эталон вы выбрали какой-нибудь эталон меры (мм, см, м и др.).

Любой результат измерения имеет погрешность в силу влияния на него различных неизвестных или известных, но нерегулируемых факторов.

Поэтому результаты измерений относятся к случайным величинам.

2.4.1 Характеристика результатов измерений как случайных величин

Под случайной величиной понимают величину, принимающую значение, которое нельзя точно предсказать (классический пример — числовое значение, появляющееся на верхней грани игрового кубика). Случайная величина имеет набор допустимых значений, но в каждом конкретном случае принимает только одно значение из этого набора. Это значение может быть различным при попытке повторения из-за действия случайных (неизвестных или неконтролируемых) факторов. Набор допустимых значений недостаточен для полной характеристики случайной величины. Необходимо еще указывать вероятность (частоту появления) каждого конкретного значения из этого набора.

Наиболее полной характеристикой любой случайной величины (в том числе и результата измерения) является закон ее распределения. Закон распределения случайной величины — это соотношения между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностям. Закон распределения случайной величины может быть представлен графически, в виде таблицы и математической функции (интегральная или дифференциальная функция распределения), из которых можно определить вероятность (P)

появления конкретных значений случайной величины. Различают дискретные и непрерывные случайные величины. Примером случайной дискретной величины может быть число студентов, присутствующих на лекции (это число, которое может принимать только целочисленное значение, кратное единице). Примером непрерывной случайной величины является масса тела человека, которая может принимать любое значение.

Известно много функций распределения случайных величин. Наиболее часто для непрерывных величин встречаются экспоненциальное и нормальное распределение (распределение Гаусса). На нормальном распределении базируются распределения хи-квадрат (Пирсона), Стьюдента, Фишера и др.

Для дискретных величин может наблюдаться биномиальное распределение, распределение Пуассона и др.

Математические выражения функций распределения имеют достаточно сложный вид. На практике наиболее часто пользуются табличными и графическими формами функций распределения.

Знание закона распределения позволяет также рассчитать некоторые статистические параметры результата измерения как случайной величины используя методы математической статистики.

2.4.2 Погрешности измерений

Под погрешностью измерения будем понимать совокупность всех ошибок измерения.

Ошибки измерений можно классифицировать на следующие виды:

- абсолютные и относительные;
- положительные и отрицательные;
- постоянные и пропорциональные;
- грубые;
- случайные и систематические;
- прочие.

Абсолютная ошибка единичного результата измерения (A_y) определяется как разность следующих величин:

$$A_y = y_i - u_{\text{ист}} \approx y_i - \bar{y},$$

где: y_i – единичный результат измерения; $u_{\text{ист}}$ – истинный результат измерения; \bar{y} – среднее арифметическое значение результата измерения.

Постоянной называется абсолютная ошибка, которая не зависит от значения измеряемой величины ($y \approx \bar{y}$).

Ошибка пропорциональная, если названная зависимость существует. Характер ошибки измерения (постоянная или пропорциональная) определяется после проведения специальных исследований.

Относительная ошибка единичного результата измерения (B_y) рассчитывается как отношение следующих величин:

$$B_y = \frac{y_i - y_{уст}}{y_{уст}} \approx \frac{y_i - \bar{y}}{\bar{y}} \approx \frac{A_y}{\bar{y}}$$

Из этой формулы следует, что величина относительной ошибки зависит не только от величины абсолютной ошибки, но и от значения измеряемой величины. При неизменности измеряемой величины (y) относительную ошибку измерения можно уменьшить только за счет снижения величины абсолютной ошибки (A_y). При постоянстве абсолютной ошибки измерения для уменьшения относительной ошибки измерения можно использовать прием увеличения значения измеряемой величины.

Знак ошибки (положительный или отрицательный) определяется разницей между единичным и полученным (средним арифметическим) результатом измерения:

$$y_i - \bar{y} > 0 \text{ (ошибка положительная);}$$

$$y_i - \bar{y} < 0 \text{ (ошибка отрицательная).}$$

Грубая ошибка измерения (промах) возникает при нарушении методики измерения. Результат измерения, содержащий грубую ошибку, обычно значительно отличается по величине от других результатов. Наличие грубых ошибок измерения в выборке устанавливается только методами математической статистики (при числе повторений измерения $n > 2$).

К случайным ошибкам относят ошибки, которые не имеют постоянной величины и знака. Такие ошибки возникают под действием следующих факторов: не известных исследователю; известных, но нерегулируемых; постоянно изменяющихся.

Случайные ошибки можно оценить только после проведения измерений.

Количественной оценкой модуля величины случайной ошибки измерения могут являться следующие параметры: выборочная дисперсия единичных значений и среднего значения; выборочные абсолютные стандартные отклонения единичных значений и среднего

значения; выборочные относительные стандартные отклонения единичных значений и среднего значения; генеральная дисперсия единичных значений.

Случайные ошибки измерения невозможно исключить, их можно только уменьшить. Один из основных способов уменьшения величины случайной ошибки измерения – это увеличение числа (объема выборки) единичных измерений (увеличение величины n). Объясняется это тем, что величина случайных ошибок обратно пропорциональна величине n . Систематические ошибки – это ошибки с неизменной величиной и знаком или изменяющиеся по известному закону. Эти ошибки вызываются постоянными факторами. Систематические ошибки можно количественно оценивать, уменьшать и даже исключать.

Систематические ошибки классифицируют на ошибки I, II и III типов.

К систематическим ошибкам I типа относят ошибки известного происхождения, которые могут быть до проведения измерения оценены путем расчета. Эти ошибки можно исключить, вводя их в результат измерения в виде поправок. Примером ошибки такого типа является ошибка при титрометрическом определении объемной концентрации раствора, если титрант был приготовлен при одной температуре, а измерение концентрации проводилось при другой. Зная зависимость плотности титранта от температуры, можно до проведения измерения рассчитать изменение объемной концентрации титранта, связанное с изменением его температуры, и эту разницу учесть в виде поправки в результате измерения.

Систематические ошибки II типа – это ошибки известного происхождения, которые можно оценить только в ходе эксперимента или в результате проведения специальных исследований. К этому типу ошибок относят инструментальные (приборные), реактивные, эталонные и др. ошибки. Любой прибор при его применении в процедуре измерения вносит в результат измерения свои приборные ошибки. При этом часть этих ошибок случайная, а другая часть – систематическая. Случайные ошибки приборов отдельно не оценивают, их оценивают в общей совокупности со всеми другими случайными ошибками измерения. Каждый экземпляр любого прибора имеет свою персональную систематическую ошибку. Для того чтобы оценить эту ошибку, необходимо проводить специальные исследования.

Наиболее надежный способ оценки приборной систематической ошибки II типа – это сверка работы приборов по эталонам. Для мерной посуды (пипетка, бюретка, цилиндры и др.) проводят специальную процедуру – калибровку.

На практике наиболее часто требуется не оценить, а уменьшить или исключить систематическую ошибку II типа.

К ошибкам III типа относят ошибки неизвестного происхождения.

Эти ошибки можно обнаружить только после устранения всех систематических ошибок I и II типов.

К прочим ошибкам отнесут все другие виды ошибок, не рассмотренные выше (допускаемые, возможные предельные ошибки и др.).

Понятие возможных предельных ошибок применяется в случаях использования средств измерения и предполагает максимально возможную по величине инструментальную ошибку измерения (реальное же значение ошибки может быть меньше величины возможной предельной ошибки).

При использовании средств измерения можно рассчитать возможную предельную абсолютную ($\Pi_{y, пр.}$) или относительную ($E_{y, пр.}$) погрешность измерения. Так, например, возможная предельная абсолютная погрешность измерения находится как сумма возможных предельных случайных ($\xi_{y, случ, пр.}$) и неисключенных систематических ($\xi_{y, пр.}$) ошибок:

$$\Pi_{y, пр.} = \xi_{y, случ, пр.} + \sigma_{y, пр.}$$

При выборках малого объема ($n \leq 20$) неизвестной генеральной совокупности, подчиняющейся нормальному закону распределения, случайные возможные предельные ошибки измерений можно оценить следующим образом:

$$\xi_{y, случ, пр.} = \Delta_{y, пр.} = S_{y, пр.} |t_{P, n}|,$$

где: $\Delta_{y, пр.}$ – доверительный интервал для соответствующей вероятности P ;

$t_{P, n}$ – квантиль распределения Стьюдента для вероятности P и выборки объемом n или при числе степеней свободы $f = n - 1$ (число элементов свободного разнообразия).

Абсолютная возможная предельная погрешность измерения в этом случае будет равна:

$$\Pi_{y, пр.} = S_{y, пр.} |t_{P, n}| + \sigma_{y, пр.}$$

Если результаты измерений не подчиняются нормальному закону распределения, то оценка погрешностей проводится по другим формулам.

Определение величины $\sigma_{y, пр.}$ зависит от наличия у средства измерения класса точности. Если средство измерения не имеет класса точности, то за величину $\sigma_{y, пр.}$ можно принять минимальную цену деления шкалы (или ее половину) средства измерения. Для средства измерения с известным классом точности за величину $\sigma_{y, пр.}$ можно принять абсолютную допускаемую систематическую ошибку средства измерения ($\sigma_{y, доп.}$):

$$\sigma_{y, пр.} \approx |\sigma_{y, доп.}|$$

Величина $\sigma_{y, \text{доп}}$ рассчитывается исходя из формул, приведенных в табл. 2.1.

Для многих средств измерения класс точности указывается в виде чисел $a \cdot 10^n$, где a равно 1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6 и n равно 1; 0; -1; -2 и т.д., которые показывают величину возможной предельной допускаемой систематической ошибки ($E_{y, \text{доп.}}$) и специальных знаков, свидетельствующих о ее типе (относительная, приведенная, постоянная, пропорциональная).

Если известны составляющие абсолютной систематической ошибки среднего арифметического результата измерения (например, приборная ошибка, ошибка метода и др.), то ее можно оценить по формуле:

$$\sigma_{y, \text{np}} = k \sqrt{\sum_{j=1}^n (\sigma_{y, \text{np}}^j)^2},$$

где m – число составляющих систематическую ошибку среднего результата измерения;

k – коэффициент, определяемый вероятностью P и числом m ;

$\sigma_{y, \text{пр}}^j$ – абсолютная систематическая ошибка отдельной составляющей.

Отдельными составляющими погрешности можно пренебрегать при выполнении соответствующих условий.

Систематическими ошибками можно пренебрегать, если выполняется неравенство

$$\frac{\sigma_{y, \text{np}}}{S_y} < 0.8$$

где, S_y – выборочное среднее квадратическое (абсолютное стандартное) отклонение среднего арифметического результата измерения.

