

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра “Техническая физика и теоретическая механика”

Г. М. КУЗЁМКИНА

# ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пособие для студентов технических специальностей

*Одобрено методическими комиссиями  
механического факультета и факультета безотрывного обучения*

Гомель 2005

УДК 001.891 (075.8)  
ББК 73  
К89

Рецензент – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая физика и теоретическая механика» **А. О. Шимановский** (УО «БелГУТ»).

**Кузёмкина, Г. М.**

К 89      Основы научных исследований: пособие для студентов технических специальностей / Г. М. Кузёмкина. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005.– 82 с.  
ISBN 985-468-042-8

Изложены основные положения курса «Основы научных исследований» в соответствии с учебной программой для студентов механических специальностей. Рассмотрена организация научной деятельности в Республике Беларусь, методология научных исследований и методика работы с научными документами.

Приведены задания для самостоятельных и контрольных работ по названному курсу.

Предназначено для студентов технических специальностей. Может быть полезно также аспирантам и молодым научным работникам.

**УДК 001.891 (075.8)**  
**ББК 73**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Основные этапы развития науки.....	6
1.1 Зачатки знаний в древности.....	6
1.2 Наука в средние века.....	7
1.3 Наука – высшая культурная ценность Нового времени.....	8
1.4 Механистическая картина мира.....	9
1.5 Рубеж XIX – XX веков. Задачи, стоящие перед наукой XXI века.....	10
2 Основные определения и понятия в системе научных знаний.....	11
2.1 Основные понятия науки.....	11
2.2 Характерные черты современной науки.....	13
3 Организация научно-исследовательской работы в Республике Беларусь.....	15
3.1 Организационная структура науки.....	15
3.2 Организация научно-исследовательской работы в вузах.....	16
3.3 Подготовка и повышение квалификации научных и инженерных кадров.....	17
3.4 Международное научное сотрудничество.....	19
4 Научные исследования. Основные этапы и использование результатов.....	21
4.1 Структура научного исследования.....	21
4.2 Классификация научных исследований.....	23
4.3 Государственные программы научных исследований.....	25
4.4 Связь науки с производством.....	27
4.5 Оценка экономической эффективности темы.....	28
5 Методология научного исследования.....	29
5.1 Основные методы теоретических и эмпирических исследований.....	29
5.2 Основные понятия моделирования.....	32
5.3 Условия механического подобия.....	35

6	Особенности экспериментального исследования.....	38
6.1	<i>Типы и задачи экспериментальных исследований, их классификация.....</i>	<i>38</i>
6.2	Вычислительный эксперимент.....	42
6.3	Методика проведения экспериментальных работ.....	44
6.4	Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований.....	46
6.5	Использование в исследованиях единиц системы СИ. Метрическая система единиц.....	47
7	Теоретические исследования.....	50
7.1	Задачи и методы теоретического исследования.....	50
7.2	<i>Выбор типа математической модели.....</i>	<i>53</i>
7.3	Особенности конечноэлементного моделирования.....	56
8	Научные документы и издания.....	59
8.1	Оформление результатов научной работы.....	59
8.2	Первичные и вторичные научные документы.....	61
8.3	Средства поиска научной библиографической информации.....	64
8.4	Правовая защита интеллектуальной и промышленной собственности.....	65
8.5	Патенты на изобретения и полезные модели.....	67
8.6	Содержание заявки на изобретение, полезную модель.....	70
	Приложение А Пример зарегистрированного патента на изобретение.....	72
	Приложение Б Задания для выполнения контрольных работ.....	76
	Список рекомендуемой литературы.....	81

## **ВВЕДЕНИЕ**

*Быстро растущие потребности общества заставляют специалистов всех уровней, работающих в сфере производства, заниматься непрерывным его совершенствованием. Для этого выполняются разработки предложений от модернизации технологий и конструкций до создания новых теорий. Массовое выполнение подобных работ может иметь место лишь в результате подготовки студентов вузов к творческой деятельности. Именно с этой целью в учебные планы технических вузов включена дисциплина «Основы научных исследований».*

Современный инженер, независимо от той области техники, в которой он работает, не может ни шагу ступить без использования результатов науки. На любом современном предприятии внедряются научная организация труда, новейшие диагностические процедуры, автоматизация и механизация технологических процессов, автоматизированные системы управления производством, перевозками.

Одной из важнейших черт современного научно-технического прогресса является развитие научных основ формирования инженерных решений при проектировании, производстве и эксплуатации транспорта. Все больше стираются различия между проектантами и исследователями. Умение проводить научные исследования становится для инженера необходимостью, так как часто лишь с их помощью удастся учесть особенности конкретных условий производства и выявить резервы повышения его эффективности. Для выполнения необходимых исследований инженер должен владеть методами планирования эксперимента, обработки и анализа его результатов, методиками проведения исследований, а также знать возможности повышения качества продукции. Ознакомление со всеми перечисленными вопросами и происходит при изучении курса «Основы научных исследований». В последние годы интенсивно изменяется законодательная база по организации научной деятельности в Республике Беларусь. Цель предлагаемого пособия – помочь студентам лучше сориентироваться в изучаемом материале при подготовке к зачету либо экзамену. Оно помимо основных вопросов учебного курса содержит список рекомендуемой основной и дополнительной литературы, а также задания для контрольных работ студентов-заочников (приложение Б). Пособие окажет помощь и при написании курсовых работ.

# 1 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ

## 1.1 Зачатки знаний в древности

Истоки науки своими корнями уходят в практику ранних человеческих сообществ, в которых неразделимо сосуществовали познавательные и производственные моменты. Первоначально знания носили практический характер, выполняя роль методических руководств по конкретным видам человеческой деятельности. В странах древнего Востока (Вавилоне, Египте, Индии, Китае) было накоплено значительное количество такого рода практических знаний, которые составили важнейшие предпосылки будущей науки.

Отдаленной предшественницей науки можно считать и мифологию, в которой впервые была предпринята попытка построить целостную, всеобъемлющую систему представлений об окружающей человека действительности. Но в силу своего религиозно-антропоморфного характера эти представления, однако, были далеки от науки, и более того, ее формирование требовало в качестве предварительного условия критики и разрушения мифологических систем.

Для возникновения науки необходимы были и следующие социальные условия:

- достаточно высокий уровень развития производства и общественных отношений (приводящий к разделению умственного и физического труда и тем самым открывающий возможность систематических занятий наукой);
- наличие богатой культурной традиции, допускающей свободное восприятие достижений различных культур и народов.

Эти условия сложились к VI веку до нашей эры в древней Греции, где и возникли первые теоретические системы. Отделившееся от мифологии теоретическое натурфилософское знание на первых порах соединяло в себе науку и философию в ее самых умозрительных вариантах (например, в противовес мифологии через естественные начала объясняли действительность Фалес, Демокрит). Тем не менее это были именно теоретические знания, в которых на первый план выдвигались объективность и логическая убедительность. Древнегреческая наука (Аристотель, Анаксимед, Гераклит) дала первые описания закономерностей природы, общества и мышления, которые во многом несовершенны, но сыграли выдающуюся роль в истории культуры: они ввели в практику мыслительной деятельности систему абстрактных понятий, относящихся к миру в целом, превратили в устойчивую традицию поиск объективных, естественных законов мироздания и заложили основы доказательного способа изложения материала, что составляет основные черты науки.

В эту же эпоху от натурфилософии начинают обособляться отдельные области знаний. Эллинистический период древнегреческой науки ознаменовался созданием теоретических систем в области геометрии (Евклид), механики (Архимед), астрономии (Птолемей).

## 1.2 Наука в средние века

На смену рабовладельческому строю пришел феодальный. К этому времени в странах Западной Европы получила распространение христианская религия. Подчиненная нуждам религии схоластика основное внимание уделяла разработкам христианских догматик, но вместе с тем она внесла значительный вклад в развитие мыслительной культуры, в совершенствование искусства теоретических споров, дискуссий. Поскольку в этот период ростки научных знаний растаптывались церковной догматикой, быстрыми темпами развивались ненаучные виды познавательной деятельности: алхимия, астрология, магия, парапсихология. Но в таком развитии были свои преимущества: именно алхимия заложила традиции опытного изучения природных веществ и соединений, тем самым подготовила почву для возникновения химии, астрология стимулировала систематические наблюдения за небесными светилами, содействуя развитию опытной базы для астрономии.