В этом случае принимают

$$P_{y, \text{пр}} \approx \xi_{y, \text{случ, пр}} \approx \Delta_y = S_y |t_{P, n}|,$$

Случайными ошибками можно пренебречь при условии

$$\frac{\sigma_{y, \text{np}}}{S_y} > 0.8$$

Для этого случая $P_{y, \text{пр}} \approx \xi_{y, \text{пр}}$

Таблица 2.1 - Примеры обозначения классов точности средств измерения

Обозначение класса точности		Формула расчёта и значение предельной допускаемой систематической ошибки	Характеристика систематической ошибки
В документации	на средстве измерения		
1,5	1,5	$E_{y,\text{дон}} = \pm \left(\frac{\sigma_{y,\text{дон}}}{y_n} \right) \cdot 100\% = \pm 1,5$	Приведена допускаемая систематическая ошибка в процентах от номинального значения измеряемой величины, которая определяется типом шкалы средства измерения
1	$\frac{1}{\sqrt{A}}$	$E_{y,\text{дон}} = \pm \left(\frac{\sigma_{y,\text{дон}}}{A} \right) \cdot 100\% = \pm 1$	Приведена допускаемая систематическая ошибка в процентах от длины использованной шкалы средства измерения (A) при получении единичных значениях измеряемой величины
0,5	0,5	$E_{y,\text{дон}} = \pm \left(\frac{\sigma_{y,\text{дон}}}{y_i} \right) \cdot 100\% = \pm 0,5$	По стоянна относительная допускаемая систематическая ошибка в процентах от полученного единичного значения измеряемой величины
0,02/ 0,01	0,05/ 0,01	$E_{y,\text{дон}} = \pm \left(\frac{\sigma_{y,\text{дон}}}{y_i} \right) \cdot 100\% = \pm \left[c + d \cdot \left(\frac{y_k}{y_i} \right) - 1 \right];$ c = 0,02; d = 0,01	Пропорциональная относительная допускаемая систематическая ошибка в долях от полученного единичного значения измеряемой величины, которая возрастает при увеличении конечного значения диапазона измерения (y_k) ли уменьшении единичного значения измеряемой величины (y_i)

Чтобы общая погрешность измерения определялась только систематическими ошибками, увеличивают число повторных измерений. Минимально необходимое для этого число повторных измерений (n_{min}) можно рассчитать только при известном значении генеральной совокупности единичных результатов по формуле:

$$n_{\min} = 64 \frac{\sigma_y^2}{(\sigma_{y, \text{нр}})^2}$$

Оценка погрешностей измерения зависит не только от условий измерения, но и от типа измерения (прямое или косвенное).

Деление измерений на прямые и косвенные достаточно условно. Под прямыми измерениями понимают измерения значения которых берут непосредственно из опытных данных, например, считывают со шкалы прибора (широко известный пример прямого измерения – измерение температуры термометром). К косвенным измерениям относят такие, результат которых получают на основании известной зависимости между искомой величиной и величинами, определяемыми в результате прямых измерений. При этом результат косвенного измерения получают расчетным путем как значение функции φ , аргументами которой являются результаты прямых измерений ($x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_k$).

Необходимо знать, что ошибки косвенных измерений всегда больше, чем ошибки отдельных прямых измерений.

Ошибки косвенных измерений оцениваются по соответствующим законам накопления ошибок (при $k \geq 2$).

Ошибки и погрешности измерений определяют их точность, воспроизводимость и правильность.

Точность тем выше, чем меньше величина погрешности измерения.

Воспроизводимость результатов измерений улучшается при уменьшении случайных ошибок измерений.

Правильность результата измерений увеличивается с уменьшением остаточных систематических ошибок измерений.

Современные формы представления конечных результатов измерений обязательно требуют приведения ошибок или погрешностей измерения (вторичных данных). При этом погрешности и ошибки измерений должны представляться числами, которые содержат не более двух значащих цифр.

2.4.3 Формы представления конечных результатов измерений

Для представления количественных результатов измерений (при неизвестных параметрах генеральной совокупности) можно использовать следующие формы:

форма 1 – при одном единичном значении результата измерений ($n = 1$):

$$y = y_1 \pm \delta_{y, \text{пр.}}$$

форма 2 – при наличии нескольких единичных результатов измерений ($n \geq 2$) и отсутствии сведений о функции их распределения:

Лекции Основы научных исследований

$$y = \bar{y}; S_y; n; \delta_{y, \text{пр.}}$$

форма 3 – при наличии нескольких единичных результатов измерений ($n \geq 2$) и знании функции их распределения:

а) $y = \bar{y} \pm \Pi_y$; P (при симметричной погрешности);

б) $y = \bar{y}$; Π_y от $\Pi_{y,н}$ до $\Pi_{y,в}$; P (для несимметричной погрешности, где Π_y – общая абсолютная погрешность; $\Pi_{y,н}$ – нижняя граница общей абсолютной погрешности, а $\Pi_{y,в}$ – верхняя граница общей абсолютной погрешности).

При окончательном представлении фактического результата измерения число значащих цифр и разрядов после десятичной запятой должно быть скорректировано исходя из точности математических вычислений и погрешности измерения.

Пример. При трехкратном взвешивании образца на аналитических весах (класс точности 0,01) были считаны с табло весов следующие единичные результаты измерения массы образца (неисправленные результаты единичных измерений, m'_i): 1,2356; 1,2345; 1,2348 г. Результаты метрологической поверки весов свидетельствуют об их отрицательной постоянной абсолютной систематической ошибке λ_m , равной минус 0,0003 г.

Значения исправленных единичных результатов измерений (m_i) рассчитывают по формуле:

$$m = m' - \lambda_m$$

Тогда ряд исправленных единичных результатов измерения массы образца будет иметь вид: 1,2359; 1,2348; 1,2351 г.

Первоначально проведем поиск грубых ошибок измерения (промахов).

Так как для данной выборки n равен 3 ($n < 8$), то для обнаружения промахов используем Q -критерий. Единичные результаты измерений представим в виде нового ряда с возрастающими величинами массы образца: 1,2348; 1,2351; 1,2359 г. Проверим на промахи крайние члены этого нового ряда, которые кажутся сомнительными:

Для крайних членов ряда, m_1 и m_3 , определим соответствующие им расчетные значения Q_1 и Q_3 по формуле:

$$Q_d = \frac{|m_n - m_{n-1}|}{R},$$

где Q_d – расчетные значения, m_n – проверяемый результат, m_{n-1} – результат соседний в ряду с проверяемым, R – размах выборки, равный модулю разности крайних членов числового ряда.

Вычисленные значения Q_1 и Q_3 будут равны:

$$Q_1 = \frac{|m_1 - m_2|}{|m_1 - m_3|} = \frac{|1,2348 - 1,2351|}{|1,2348 - 1,2359|} = 0,27273 \approx 0,27$$

$$Q_{31} = \frac{|m_3 - m_2|}{|m_1 - m_3|} = \frac{|1,2359 - 1,2351|}{|1,2348 - 1,2359|} = 0,72727 \approx 0,73$$

В литературных данных табличное значение Q-критерия ($Q_T = 0,94$) (табл. 2.2) для объема выборки $n = 3$ и вероятности $P = 0,95$ (принимается наиболее часто задаваемое значение вероятности в химии и химической технологии) по следующим табличным данным:

Таблица 2.2 - Табличные значения Q-критерия

Объем выборки n	Значения критерия Q для доверительной вероятности P		
	0,90	0,95	0,99
3	0,89	0,94	0,99
4	0,68	0,77	0,89
5	0,56	0,64	0,76
6	0,48	0,56	0,70
7	0,43	0,51	0,68
8	0,40	0,48	0,64

Так как в обоих случаях $Q_T (0,94) > Q_P$, то проверяемые результаты не являются грубыми ошибками измерения, поэтому оставляем их в выборке для дальнейшей статистической обработки.

Учитывая, что для непредставительных выборок ($n < 10$) не рекомендуется проверять их подчинение законам распределения, делаем допущение о соответствии единичных результатов измерения массы образца нормальному закону распределения. Так как истинный

закон распределения результатов измерений неизвестен, то выполним следующие расчеты с учетом точности математических вычислений со случайными числами и правил округления.

Определим среднее арифметическое значение массы образца (\bar{m}):

Лекции Основы научных исследований

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} = \frac{1,2359 + 1,2348 + 1,2351}{3} = 1,23526 \approx 1,2353 \text{ г.}$$

Рассчитаем выборочное абсолютное стандартное отклонение среднего арифметического значения (\bar{m}), оценивающее случайную ошибку измерения:

$$S_m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1} = \frac{(1,2359 - 1,2353)^2 + (1,2348 - 1,2353)^2 + (1,2351 - 1,2353)^2}{3-1} = 3,2500 \cdot 10^{-7} (\text{г})^2$$

$$S_m = \sqrt{S_m^2} = \sqrt{32,50 \cdot 10^{-8}} = 5,7009 \cdot 10^{-4} \text{ г.};$$

Лекции Основы научных исследований

$$S_{\bar{m}} = \frac{S_m}{\sqrt{n}} = \frac{5,7009 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 3,2914 \cdot 10^{-4} \text{ г.}$$

Делаем допущение, что систематические ошибки весов превосходят прочие систематические ошибки, которыми можно пренебречь. По классу точности весов рассчитаем возможные предельные относительную ($E_{\bar{m}, \text{сист., пр.}}$) и абсолютную ($\delta_{\bar{m}, \text{пр}}$) систематические ошибки измерений по допускаемым систематическим ошибкам прибора.

Исходя из величины (0,01) и обозначения (замкнутый контур) класса точности весов, допускаемая относительная систематическая ошибка весов равна 0,01%, а формула для расчета допускаемой абсолютной систематической ошибки среднего арифметического значения будет выглядеть следующим образом:

Лекции Основы научных исследований

$$E_{\bar{m}, \text{доп}} = \pm \left(\frac{\sigma_{\bar{m}, \text{доп}}}{\bar{y}} \right) \cdot 100\% = \pm 0,01\%$$

Тогда возможные предельные систематические ошибки среднего арифметического значения будут равны:

$$E_{\bar{m}, \text{сист., пр.}} = E_{\bar{m}, \text{доп}} / 100 = 0,01 / 100 = 0,0001$$

$$\sigma_{\bar{m}, \text{пр}} = \sigma_{\bar{m}, \text{доп}} = \frac{E_{\bar{m}, \text{доп}} \cdot \bar{y}}{100} = \frac{0,01 \cdot 1,2353}{100} = 1,2353 \cdot 10^{-4} \text{ г}$$

Рассчитаем возможную предельную общую погрешность среднего арифметического значения ($\Pi_{\bar{m}, \text{пр.}}$) по формуле:

$$\Pi_{\bar{m}, \text{пр.}} = \sigma_{\bar{m}, \text{пр.}} + |t_{p, n}| \cdot S_{\bar{m}}$$

где $t_{p, n}$ – квантиль распределения Стьюдента для вероятности P при объеме выборки n .

Из литературы для вероятности $P = 0,95$ при объеме выборки $n = 3$ (число степеней свободы $f = n - 1 = 2$) квантиль распределения Стьюдента: $t_{p, n} = 4,3$.

Тогда:

$\Pi_{\bar{m}, \text{пр.}} = 1,2353 \cdot 10^{-4} + 4,3 \cdot 3,291 \cdot 10^{-4} = 1,538832 \cdot 10^{-3} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ (так как в погрешности оставляем только первую значащую цифру с учетом округления).

Средний арифметический результат измерения скорректируем по первой значащей цифре возможной предельной общей погрешности измерения, то есть до третьего знака после запятой:

$$\bar{m} = 1,2353 \approx 1,235 \text{ г}$$

Таким образом, при применении принципа приведения одной первой значащей цифры в погрешности и ошибках измерения, окончательный результат измерения массы образца будет выглядеть следующим образом:

$$m = 1,235 \text{ г}; \quad S_{\bar{m}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ г}; \quad n = 3; \quad \sigma_{\bar{m}, \text{пр.}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ г}.$$

При применении принципа приведения двух первых значащих цифр в погрешности и ошибках измерения окончательный результат измерения массы образца будет следующим:

$$m = 1,2353 \text{ г}; \quad S_{\bar{m}} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ г}; \quad n = 3; \quad \sigma_{\bar{m}, \text{пр.}} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ г}.$$

2.4.4 Примеры статистической оценки результатов наблюдений и экспериментов

Сравнение двух дисперсий

При обработке результатов наблюдений и измерений часто возникает необходимость сравнения выборочных дисперсий единичных значений двух выборок S_1^2 и S_2^2 с объемами n_1 и n_2 , соответственно. Основная статистическая гипотеза, которая при этом проверяется, –

можно ли считать сравниваемые дисперсии равными друг другу (однородными). Если сравниваемые дисперсии однородны, то можно делать вывод о равенстве случайных ошибок в двух выборках или об одинаковой воспроизводимости измерений в них. Метод сравнения двух дисперсий используется для сопоставления случайных ошибок двух методов измерения, средств измерения, исследователей, лабораторий.

Рассмотрим две выборки:

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_{n1}$;

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_i, \dots, b_{n2}$.

Выборочные дисперсии единичных значений для них рассчитываются по формулам:

$$S_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (a_i - \bar{a})^2}{n_1 - 1}; \quad S_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (b_i - \bar{b})^2}{n_2 - 1}$$

Данные дисперсии определяются со степенями свободы f , которые являются знаменателями в формулах для расчета соответствующих дисперсий.

$$f_a = n_1 - 1 \text{ и } f_b = n_2 - 1.$$

Для статистической проверки равенства двух дисперсий выбирают максимальную S_{\max}^2 и минимальную S_{\min}^2 по величине дисперсию и рассчитывают F-соотношение (F_p) по следующей формуле:

$$F_p = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2}$$

Затем по распределению Фишера в зависимости от значений F_p , степеней свободы f_a и f_b рассчитывают соответствующую им доверительную вероятность P вывода о равенстве дисперсий, либо для заданной вероятности определяют значение критерия Фишера (F_T). При использовании табличной формы распределения Фишера в качестве f_1 используют степень свободы максимальной по величине дисперсии, а в качестве f_2 – степень свободы минимальной дисперсии.

Если рассчитанное значение F_p превосходит определенное F_T ($F_p > F_T$), то с доверительной вероятностью можно считать дисперсии различными (неоднородными). В противном случае ($F_p \leq F_T$) для заданной доверительной вероятности можно предположить, что дисперсии равны (однородны).

Пример. Для изучения воспроизводимости работы рН-метра в кислой и щелочной областях проведены измерения рН в шести порциях буферного раствора I (x) и пяти порциях буферного раствора II (y) и получены следующие результаты табл.2.3:

Таблица 2.3 – Результаты измерений

Номер раствора	Значение рН раствора в порции					
	1	2	3	4	5	6
I	3,82	3,86	3,83	3,80	3,81	3,86
II	9,18	9,13	9,15	9,18	9,16	

Можно ли считать случайные ошибки при работе рН-метра в кислой и щелочной средах одинаковыми?

Для ответа на этот вопрос рассчитаем выборочные дисперсии единичных значений рН для двух растворов:

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2}{6-1} = 0,00064 ; \quad S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 (y_i - \bar{y})^2}{5-1} = 0,00045$$

Составим F-отношение максимальной дисперсии к минимальной:

$$F_p = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} = \frac{S_x^2}{S_y^2} = \frac{0,00064}{0,00045} \approx 1,42$$

В литературы выбираем значение квантиля распределения Фишера (F_T) для $f_1 = f_x = 6-1$, $f_2 = f_y = 5-1$ и $P = 0,95$. При вероятности 0,95 (соответствующий ей уровень значимости $\alpha = 1-P = 1-0,95 = 0,05$) для $f_1 = 5$ и $f_2 = 4$ квантиль распределения Фишера имеет значение $F_T = 6,3$. Так как $F_p < F_T$ ($1,42 < 6,3$), то следует считать сравниваемые дисперсии равными, то есть случайные ошибки одинаковыми при работе рН-метра в кислой и щелочной средах, а результаты измерений воспроизводимыми.

Сравнение нескольких дисперсий выборок одинакового объема

Задача сравнения нескольких дисперсий наиболее часто возникает при оценке равенства случайных ошибок в нескольких опытах, у нескольких исследователей или лабораторий.

Пусть имеется n независимых нормально распределенных выборок с объемами $m_1, m_2, m_3, \dots, m_j, \dots, m_n$ и соответствующими им дисперсиями $S_1^2, S_2^2, \dots, S_j^2, \dots, S_n^2$.

Если объемы выборок одинаковы $m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_j = m_n = m$, то для сравнения дисперсий можно использовать критерий Кохрена G . С этой целью сначала вычисляют расчетное значение G_p .

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{j=1}^n S_j^2}$$

S_{\max}^2 – максимальная дисперсия.

Затем по распределению Кохрена в зависимости от значений G_p числа сравниваемых дисперсий n и степени свободы $f = m - 1$ рассчитывают соответствующую им доверительную вероятность P вывода о равенстве дисперсий либо для заданной вероятности и величины f по табличным данным определяют значение критерия Кохрена (G_T). Если рассчитанное значение G_p превосходит определенное G_T ($G_p > G_T$), то с доверительной вероятностью можно считать дисперсии различными (неоднородными). В противном случае ($G_p \leq G_T$) для заданной доверительной вероятности можно предположить, что дисперсии равны (однородны).

Сравнение двух средних

Для сравнения между собой средних арифметических значений (средних) двух нормально распределенных выборок с однородными дисперсиями можно использовать распределение Стьюдента. Сравнение средних – это довольно часто возникающая необходимость при арбитраже результатов измерений (например, при спорах о показателях продукции между производителем и потребителем) для подтверждения достоверности выводов об изменении свойств объекта.

Для статистической проверки равенства двух средних (например a и b из вышеприведенных выборок a_i и b_i) рассчитаем параметр t^* по следующим формулам:

$$t^* = \frac{|\bar{a} - \bar{b}|}{S_{ab} \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}}; \quad S_{ab} = \sqrt{\frac{S_a^2 \cdot (n_1 - 1) + S_b^2 \cdot (n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Затем по распределению Стьюдента в зависимости от значений t^* и степени свободы $f^* = n_1 + n_2 - 2$ рассчитывают доверительную вероятность P вывода о равенстве средних,

либо для заданной вероятности определяют значение критерия Стьюдента (t_T). При использовании табличной формы распределения Стьюдента в качестве f используют степень свободы f^* .

Если рассчитанное значение t^* превосходит определенное t_T ($t^* > t_T$), то с доверительной вероятностью можно считать средние различными. В противном случае ($t^* \leq t_T$) для заданной доверительной вероятности можно предположить, что средние равны.

Пример. Два аналитика (А и В), проводя анализ сплава на содержание бериллия одинаковым методом, получили следующие результаты табл. 2.4:

Таблица 2.4 – Результаты анализа

Аналитики	Статистические параметры измерений		
	Число параллельных анализов, n	Средний результат, \bar{x} , %	Выборочное абсолютное стандартное отклонение единичных значений, S_x , %
А	4	7,44	0,11
Б	5	7,32	0,13

Есть ли расхождение средних результатов у двух аналитиков для доверительной вероятности $P=0,95$?

Из-за небольшого объема выборок n_a и n_b не будем определять закон их распределения, а сделаем допущение, что они подчиняются нормальному закону распределения. Для проверки однородности дисперсий в этих выборках определим следующие параметры:

$$F_p = \frac{S_b^2}{S_a^2} = \frac{(0,13)^2}{(0,11)^2} \approx 1,4; \quad F_{T(P=0,95; n_1=4; n_2=3)} = 9,1$$

Так как $F_p < F_T$ ($1,4 < 9,1$), то следует считать сравниваемые дисперсии однородными и поэтому можно рассчитать значение выборочного средневзвешенного абсолютного стандартного отклонения S_{ab} :

$$S_{ab} = \sqrt{\frac{S_a^2 \cdot (n_a - 1) + S_b^2 \cdot (n_b - 1)}{n_a + n_b - 2}} = \sqrt{\frac{(0,11)^2 \cdot (4 - 1) + (0,13)^2 \cdot (5 - 1)}{4 + 5 - 2}} \approx 0,12\%$$

Вычислим параметр t^* :

$$t^* = \frac{|x_a - x_b|}{S_{ab} \sqrt{\frac{n_a + n_b}{n_a n_b}}} = \frac{0,12}{0,12} \sqrt{\frac{20}{9}} \approx 1,5$$

Лекции Основы научных исследований

Табличное значение квантиля распределения Стьюдента (t_T) для $f_{ab} = n_a + n_b - 2 = 7$ и заданной вероятности $P = 0,95$ ($\alpha = 0,05$), имеет значение $t_T = 2,37$. Так как $t^* < t_T$ ($1,5 < 2,37$), то средние результаты анализа сплава, полученные двумя аналитиками, следует считать одинаковыми.

2.4.5 Корреляционный анализ

Часто во многих исследованиях требуется изучить несколько признаков в их взаимной связи. Если вести такое исследование по отношению к двум признакам, то можно заметить, что изменчивость одного признака находится в некотором соответствии с изменчивостью другого. В некоторых случаях такая зависимость проявляется настолько сильно, что при изменении первого признака на определенную величину всегда изменяется и второй признак на определенную величину, поэтому каждому значению первого признака всегда соответствует совершенно определенное, единственное значение второго признака. Такие связи получили название функциональные.