В эпоху средневековья в развитие науки огромный вклад внесли ученые Арабского мира и Средней Азии. В этот период они значительно обогнали Европу в развитии научного знания. Арабские ученые сумели сохранить древнегреческую традицию, обогатив ее в ряде областей знаний. В начале IX века протекала деятельность выдающегося ученого в области математики, создателя алгебры, Беруни, который внес много нового в астрономию, географию, минералогии. Всемирно известен правитель Самарканда Улугбек, который был крупным ученым-астрономом, просвещенным государственным деятелем. Привлекая ученых в Самарканд, он создавал прекрасные условия для их работы: выстроил в начале XV века грандиозную обсерваторию, которая была оснащена лучшими по тому времени инструментами и оборудованием. Пользуясь ими, самаркандские ученые достигли такой точности в своих наблюдениях, которая еще полтора века оставалась непревзойденной. Самым ценным из трудов были «Звездные таблицы» – каталог, содержащий точные положения на небе 1018 звезд.

В своих научных изысканиях ученые Средней Азии использовали достижения науки не только Древней Греции, но и Индии, где математика, физика, астрономия к IV – VIII вв. достигли высокого уровня развития. Замечательный индийский мыслитель Брамагупта высказал предположение, что Земля притягивает к себе другие тела. Тем самым он приблизился к

мысли о существовании всемирного тяготения, но не смог обосновать этот факт, что спустя 1000 лет сделал Ньютон. Индийский ученый Ариабхата считал, что Земля – шар и вращается вокруг своей оси. Развитию астрономии в Индии способствовали успехи индийской математики. Тогда была создана и распространилась на весь мир десятичная система исчисления, заложены основы тригонометрии. Индийская математика впоследствии оказала большое влияние и на европейскую математику.

Таким образом, развитие науки в средние века подготовило научную базу для крупных открытий Нового времени.

### **1.3 Наука – высшая культурная ценность Нового времени**

Под влиянием потребностей развитого капитализма в Новое время начала складываться наука в современном понимании. Помимо накопленных в прошлом традиций, этому содействовали два обстоятельства:

– во-первых, в эпоху Возрождения было подорвано господство религиозного мышления, а противостоящая ему картина мира опиралась как раз на научные факты, иными словами, наука начала превращаться в самостоятельный фактор духовной жизни, в реальную базу мировоззрения;

– во-вторых, наряду с наблюдением наука Нового времени берет на вооружение эксперимент, который становится в ней ведущим методом исследования и радикально расширяет сферу познавательной реальности, тесно соединяя теоретические рассуждения с «практическим» испытанием природы.

В XXVI – XXVII веках резко увеличилась познавательная мощь науки, произошла ломка старой и создание новой системы научных теорий, понятий, принципов. Это глубокое преобразование научного знания было названо *1 научной революцией*. Ее началом стали фундаментальные открытия в астрономии.

В XVI веке Коперник закончил свою знаменитую книгу «О вращении небесных тел». Спустя три четверти века Кеплер доказал, что орбиты, по которым движутся планеты вокруг Солнца, представляют собой эллипсы. В это же время итальянский ученый Джордано Бруно высказал мнение, что Вселенная бесконечна и в ней хаотично рассеяны звезды. Появление телескопа в начале XVII века привело к крупным открытиям в астрономии, первые из которых принадлежат Галилею. Он также сделал много нового в области физики и механики, был основоположником динамики, им были открыты законы падения тел, законы колебания математического маятника.

Торричелли провел первый опыт, доказывающий давление атмосферы. Бойль и Мариотт исследовали упругие свойства газов. В это же время работал немецкий ученый И. Кант, который изучил природу землетрясений,



написал о происхождении ветров – пассатов и муссонов. Своей гипотезой о происхождении Солнечной системы он впервые сделал попытку подойти к природе с точки зрения ее развития.

Исаак Ньютон обогатил своими открытиями и математику, и физику, и астрономию. Он почти одновременно с немецким ученым Лейбницем и независимо от него создал раздел математики «дифференциальное и интегральное исчисление». Ему принадлежат выдающиеся достижения в области физики: он установил сложную структуру белого цвета, что легло впоследствии в основу спектрального анализа, открыл закон всемирного тяготения, предложил корпускулярную теорию природы света, сформулировал основные законы механики. Еще одним его достижением является создание отражательного телескопа (рефлектора).