Функциональные связи встречаются в физических и математических обобщениях. Например, площадь треугольника точно определяется его высотой и основанием, длина окружности — радиусом, скорость падения является функцией времени падения и ускорения силы тяжести, скорость протекания определенной химической реакции находится в зависимости от температуры.

Необходимо учесть, что в чистом виде функциональные связи встречаются только в идеальных условиях, когда предполагается, что никаких посторонних влияний нет. На практике это недостижимо. Никогда нельзя точно измерить фактически имеющийся радиус круга, причем вычисленная площадь никогда не равна в точности фактической, вследствие практической невозможности начертить точную окружность. Скорость падения реального тела в реальных условиях будет всегда различна при одних и тех же времени и ускорении силы тяжести. На практике всегда действуют посторонние для данной функциональной зависимости факторы, которые нарушают точность этой зависимости в разных случаях по-

разному. Пока такие нарушения остаются настолько незначительными, что их практически можно не учитывать, связь считается функциональной.

При изучении реальных объектов приходится иметь дело со связями другого рода. Реальный объект находится под действием бесконечно большого числа факторов, которые по-разному воздействуют на него, эта связь обычно проявляется особым образом. Тут каждому определенному значению первого признака соответствует не одно значение второго признака, а целое распределение этих значений при вполне определенных основных показателях этого частного распределения — средней величины и степени разнообразия. В этом случае, такая связь называется корреляционной связью или просто корреляцией.

Корреляцию классифицируют по форме и направлению, а измеряют степенью корреляции.

По форме корреляция может быть:

- 1) прямолинейной;
- 2) криволинейной.

По направлению:

- 1) прямо-направленная;
- 2) обратно-направленная.

Степень корреляции устанавливает силу связи между количественными и качественными признаками. Она измеряется следующими показателями:

- 1) коэффициентом корреляции r ;
- 2) корреляционным отношением;
- 3) тетракорическим и поликорическим показателями связи;
- 4) частным и множественным коэффициентами корреляции.

Изобразить корреляционную связь двух признаков можно тремя способами (рис. 2.2), а именно при помощи:

- 1) корреляционного ряда, состоящего из ряда пар значений признаков;
- 2) корреляционной решетки;
- 3) линии регрессии оси координат, для которой пропорциональны значениям признаков.

2.4.5.1 Коэффициент корреляции

Коэффициент корреляции измеряет степень и определяет направление прямолинейных связей.

Лекции Основы научных исследований

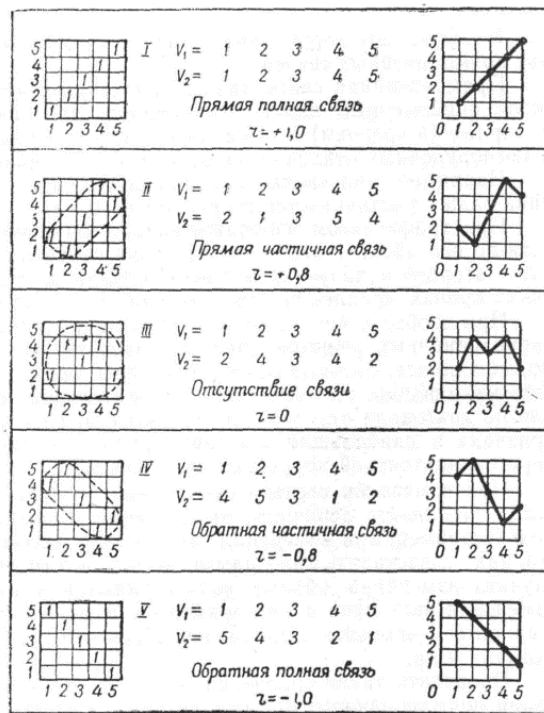


Рисунок 2.2 – Корреляционные связи

Лекции Основы научных исследований

Прямолинейная связь между признаками, это такая связь, при которой равномерным изменениям первого признака соответствуют равномерные (в среднем) изменения второго признака.

Например, при увеличении длины тела на каждый сантиметр, ширина также увеличивается в среднем на 0,7 см.

При графическом изображении прямолинейных связей получается линия, среднее течение которой проходит по прямой.

При измерении степени связи между разными признаками используют их нормированные отклонения, а коэффициент корреляции (r) имеет следующую формулу:

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n x_{1j} \cdot x_{2j}}{v}$$

Лекции Основы научных исследований

где $x_{ij} = \frac{V_{ij} - M}{\sigma_i}$ – j -е нормированное отклонение i -го признака ($i=1; 2$);

$$v - \text{число степеней свободы } v = n - 1; \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - M)^2}{v}};$$

Сумма произведений нормированных отклонений, входящая в формулу для коэффициента корреляции, обладает следующими тремя особыми свойствами:

1) Если оба признака изменяются параллельно, то сумма произведений их нормированных отклонений дает положительную величину. Если при увеличении одного признака другой уменьшается, то вся сумма будет отрицательной.

Поэтому коэффициент корреляции определяет направление связи: при прямых связях он положителен, а при обратных — отрицателен.

2) При полных связях, когда изменения обоих признаков строго соответствуют друг другу и корреляционная связь превращается в функциональную, сумма произведений нормированных отклонений становится равной числу степеней свободы:

$$\sum_{j=1}^n x_{1j} \cdot x_{2j} = \nu = n - 1$$

Поэтому максимальное значение коэффициента корреляции равно единице по абсолютной величине $|r_{\max}| = 1$:

для прямых связей: $r = +1$;

для обратных связей: $r = -1$.

3) При полном отсутствии корреляционной связи между признаками коэффициент корреляции равен нулю: $r_{\min} = 0$.

2.4.5.2 Ошибка коэффициента корреляции

Как и всякая выборочная величина, коэффициент корреляции имеет свою ошибку репрезентативности, вычисляемую для больших выборок ($n > 100$) по формуле:

$$m_r = \frac{1 - (\bar{r})^2}{\sqrt{n - 1}}$$

где \bar{r} — коэффициент корреляции в генеральной совокупности, из которой взята выборка; n — объём выборки, т.е. число пар значений, по которым вычислялся выборочный коэффициент корреляции.

В большинстве исследований значение коэффициента корреляции в генеральной совокупности \bar{r} неизвестно, поэтому вместо точного значения ошибки коэффициента корреляции берут приближенное значение для выборочного коэффициента корреляции r .

Пример. При исследовании 400 волокон нитевидных кристаллов найдено, что коэффициент корреляции между длиной и высотой нити $r=+0,85$. Определить, какова возможная величина коэффициента корреляции в генеральной совокупности.

Ошибка найденной величины:

$$m_r = \frac{1 - 0,85^2}{\sqrt{399}} = 0,014$$

Отсюда при $t_1=2,0$ генеральный коэффициент корреляции:

$$\bar{r} = r \pm t \cdot m_r = 0,85 \pm 2 \cdot 0,014$$

Для малых выборок ($n < 100$) необходимо пользоваться другой формулой ошибки выборочного коэффициента корреляции:

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}$$

Критерий достоверности коэффициента корреляции, определяемый по формуле:

$$t_r = \frac{r}{m_r} \geq t_{st}$$

оценивается путем сравнения фактически полученного значения t_r с фиксированными значениями t_{st} (стандартное значение критерия Стьюдента), которые соответствуют трем степеням вероятности безошибочных прогнозов. При этом для t_{st} степень свободы равна $v = n - 2$.

Если расчетное $t_r > t_{st}$, то коэффициент корреляции достоверен, и можно считать, что между исследуемыми признаками существует взаимосвязь.

Если $t_r < t_{st}$, то коэффициент корреляции недостоверен, и нельзя сделать вывод о взаимосвязи между исследуемыми признаками в выборке, а также в генеральной совокупности.

2.4.5.3 Частный коэффициент корреляции

В некоторых исследованиях требуется выяснить, не является ли связь между двумя признаками обусловленной влиянием какого-нибудь третьего признака. Например, при

изучении статистических связей между прочностью на сжатие керамики и средней температурой обжига имеет смысл учесть, влияние третьего признака — влажность сырца, который влияет на оба признака — и на прочность, и на среднюю температуру обжига. Для того чтобы выяснить в таких исследованиях, влияние третьего признака на корреляционную связь между первым и вторым признаком, необходимо исследовать эту связь при его постоянном значении.

При постоянном значении признака можно только констатировать, что в изменчивости других признаков нет его влияния: он постоянен, а другие признаки изменяются.

Коэффициент корреляции между первым и вторым признаками при постоянном значении третьего признака называется частным коэффициентом корреляции и обозначается символом $r_{12.3}$.

Для его расчета не всегда нужно проводить рассмотренный выше эксперимент. Если связь между парой признаков прямолинейна или отличается от прямолинейной незначительно, то величину частного коэффициента корреляции можно определить по обычным коэффициентам корреляции:

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13} \cdot r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2) \cdot (1 - r_{23}^2)}}, \text{ при } 3 = \text{const}$$

где: r_{12} – коэффициент корреляции между 1 и 2 признаком;

r_{13} – коэффициент корреляции между 1 и 3 признаком;

r_{23} – коэффициент корреляции между 2 и 3 признаком.

При совместном изучении трех признаков можно исключить влияние не только третьего, но также и первого или второго признака:

$$r_{13.2} = \frac{r_{13} - r_{12} \cdot r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{12}^2) \cdot (1 - r_{23}^2)}}, \text{ при } 2 = \text{const}$$

Иногда вычисление частного коэффициента корреляции дает результаты, кажущиеся на первый взгляд невероятными. Однако, при более внимательном анализе явления, уже не с математической, а со специальной точки зрения эти результаты становятся вполне понятными и легко объяснимыми.

Пример. При изучении зависимости веса древесины (3) от размеров дерева: обхвата (длина периметра сечения) на уровне груди (1) измеряющего и высоты (2) ствола — были получены следующие коэффициенты корреляции:

между обхватом (1) и высотой (2): $r_{12} = +0,5$;

между обхватом (1) и весом (3): $r_{13} = +0,9$;

между высотой (2) и весом (3): $+0,8$.

Частные коэффициенты корреляции каждого размера с весом при исключенном влиянии другого размера не вызывают никаких недоумений и указывают на большую частную корреляцию обхвата и высоты с весом древесины:

$$r_{13.2} = \frac{0,90 - 0,50 \cdot 0,80}{\sqrt{(1 - 0,25) \cdot (1 - 0,64)}} = +0,96$$

$$r_{23.1} = \frac{0,80 - 0,50 \cdot 0,90}{\sqrt{(1 - 0,25) \cdot (1 - 0,81)}} = +0,92$$

Частная корреляция между обоими размерами при исключенном влиянии веса, т. е. при его постоянном значении:

$$r_{12.3} = \frac{0,50 - 0,90 \cdot 0,80}{\sqrt{(1 - 0,81) \cdot (1 - 0,64)}} = -0,84$$

Оказалось, что между обхватом и высотой дерева получилась значительная отрицательная частная зависимость: при увеличении высоты, обхват дерева уменьшается. Это, казалось бы, явно противоречит обычным процессам развития деревьев: если увеличивается высота, то, конечно, увеличивается и обхват.

Объяснение этого мнимого противоречия заключается в основном условии частной корреляции — постоянстве исключаемого признака.

Если взять деревья одного и того же веса, то среди таких деревьев увеличение высоты может происходить только за счет уменьшения обхвата. Если бы увеличивались оба размера, то вес древесины не мог бы оставаться постоянным.

При корреляции 4-х признаков, расчет ведут по формуле:

$$r_{12.34} = \frac{r_{12.4} - r_{13.4} \cdot r_{23.4}}{\sqrt{(1 - r_{13.4}^2) \cdot (1 - r_{23.4}^2)}}$$

Множественный коэффициент корреляции показывает взаимосвязь между всеми изучаемыми признаками одновременно.

2.4.5.4 Ошибка частного коэффициента корреляции

Ошибка репрезентативности выборочного частного коэффициента корреляции рассчитывается по такой же формуле, как и в случае обычного коэффициента корреляции для малочисленных групп ($n < 100$):

$$m_{n_2} = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

При оценке критерия достоверности частного коэффициента корреляции, предельные значения показателя вероятности берутся для числа степеней свободы, которые соответствуют $v = n - 2 - k$, где k – число элиминированных признаков.

Объем выборки в данном случае равен числу пар значений (n), одинаковому для всех обычных коэффициентов корреляции, которые необходимы для расчета частного коэффициента корреляции.

2.4.5.5 Коэффициент прямолинейной регрессии

Как уже упоминалось, прямолинейная корреляция отличается тем, что при этой форме связи каждому из одинаковых изменений первого признака соответствует вполне определенное и тоже одинаковое в среднем изменение другого признака, связанного с первым или зависящего от первого.

Та величина, на которую в среднем изменяется второй признак, при изменении первого на единицу измерения, называется коэффициентом прямолинейной регрессии. Рассчитывается он по следующей формуле:

$$R = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot r_{12}$$

где R – коэффициент прямолинейной регрессии;

σ_2 – среднее квадратическое отклонение второго признака, который изменяется в связи с изменением первого;

σ_1 – среднее квадратическое отклонение первого признака, в связи с изменением которого изменяется второй признак;

r_{12} – коэффициент корреляции между первым и вторым признаками.

Ошибка коэффициента регрессии равна ошибке коэффициента корреляции, умноженной на отношение сигм:

$$m_R = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot m_r = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

Критерий достоверности коэффициента регрессии равен критерию достоверности коэффициента корреляции:

$$t_R = \frac{R}{m_R} = \frac{\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot r_{12}}{\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot m_r} = \frac{r}{m_r} = t_r$$

2.4.6 Планирование эксперимента. Полный факторный эксперимент

Планирование эксперимента - это оптимальное (наиболее эффективное) управление ходом эксперимента с целью получения максимально возможной информации на основе минимально допустимого количества опытных данных.

Под экспериментом будем понимать совокупность операций совершаемых над объектом исследования с целью получения информации об его свойствах. Эксперимент, в котором исследователь по своему усмотрению может изменять условия его проведения, называется активным экспериментом. В противном случае эксперимент является пассивным.

Перед проведением планирования активного эксперимента необходимо собрать дополнительную информацию об исследуемом объекте. Для получения дополнительной информации можно использовать результаты пассивного эксперимента, осуществлявшегося в предыдущих исследованиях или описанного в литературе. Планирование эксперимента позволяет варьировать все факторы и получать одновременно оценки их влияния. При этом удается избежать корреляции между коэффициентами уравнения регрессии. В случае статистического подхода математическая модель объекта или процесса представляется в виде полинома:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + \dots + B_nX_n + B_{12}X_1X_2 + \dots + B_{n-1}X_nX_{n-1} + B_{11}X_{12} + \dots + B_{nn}X_n2 + \dots$$

Разложение в степенной ряд функции возможно в том случае, если сама функция является непрерывной и гладкой. На практике обычно ограничиваются числом членов степенного ряда и аппроксимируют функцию полиномом некоторой степени.

Факторы могут иметь разные размерности (А, В, Вт, об/мин) и резко отличаться количественно. В теории планирования эксперимента используют кодирование факторов.

Эта операция заключается в выборе нового масштаба для кодированных факторов (рис. 2.2), причем такого, чтобы минимальное значение кодированных факторов соответствовало “-1”, а максимальное значение “+1”, а также в переносе начала координат в точку с координатами $X_{1cp}, X_{2cp}, \dots, X_{ncp}$

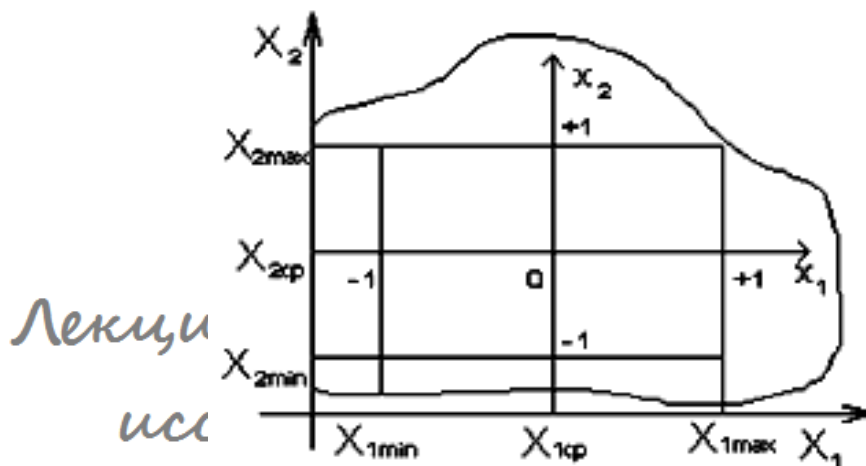


Рисунок 2.2 - Пространство кодированных факторов

$$X_{icp} = \frac{X_{imin} + X_{imax}}{2}$$

Текущее значение кодированного фактора

$$x_i = \frac{X_i - X_{icp}}{X_{icp} - X_{imin}} = \frac{X_i - X_{icp}}{X_{imax} - X_{icp}} = \frac{2X_i - X_{imax} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}}$$

где X_i – именованное (абсолютное) значение фактора;

x_i – кодированное значение фактора;

$X_{icp} - X_{imin} = X_{imax} - X_{icp}$ - интервал варьирования фактора.

Если фактор изменяется дискретно, например он является качественным, то каждому уровню этого кодированного фактора присваиваются числа в диапазоне от +1 до -1. Так при двух уровнях это +1 и -1, при трех уровнях +1, 0, -1 и т.д.

Функция отклика может быть выражена через кодированные факторы $Y=f(x_1, \dots, x_n)$ и записана в полиномиальном виде

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{nn}x_n^2 + \dots$$

Лекции Основы научных исследований

Для полинома, записанного в кодированных факторах, степень влияния факторов или их сочетаний на функцию отклика определяется величиной их коэффициента b_i . Для полинома в именованных факторах величина коэффициента B_i еще не говорит однозначно о степени влияния этого фактора или их сочетаний на функцию отклика.

Степенной вид полинома может быть записан в более компактной форме

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i=1, \dots, n-1 \\ j=i, \dots, n}} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{\substack{i=1, \dots, n-2 \\ j=i, \dots, n-1 \\ k=j, \dots, n}} b_{ijk} x_i x_j x_k + \sum_{i=1}^n b_{iii} x_i^3 \dots$$

Лекции Основы научных исследований

Планы полного факторного эксперимента 2^n (планы ПФЭ 2^n)

исследований

Планы ПФЭ 2^n являются простейшими планами первого порядка. Основание 2 означает, что принято два уровня варьирования, на которых фиксируются факторы, n – число факторов.

Для плана ПФЭ 2^2 число факторов равно двум ($n=2$) и число уровней фиксирования факторов также 2. Значения кодированных факторов выбираются в виде +1 и -1. Полное число возможных сочетаний значений n факторов (число опытов, а значит и число строк плана) $N=2^n=4$. Составляется план, в котором число столбцов факторов и их сочетаний равняется числу членов уравнения. Так для уравнения

Лекции Основы научных исследований

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad m+1=6.$$

исследований

План ПФЭ 2^2 для этого уравнения представляется в следующем виде (табл. 2.5).

В первый столбец ($i=0$) во все четыре ячейки заносятся +1. Во второй столбец ($i=1$) заносятся единицы с чередующимися знаками (начинаем с -1). В этом случае сумма элемента столбца равняется нулю. Третий столбец заполняем единицами с чередующимися через 2 элемента знаками. Сумма элементов также равняется нулю. Геометрическое отображение плана ПФЭ 2^2 с указанием номеров точек плана в факторном пространстве представлено на рис. 2.3. Точки плана располагаются в вершинах квадрата.

Таблица 2.5 - План ПФЭ 2^2

i	0	1	2	3	4	5	6
U	x_0	x_1	x_2	$x_3 = x_1 \cdot x_2$	$x_4 = x_1^2$	$x_5 = x_2^2$	Y
1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	Y_1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	Y_2
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	Y_3
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_4
$\sum_{U=1}^N x_{iU}$	4	0	0	0	4	4	

Элементы столбцов соответствующих произведениям факторов получают путем перемножения элементов предыдущих столбцов. Такое правило позволяет гарантировать, что мы не пропустили ни одного возможного сочетания факторов в опытах и в то же время не будет повторений одинаковых сочетаний. Последние два столбца факторов, соответствующие квадратам факторов, состоят только из +1. Столбцы, обведенные утолщенной рамкой, образуют план эксперимента. Столбец $x_1 x_2$, не обведенный утолщенной рамкой, при проведении опытов носит вспомогательный характер.