В целом исследования Нового времени показали, что за внешней сущностью вещей и явлений скрывается неощутимая нашими органами чувств сущность, обнаружить которую можно лишь с помощью абстрактного мышления. Поэтому насущной задачей этой эпохи была необходимость перехода от живого созерцания к абстрактному мышлению.

#### **1.4 Механистическая картина мира**

Успехи механики, завершенной и систематизированной к концу XVII века, сыграли решающую роль в формировании механистической картины мира, которая вскоре приобрела универсальное мировоззренческое значение. В ее рамках осуществлялось познание не только физических и химических явлений, но и биологических, в том числе и объяснение человека как целостного организма. Идеалы механистического естествознания становятся основанием теории познания. Возникают философские учения о человеческой природе, обществе и государстве, выступающие в XVII – XVIII веках как разделы общего учения о едином мировом механизме.

Опора Нового времени на эксперимент, развитие механики заложили фундамент для установления связи науки с производством, хотя прочный и систематический характер эта связь приобрела только к концу XIX века. На базе механистической картины мира к началу XIX века был систематизирован значительный материал, относящийся к отдельным областям действительности. Однако результаты многочисленных исследований явно не укладывались в рамки механистического объяснения природы и общества. В числе открытий, позволивших синтезировать результаты, полученные разными науками:

– открытие закона сохранения и превращения энергии Майером, Джоулем, Гельмгольцем позволило поставить на общую основу все разделы физики и химии;

- создание клеточной теории Шванном и Шлейденом показало единообразную структуру всех живых организмов;
- эволюционное учение в биологии Дарвина внесло в естествознание идею развития;
- периодическая таблица Менделеева доказала наличие внутренней связи между всеми известными видами вещества.

В середине XIX века созданы социально-экономические, философские и общенаучные предпосылки для построения научной теории общественного развития, реализованные Марксом и Энгельсом.

Таким образом, благодаря открытиям в естественных науках и перевороту в политической экономии в XIX веке была свершена *II научная революция*.

### **1.5 Рубеж XIX – XX веков. Задачи, стоящие перед наукой XXI века**

Крупные изменения в основах научного мышления, а также ряд крупных открытий в физике (Томсон и Де Бройль открыли электрон; Беккерель, Резерфорд, супруги Кюри – радиоактивность) привели на рубеже XIX – XX веков к полному краху механистического мировоззрения. Это стало отправной точкой для свершения *III научной революции*, которая охватила главным образом физику. Планк, Эйнштейн основали теорию относительности. В 20-х годах XX века была создана квантовая механика, в 30-х годах был открыт целый ряд новых элементарных частиц: нейтрино, нейтрон, позитрон.

Новым в развитии естествознания с середины XX века явилось то, что научные революции слились с техническими в единый процесс. Современная *научно-техническая революция* – качественно новый процесс, преобразующий материальную основу общества. Основными ее чертами являются: 1) открытие и использование новых видов и источников энергии; 2) автоматизация и кибернизация производства; 3) использование в производстве, управлении и науке ЭВМ; 4) открытие способов создания материалов с заранее заданными свойствами, которых не существует в природе; 5) проникновение в микро- и макромир; 6) оптимизация отношений человек – природа; 7) управление большими системами.

Существенной чертой научно-технической революции является превращение науки в непосредственную производительную силу, органичное соединение науки с производством.

«Точки» роста науки XXI века находятся, как правило, на пересечении внутренней логики ее развития с диктуемыми современным обществом потребностями. В настоящее время продолжают развиваться основные научные направления прошлого века.

Цель перспективных научных исследований – помочь возникновению новых областей науки и техники, связанных с технологиями информационного общества, которые будут иметь стратегическое значение для устойчивого социально-экономического развития человеческого общества. В числе будущих и зарождающихся технологий: применение нанотехнологий в здравоохранении, химии, энергетике, оптике и других областях, производство, трансформация и обработка многофункциональных материалов, разработка новых процессов и «умных» производственных систем, а также интеграция нанотехнологий, новых материалов и производственных технологий для более дешевого и экологически эффективного применения в различных отраслях.