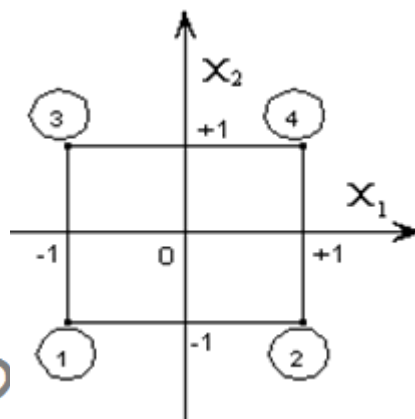


Рисунок 2.3 - Геометрическое отображение плана ПФЭ 2^2 в факторном пространстве

Особенности плана ПФЭ 2^2 :

1. Различных столбцов в таблице получилось лишь четыре. Столбцы, соответствующие квадратам факторов неотличимы от столбца x_0 - это общий результат для плана ПФЭ 2^n . Это не позволяет определить отдельно коэффициенты при квадратах факторов. Поэтому планы ПФЭ 2^n называют планами первого порядка. Для определения

коэффициентов при квадратах факторов используют планы второго порядка. В дальнейшем в планах ПФЭ 2^n столбцы квадратов факторов изображаться не будут.

2. Число различных столбцов равняется числу различных сочетаний факторов, то есть числу строк плана - числу опытов N . Это тоже общий результат для этих планов, то есть с помощью планов ПФЭ 2^n можно определить все коэффициенты линейного полинома со всеми возможными сочетаниями факторов, включая коэффициенты $b_{12...n}$, отражающие максимальное взаимодействие факторов вида $x_1x_2...x_n$.

3. В плане ПФЭ 2^2 сумма квадратов элементов любого столбца

$$\sum_{U=1}^N x_{iU}^2 = 4 = N$$

Поэтому для планов ПФЭ 2^n

$$b_i = \frac{\sum_{U=1}^N x_{iU} Y_U}{N}$$

Таким образом, с помощью планов ПФЭ 2^n можно определить свободный член уравнения b_0 , коэффициентов b_i , коэффициентов при различных взаимодействиях двух факторов b_{ij} , коэффициентов тройных взаимодействий факторов b_{ijk} , ..., коэффициент $b_{12...n}$ максимального взаимодействия факторов.

План ПФЭ 2^n может являться насыщенным, при выборе числа членов уравнения $m+1=N$, ненасыщенным, при выборе числа членов уравнения и соответственно числа столбцов плана $m+1 < N$. План ПФЭ 2^n является также рототабельным, так как все точки плана лежат на окружности (сфере, гиперсфере) с радиусом $r = \sqrt{\frac{N}{2}}$ относительно центра плана.

Для плана ПФЭ 2^3 число факторов $n = 3$. Выполняется $N = 2^3 = 8$ опытов. Уравнение может содержать до восьми членов

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3$$

Таким образом формируется план из восьми строк и восемь столбцов (табл. 2.6). В четвертом столбце ($i=3$) записываются единицы с чередующимися знаками через четыре элемента. План составляется аналогичным образом плану ПФЭ 2^2 .

Таблица 2.6 - План ПФЭ 2^3

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	Y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y_1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y_2
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y_3
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y_4
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	Y_5
6	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	Y_6
7	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	Y_7
8	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	Y_8
$\sum_{U=1}^N x_{iU}$	8	0	0	0	0	0	0	0	

Столбцы, обведенные утолщенной рамкой, образуют план эксперимента. Столбцы, не обведенные утолщенной рамкой, при проведении опытов носят вспомогательный характер. Геометрическое отображение плана ПФЭ 2^3 с указанием номеров точек плана в факторном пространстве представлено на рис. 2.4. Точки плана располагаются в вершинах куба.

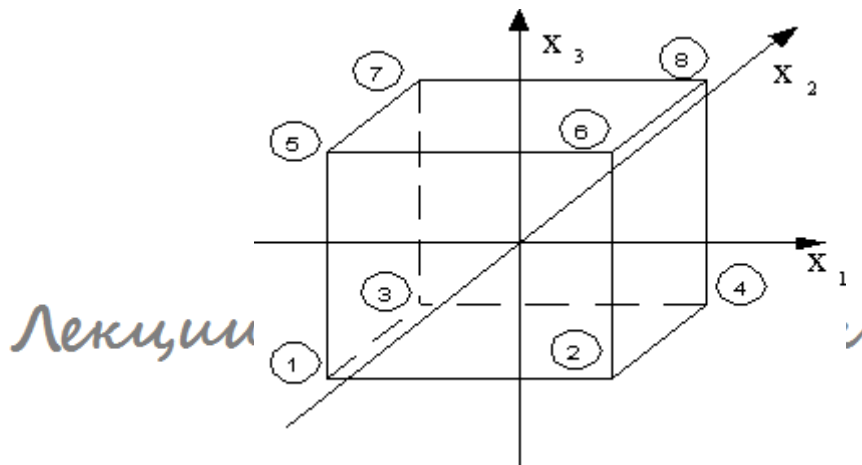


Рисунок 2.4 - Геометрическое отображение плана ПФЭ 2^3 в факторном пространстве

2. Второй шаг – выдвижение и обоснование первоначальной гипотезы на основе четко сформулированной задачи исследования и критического анализа собранной исходной информации. При этом рабочая гипотеза может иметь несколько вариантов, из которых выбирают наиболее целесообразный, не оставляя без внимания остальные. Иногда для уточнения гипотезы проводят предварительный эксперимент, который позволяет более глубоко изучить исследуемый объект.

3. Далее следуют теоретические исследования, которые заключаются в анализе и синтезе существующих закономерностей, справедливых для исследуемого объекта, а также в добывании с помощью аппарата фундаментальных наук (математики, теоретической механики, сопротивления материалов и др.) новых, неизвестных еще закономерностей. Цель теоретических исследований – как можно полнее обобщить наблюдаемые явления, связи между ними, получить как можно больше следствий из принятой рабочей гипотезы. Теоретическое исследование аналитически развивает принятую гипотезу и, как правило, приводит к разработке теории, которая должна обладать способностью объяснять и предсказывать факты и явления, относящиеся к исследуемой проблеме. Если теория неадекватно описывает известные явления, то появляется необходимость в изменении гипотезы, которая требует сбора соответствующей дополнительной информации об объекте исследования.

4. Экспериментальное исследование, или научно поставленный опыт – наиболее сложный и трудоемкий этап научного исследования. Цель эксперимента зависит от характера научного исследования и последовательности его проведения. Если эксперимент проводится после теоретического исследования, он подтверждает либо опровергает результаты разработанной теории. В случае отсутствия достаточной теоретической базы эксперимент часто предшествует теоретическому исследованию. При таком порядке проведения исследования теория объясняет и обобщает результаты эксперимента.

5. После проведения теоретического и экспериментального исследований выполняют анализ и сопоставление их результатов, следствием которых является окончательное подтверждение выдвинутой гипотезы и формирование следствий, вытекающих из нее, либо необходимость ее видоизменения. В некоторых случаях на основе выполненного анализа гипотеза может быть опровергнута.

6. На этапе заключительных выводов подводятся итоги исследования, то есть формулируются полученные результаты и их соответствие поставленной задаче. Для чисто теоретических исследований этот этап является заключительным, но для большинства задач в области техники возникает следующий этап.

7. Освоение результатов – этап подготовки к промышленной реализации

полученных результатов, разработка технологических или конструкторских принципов, которые зачастую не укладываются в рамки инженерной доработки и требуют непереносимого участия авторов исследования.

3.1 Средства поиска научной библиографической информации

Для облегчения поиска информации необходимо обладать знаниями основ библиографии. Она позволяет путем использования указателей, каталогов, обзоров и т. п. информировать читателя об имеющихся печатных изданиях. Основным средством поиска библиографической информации являются каталоги, которые бывают трех видов: алфавитный, систематический и алфавитно-предметный.

В алфавитном каталоге издания располагаются в алфавитном порядке фамилий автора или заглавий произведений. В систематическом, литература располагается по отраслям знаний. Алфавитно-предметный каталог представляет собой ключ к систематическому. В нем в алфавитном порядке перечисляются наименования тем, по которым литература собрана в отделах систематического каталога.

Наибольшее распространение в библиотечном деле получил систематический каталог, так как он позволяет подобрать литературу по определенным отраслям знаний, постепенно сужая границы поиска. В систематическом каталоге библиографические данные сведены в систему знаний благодаря применению специальной библиотечной классификации.

Каждой книге и периодическому изданию присваивается комплект библиографических индексов (ISBN, ISSN, ББК, УДК, авторский знак). Эти индексы нужны для регистрации и отражения издания в каталогах библиотек, книжных магазинов, надзирающих государственных органов.

ISBN – международная стандартная нумерация книг. В ней каждой книге присваивается уникальный номер, по которому ее можно однозначно идентифицировать. Аналогично символами ISSN указывается международная стандартная нумерация сериальных изданий.

ББК – это отечественная библиотечно-библиографическая классификация, которая применяется в крупнейших универсальных библиотеках.

Наибольшее распространение получила универсальная десятичная классификация (УДК), которая используется более чем в 50 странах мира и юридически является собственностью Международной федерации по документации (МФД), отвечающей за дальнейшую разработку таблиц УДК, их состояние и издание.

УДК состоит из основной и вспомогательной таблиц.

Основная таблица содержит понятия и соответствующие им индексы, с помощью которых систематизируют человеческие знания. 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. 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, 531 – Механика, 531.2 – Статика 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. Чтобы их отразить, помимо цифр используются специальные знаки. Например, после знака равенства «=» указывается индекс, соответствующий языку издания.

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.

Развитие информационных технологий, в частности Интернет, дает возможность проведения глобального информационного поиска.

3.2 Типы и задачи экспериментальных исследований, их классификация

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 явления и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий. Само по себе понятие «эксперимент» означает действие, направленное на создание условий для осуществления того или иного явления по возможности наиболее частого, т. е. не

осложняемого другими явлениями. Основными целями 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.

Структура эксперимента включает: построение модели объекта исследования, сознательное и планомерное изменение, комбинирование условий эксперимента и воздействий на объект, получение экспериментальных данных, их обработку. На всех стадиях исследования должно контролироваться соблюдение объективных законов науки. По результатам эксперимента формируются выводы.

Экспериментальные исследования, которые проводятся в различных отраслях науки, классифицируют по ряду признаков.

По способу формирования условий выделяют естественный и искусственный эксперименты.

Естественный предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования (чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках).

При искусственном эксперименте формируются искусственные условия (широко применяется в естественных и технических науках).

По целям исследования различают эксперименты преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые и решающие.

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 окружающей средой. В нем преднамеренно создают условия, которые должны способствовать формированию новых свойств и качеств объекта.

Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений. В его процессе 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 данных. По его результатам устанавливается значимость параметров,

осуществляется отсеивание малозначимых.

Решающий эксперимент ставится для проверки справедливости основных положений фундаментальных теорий в том случае, когда две или несколько гипотез одинаково согласуются со многими явлениями. Его цель – выявление наиболее справедливой гипотезы.

По организации проведения бывают эксперименты лабораторные и натурные.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т. д., и изучается не сам объект, а его образец. Этот эксперимент позволяет изучить влияние одних характеристик при варьировании других, получить научную информацию с минимальными затратами времени и ресурсов. Однако такой эксперимент не всегда полностью моделирует реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении натурального эксперимента.

Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Он часто используется в процессе 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 натурального эксперимента – обеспечить адекватность условий эксперимента реальной обстановке, в которой будет работать создаваемый объект. Основными задачами натурального эксперимента являются изучение характеристик воздействия среды на испытуемый объект, идентификация статистических и динамических параметров объекта, оценка эффективности функционирования объекта и проверка его на соответствие заданным требованиям.

По структуре изучаемых объектов и явлений различают простой и сложный эксперименты.

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

В сложном эксперименте изучаются явления или объекты с большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов и выполняющих сложные функции. Они имеют разветвленную структуру, в которой можно выделить иерархические уровни. Высокая степень связности элементов приводит к тому, что изменение состояния какого-либо элемента или связи влечет за собой изменение состояния многих других элементов системы.

По характеру внешних воздействий на объект исследования

выделяют вещественный, энергетический и информационный эксперименты.

Вещественный – рассматривает влияние воздействия физических тел на состояние объекта исследования.

Энергетический эксперимент применяется для изучения влияния на объект исследования различных видов энергии (электромагнитной, тепловой, механической и т. д.). Этот тип эксперимента широко распространен в естественных науках.

Информационный эксперимент используется для изучения воздействия определенной информации на объект исследования. Он чаще всего применяется в биологии, психологии, кибернетике и т. п.

По характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования существуют обычный и модельный эксперименты.

Обычный (или классический) эксперимент включает экспериментатора как познающего субъекта, а также объект или предмет экспериментального исследования и средства его осуществления (инструменты, приборы, экспериментальные установки). Причем экспериментальные средства непосредственно взаимодействуют с 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. Различие между моделью и реальным объектом может стать источником ошибок, что требует дополнительных затрат времени и теоретического обоснования свойств модели.

По типу моделей, исследуемых в эксперименте, выделяют материальный и мысленный эксперименты.

В материальном эксперименте используются материальные объекты исследования.

Орудиями мысленного (умственного) эксперимента являются мысленные модели исследуемых объектов или явлений (чувственные образы, образно-знаковые модели, знаковые модели). Его называют также идеализированным или воображаемым экспериментом. Мысленный эксперимент является одной из форм умственной деятельности, в процессе которой воспроизводится в воображении структура реального эксперимента. Сходство мысленного эксперимента с реальным в значительной мере определяется тем, что всякий реальный эксперимент, прежде чем быть осуществлённым на практике, сначала проводится человеком мысленно (путем обдумывания и планирования). Поэтому мысленный эксперимент нередко выступает в роли идеального плана реального эксперимента, предваряя его. В то же время мысленный эксперимент может быть выполнен и в тех случаях, когда

проведение реальных опытов оказывается невозможным.

По числу варьируемых факторов существуют однофакторный и многофакторный эксперименты.

Однофакторный эксперимент предполагает исключение малозначимых факторов, выделение существенных факторов и их поочередное варьирование.

Суть многофакторного эксперимента состоит в том, что варьируются все переменные одновременно, и влияние каждой оценивается по результатам всех опытов, проведенных в данной серии экспериментов.

Конечно, для классификации могут быть использованы и другие признаки. 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.

По контролируемым величинам эксперименты разделяют на пассивный и активный.

3.3 Активный и пассивный эксперимент

По контролируемым величинам эксперименты разделяют на пассивный и активный.

Пассивный эксперимент предусматривает изменение только выбранных показателей (параметров, переменных) в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование. Примером пассивного эксперимента в решении задач транспорта является подконтрольная эксплуатация транспортных средств. В этом случае выделяется специальная группа подконтрольных транспортных средств, в ходе которой фиксируется и накапливается информация о всех отказах и неисправностях, на каком пробеге они произошли или выявлены, данные о нагрузках, роде перевозимого груза и т. п. Пассивный эксперимент, по существу, является наблюдением, которое сопровождается либо инструментальным измерением, либо фиксированием выбранных показателей состояния объекта исследования. К достоинствам пассивного эксперимента относится его достоверность. Основной недостаток – информация слишком «запаздывает», т. е. время обратной связи весьма велико. Например, от разработки какого-либо узла до момента поступления информации о его надежности из сферы эксплуатации проходит несколько лет. Устранить данный недостаток, получить оперативную информацию о надежности позволяют: обработка результатов незавершенных испытаний с использованием специальных математических методов, применение методов статистического моделирования на основании предварительных результатов пассивного эксперимента, а также проведение

специальных активных экспериментов.

Активный эксперимент связан с выбором входных сигналов (факторов) и контролирует вход и выход исследуемой системы. В этом случае исследователь организует и активно влияет на ход эксперимента, задавая различные нагрузки, изменяя продолжительность их воздействия, изменяет количество и виды входных параметров и их вариацию. В настоящее время активные эксперименты проводят по специальным планам (программам), которые разрабатывают перед их проведением. План активного эксперимента включает: цель и задачи эксперимента; выбор варьируемых факторов; обоснование объема эксперимента, числа опытов; порядок реализации опытов, определение последовательности изменения факторов, задание интервалов между будущими экспериментальными точками; обоснование средств измерений; описание проведения эксперимента; обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента. Решение названных вопросов производится на основании специальной математической теории планирования эксперимента, что позволяет оптимизировать объем исследований и повысить их точность.

3.4 Вычислительный эксперимент. Математическое моделирование

В последнее время в связи с быстрым развитием компьютерных технологий большое значение приобрел вычислительный эксперимент – исследование, основанное на применении прикладной математики и ЭВМ как технической базы при использовании математических моделей.

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 элементы структуры имеют конкретную физическую интерпретацию. Получаемые математические структуры вместе с описанием соответствия экспериментально обнаруженным свойствам объекта и являются моделью изучаемого объекта. Они отражают в математической, символической (знаковой) форме объективно существующие в природе зависимости, связи и законы. Модель может соответствовать наглядным образом реальному устройству или какому-либо его элементу.

Вычислительный эксперимент основывается как на математической модели, так и на приемах вычислительной математики, которая состоит из многих разделов, развивающихся вместе с развитием вычислительной техники. Так, например, относительно недавно появился дискретный анализ, дающий возможность получения 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, то есть алгоритма решения.

На основе математического моделирования и методов вычислительной математики разработаны теория и практика вычислительного эксперимента, технологический цикл которого принято разделять на ряд этапов.

1. Для исследуемого объекта строится модель, обычно сначала физическая, фиксирующая разделение всех действующих в рассматриваемом явлении факторов на главные и второстепенные, причем второстепенные факторы, которые не имеют существенного значения для рассматриваемого вопроса, на данном этапе исследования отбрасываются. Формулируются допущения и условия применимости модели, границы, в которых будут справедливы полученные результаты. Модель записывается в виде математических соотношений, как правило, в виде дифференциальных уравнений.

2. Разрабатывается метод решения сформулированной математической задачи, на основе которого в дальнейшем строится алгоритм. Каждый конкретный расчет в вычислительном эксперименте проводится при фиксированных значениях всех параметров. При оптимизации конструкции устройства приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значениями некоторых исходных данных. Это предопределяет эффективность применения вычислительной техники.

3. Разрабатывается программа решения задачи на ЭВМ. В настоящее время исследователи, как правило, программируют не самостоятельно, а используют готовые универсальные инженерные программные комплексы, в которых уже реализованы типовые алгоритмы решения прикладных задач.

4. Проведение расчетов на ЭВМ. Результат получается в виде некоторой цифровой информации, которую далее необходимо будет проанализировать. Точность решения 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 как необходимость уточнения математической модели (усложнения или, наоборот, упрощения), так и 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. В науке и технике известно немало областей, в которых вычислительный эксперимент оказывается единственно возможным при исследовании сложных систем. Кроме того, часто он экономически более выгоден, чем натурный эксперимент.

Для проведения эксперимента любого типа необходимо провести ряд предварительных действий: разработать гипотезу, подлежащую проверке, создать программу 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.

4 ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

Одним из важных вопросов при выполнении научных исследований является масштабный переход от лабораторных экспериментов к промышленным. Казалось бы, не должно быть существенных различий между химическими реакциями и образующимися продуктами в стеклянной колбе объемом 1 л и в металлическом реакторе вместимостью 10 000 л при одинаковых реагирующих веществах, их концентрациях и соотношении, температуре и продолжительности процессов. Однако это далеко не так.

Различия могут быть очень значительными, в том числе и в качестве продуктов реакции. Особенное влияние на эти различия могут оказать изменения условий тепло- и массопередачи, кинетики химических реакций.

Необходимость увеличения масштабов эксперимента и перехода от лабораторных исследований к промышленным связана еще и с тем, что в лабораторных условиях не может быть изучен ряд важных промышленных факторов и свойств объекта, например таких, как способы транспортирования и дозирования сырья, промышленные условия хранения готовой продукции, состав воздуха рабочей зоны и др.

Опытнотехнологические (ОТР) и опытноконструкторские работы (ОКР) тесно связаны между собой и могут выполняться одновременно.

В химической технологии масштабный переход к промышленным условиям осуществляют обычно в одну или две ступени. Ступенями масштабирования являются опытные установки, которые служат для моделирования изучаемых объектов.

Опытные установки в химической промышленности подразделяют на три вида: лабораторные, пилотные (модельные, стендовые) и опытнопромышленные.

Лабораторные установки, как правило, создаются еще в процессе лабораторных исследований. Такие установки обычно работают периодически или полунепрерывно. Транспортировка сырья и готовой продукции при этом осуществляется вручную. Состояние окружающей среды не исследуется. Количество изучаемых факторов на лабораторных установках часто неограничено. Оборудование для них выбирается, в основном, типовое. На лабораторных установках решают, главным образом, задачи ОТР.

Например, при создании новых полимеров решают задачи кинетики химических процессов, термодинамики, теплофизики, тепло- и массопереноса, технологического контроля, оценки свойств и перспектив применения полимера и материалов на его основе, инженерного оформления процессов, прогноза экономической эффективности производства, состояния и требований к технике безопасности и др.

Пилотные установки более крупные, чем лабораторные. При создании пилотных установок начинается инженерный поиск в области аппаратурного оформления процессов. На пилотных установках проводится работа по следующим основным направлениям:

- уточняются задачи ОТР, нарабатывается продукция для широких испытаний;
- конструируются и подбираются наиболее подходящее аппаратурное оформление процессов, средства контроля и автоматизации;
- отрабатываются мероприятия по охране окружающей среды.

Работа по первому направлению относится к ОТР, а по остальным – к ОКР.

Опытно-промышленные установки обычно не должны уступать по масштабу промышленным установкам более чем в 10 раз. В этих установках все должно быть аналогично будущему промышленному производству. В опытно-промышленных установках должна быть реализована полная технологическая схема будущего производства. Аппаратурное оформление опытно-промышленных установок должно включать головные образцы технологического оборудования, средств контроля и управления процессами, которые создаются по результатам выполнения ОКР на пилотных установках. В результате эксплуатации образцы оборудования, средств контроля и управления должны пройти доводку, вырабатываемая продукция и отходы найти своих потребителей, должны быть окончательно решены вопросы транспортировки сырья и продукции, ее расфасовки и упаковки и др. Как правило, создание опытно-промышленных установок требует капитального строительства и полного объема проектно-сметной документации. Поэтому в создании опытно-промышленных установок принимают участие и технологи, и проектировщики.

Прохождение всех трех ступеней масштабного перехода требует значительного отрезка времени.

Поэтому исследователю всегда приходится делать выбор между продолжительностью и качеством масштабного перехода, значительно определяющим степень риска при организации промышленного производства нового объекта.

Обычно все три ступени масштабного перехода реализуют при создании сложных, многостадийных, экологически опасных процессов. В более простых случаях, когда можно использовать достаточно дешевое стандартное оборудование, можно переходить от лабораторных установок сразу к опытно-промышленным установкам.

5 ОХРАНА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, СОЗДАВАЕМОЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Любой результат творческого труда является интеллектуальной собственностью.

Интеллектуальная собственность подразделяется на следующие четыре группы (таб. 5.1):

- промышленная собственность, куда входят нематериальные объекты технического творчества, связанные с техникой и производством, охраняемая на основе патентного права;
- литературно-художественное и научное творчество, охраняемые на основе авторского права;
- исполнительская деятельность, охраняемая на основе смежного права;
- ноу-хау.

Автор – физическое лицо, творческим трудом которого создано произведение или его часть, допускающая её самостоятельное использование. Авторское право распространяется как на обнародованные, так и не обнародованные произведения, существующие в какой-либо объективной форме:

- письменной (рукопись, печатный текст, нотная запись и т.д.);
- устной (публичное произношение, исполнение и т.д.);
- звукозаписи и видеозаписи (механической, магнитной, цифровой, оптической и т.д.);
- изображение (рисунок, чертёж, план, фото, кино и т.д.);
- объёмно-производственной (скульптура, модель, макет, сооружение и т.д.).

Таблица 5.1 – Виды и объекты интеллектуальной собственности

Интеллектуальная собственность	Характер творческой деятельности			
	Научно-техническое творчество	Литературно-художественное и научное творчество	Исполнительская деятельность	Любой вид деятельности
Виды	Промышленная собственность	Авторское право	Смежные права	Секреты производства (ноу-хау)
Объекты	Изобретения Полезные модели Промышленные образцы Товарные знаки Знаки обслуживания Наименование мест происхождения товаров Селекционные достижения Пресечение недобросовестной конкуренции	Литературные произведения Художественные произведения Научные труды Произведения искусства Программы для ЭВМ и базы данных Топологии интегральных микросхем	Звукозаписи Теле- и радиопередачи Исполнительская деятельность артистов Аранжировки Режиссерская деятельность	Технические и технологические Производственные Коммерческие и конъюнктурные Организационно-управленческие

Объектами авторского права являются художественная и научная литература, музыкальные и хореографические произведения, кинофильмы и телефильмы, произведения живописи и скульптуры, архитектуры и другие. К этой группе объектов авторского права относятся также программы для ЭВМ, курсовые и дипломные проекты студентов, творческие проекты и конкурсные работы учащихся.

Кроме перечисленных к авторскому праву относятся переводы, обработки, аннотации, рефераты, обзоры, сборники (энциклопедии, базы данных), если по подбору и расположению материалов представляют результат творческого труда.

Авторское право не распространяется на идеи, методы, процессы, системы, способы, концепции, открытия, факты. Объектами авторского права не являются официальные документы (законы, судебные решения, их официальные переводы), государственные символы и знаки, произведения народного творчества, сообщения о событиях и фактах, имеющие информационный характер.

Авторское право на произведение не связано с правом собственности на материальный объект, в котором произведение выражено.

Источниками охраны авторского права являются Гражданский кодекс, государственные законы, касающиеся отдельных вопросов охраны авторских прав, международные договоры.

Для защиты прав автора на каждом экземпляре его произведения помещается знак охраны авторского права, состоящий из трех элементов: латинской буквы «С» внутри кружка ©, имени автора или наименование владельца прав, год первого издания.

Компьютерные программы и типология интегральных микросхем регистрируются в агентстве по правовой охране программ для ЭВМ, баз данных и типологий интегральных микросхем, которое выдает на них соответствующие свидетельства.

Авторское право: личные неимущественные и имущественные права

Личные неимущественные права автора в отношении его произведения состоят:

- в праве считаться автором произведения (право авторства);
- в праве самому определять форму указания имени: подлинное имя, псевдоним, т.е. условное имя, либо без обозначения имени (право на имя);
- в праве обнародовать или разрешать обнародовать произведение в любой форме (право на обнародование), включая право на отзыв;
- в праве на защиту произведения, включая его название, от всякого искажения или иного посягательства, способного нанести ущерб чести и достоинству автора (право на защиту репутации автора);
- в праве отказаться от ранее принятого решения об обнародовании произведения (право на отзыв) при условии возмещения пользователю причинённых таким решением убытков, включая упущенную выгоду (автор обязан публично оповестить об отзыве произведения, если оно уже было обнародовано).

Личные неимущественные права принадлежат автору независимо от его имущественных прав и сохраняются за ним и в случае уступки исключительных прав на использование произведения.

Право на авторство, право на имя и право на защиту репутации автора охраняются бессрочно, а охрана этих прав после смерти автора осуществляется наследниками или специальным исполнителем, которого автор назначил при жизни по завещанию.

Имущественные права автора в отношении его произведения состоят в исключительных правах на использование произведения в любой форме и любым способом:

- 1) в праве воспроизводить произведение (право на воспроизведение);
- 2) в праве распространять его экземпляры любым способом, в том числе продавать, сдавать в прокат и т.п. (право на распространение);
- 3) в праве импортировать экземпляры произведения в целях распространения, включая экземпляры, изготовленные с разрешения обладателя исключительных авторских прав (право на импорт);
- 4) в праве публично показывать произведения (право на публичный показ);
- 5) в праве публично исполнять произведение (право на публичное исполнение);
- 6) в праве обнародовать произведение, включая показ, исполнение или передачу в эфир для всеобщего сведения (право на передачу в эфир и для всеобщего сведения по кабелю);
- 7) в праве переводить произведение (право на перевод);
- 8) в праве переделывать, аранжировать или другим образом перерабатывать произведение (право на переработку);
- 9) в праве практически реализовать дизайнерский, архитектурный, градостроительный и садово-парковый проекты.

Промышленная собственность — это нематериальные объекты технического творчества. В состав этой группы объектов включены:

- изобретения;
- полезные модели;
- промышленные образцы;
- товарные знаки;
- наименование мест происхождения объекта.

К объектам патентного права относятся только три первых вида объектов: изобретения, полезные модели и промышленные образцы. Патентным правом называют совокупность норм, определяющих и регулирующих неимущественные и имущественные отношения, возникающие в связи с созданием и использованием объектов промышленной собственности.

Патентообладатель (физическое или юридическое лицо) приобретает исключительное право на охраняемый этим патентом (свидетельством) объект промышленной собственности:

никто не в праве нарушить такое право и несанкционированно использовать запатентованный объект. Такое право даёт возможность владельцу охранного документа предоставлять на условиях конкретного лицензионного соглашения разрешение на использование запатентованного объекта промышленной собственности. Действие исключительного права, предоставляемого Патентным законом, имеет ограничения типичные для действующих мировых патентных систем:

1. действие в пространстве (патент действует только на территории той страны, где он выдан);

2. действие во времени (патент действует только в течение установленного национальным патентным законодательством срока). В соответствии с Патентным законом эти сроки для изобретения – 20 лет с даты поступления заявки в Патентное ведомство; полезной модели – 5 лет с правом продления на 3 года и промышленного образца – 10 лет с правом продления на 5 лет);

3. действие в отношении не любых, а определённых объектов (правовая охрана предоставляется только на те объекты, которые в соответствии с патентным законодательством страны являются патентоспособными);

4. в форме так называемого права преждепользования;

5. в виде принудительной лицензии и т.д.

За патентообладателем закрепляется исключительное право на использование охраняемых патентом изобретения, полезной модели или промышленного образца по своему усмотрению, если такое пользование не нарушает прав других патентообладателей, включая право запретить использование указанных объектов другим лицам, кроме случаев, когда такое использование в соответствии с настоящим законом не является нарушением права патентообладателя.

Права и обязанности физических и юридических лиц практически для всех случаев возникают с даты приоритета, определяющей также временные пределы действия охранного документа.

Споры, связанные с охраной прав патентообладателей и авторов, рассматривают суды, в том числе арбитражные и третейские в соответствии с их компетенцией: споры об авторстве, об установлении патентообладателя, о нарушении исключительного права на использование охраняемого объекта промышленной собственности и других имущественных прав патентообладателя, о праве преждепользования, о выплате вознаграждения автору, об исполнении лицензионных договоров и другие вопросы, не отнесенные к компетенции Апелляционной палаты и Высшей патентной палаты.

Под ноу-хау (английское *know how* — знать, как сделать, уметь) понимают служебную

и коммерческую тайну. В «Большом экономическом словаре» дается такое определение этому термину:

«Ноу-хау — это совокупность различных знаний научного, технического, производственного, административного, финансового или иного характера, опыта, практически применяемых в деятельности предприятия или профессиональной деятельности, но которые еще не стали всеобщим достоянием». Объектами ноу-хау могут быть экономические сведения; опыт ведения коммерческих операций; знания конъюнктуры рынка; управленческие структуры, методы и схемы управления производством; технические объекты, незащищенные как объекты промышленной собственности или незащищенные объекты авторского права. Законы обеспечивают защиту ноу-хау от недобросовестного неправомерного получения и использования составляющей его информации. Право в отношении этого объекта интеллектуальной собственности — это право на защиту имущественных интересов в случае незаконного получения и использования другим лицом сведений о ноу-хау. Поскольку право защиты для объектов ноу-хау предоставляется на условиях сохранения сведений о них в тайне, то ноу-хау не защищаются какими-либо охраняемыми документами.

Лекции Основы научных исследований