## **2 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ В СИСТЕМЕ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ**

### **2.1 Основные понятия науки**

Наука – сложное социальное явление, особая сфера целенаправленной человеческой деятельности, основанной на получении и освоении новых знаний и использовании их для решения практических задач. Наука выполняет две основные функции: познавательную и практическую. В соответствии с этими функциями можно говорить о науке как о системе ранее накопленных знаний, то есть информационной системе, которая служит основой для дальнейшего познания объективной действительности.

Наука как общественная, социальная система, обладающая относительной самостоятельностью, складывается из трех неразрывно связанных элементов: накопленных знаний, деятельности людей и соответствующих научных учреждений.

*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, главные 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.

В XVII веке английский философ Фрэнсис Бэкон разработал первую классификацию наук, принятую французскими просветителями Дидро, Ж. Даламбером, Гольбахом, Монтескье, Вольтером, Руссо. Все существующие и возможные науки Ф. Бэкон разделил соответственно трем способностям человеческого разума: памяти соответствует история, воображению – поэзия, рассудку – философия как наука о природе и человеке.

Современная классификация наук производится по разным признакам:

– по отраслям знаний: естественные науки (о природе), общественные (об обществе), технические (науки о целенаправленном преобразовании природных тел и явлений в технические объекты, о функционировании механических объектов в системе общественного производства);

– научным дисциплинам: математика, физика, сопротивление материалов, теоретическая механика и т. д.;

– результатам научной деятельности: публикации (книги, статьи), патенты, конструкторские разработки и т. д.

*Научная деятельность*, научная работа или научный труд – это творческая деятельность, направленная на получение, освоение, переработку и систематизацию новых научных знаний, результаты которой характеризуются следующими основными признаками:

а) новизной и оригинальностью;

б) уникальностью и неповторяемостью (результаты научной деятельности не могут быть серийными, повторенная работа теряет новизну, поэтому обязательным требованием к исследователю является его информационная осведомленность об объекте и предмете исследования);

в) вероятностным характером и риском (всегда трудно предугадать, успешно ли закончится задуманное исследование и будет ли получен предполагаемый результат);

г) доказательностью, то есть убедительностью результатов научной работы и их воспроизводимостью.

Научная деятельность классифицируется:

– по целевому назначению: развитие теории, разработка новой техники, совершенствование технологии и т. п.;

– видам научных работ: фундаментальные, прикладные исследования, разработки;

– диапозону исследовательских работ: направления в науке, научная проблема, научная тема, научный вопрос;

– методу исследования: теоретическое, экспериментальное, смешанное.

*Научные учреждения*, независимо от их подчиненности, названия, ранга, помимо научных сотрудников должны иметь средства научной деятельности (научное оборудование – измерительное, вычислительное и т. д.), объекты научного труда (исследуемые предметы или явления), информационный массив (библиотечный и патентный фонды), а также психологический микроклимат для научной деятельности.

По отношению к сфере человеческой деятельности научные учреждения Республики Беларусь классифицируются так:

– к *непроизводственной сфере* относятся академические институты, входящие в состав Национальной Академии наук Республики Беларусь, научно-исследовательские институты общенаучного и гуманитарного профилей, а также вузы непроизводственного профиля (медицинские, юридические и др.);

– к *производственной сфере* относятся все отраслевые институты – проектные и конструкторские бюро, научно-производственные комплексы и объединения, технические вузы.

## **2.2 Характерные черты современной науки**

В настоящее время в экономике, политике и социальной жизни общества все большую роль играет научно-техническая революция. Она представляет собой сложную динамичную систему, которая включает в себя науку, технику и производство. В этой системе наука служит генератором идей, техника осуществляет их материальное воплощение, которое реализуется через производство. Развитие науки приводит к глубоким, революционным изменениям в технике и технологии, что, естественно, революционизирует и материальное производство.

*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.

Эти характерные черты науки определяют ее *приоритетные направления*. Для Республики Беларусь на современном этапе они таковы:

1 Энергетика – энергообеспечение, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, энергосбережение и эффективное использование энергии; создание энерго- и ресурсоэкономичных архитектурно-конструктивных систем нового поколения.

2 Машины и механизмы – механика машин, обеспечение надежности и безопасности технических систем, повышение конкурентоспособности продукции машиностроения.

3 Новые материалы и вещества, модифицированные биологические формы – физические, химические, биологические и генетические методы и технологии получения новых веществ, материалов, модифицированных биологических форм, наноматериалы и нанотехнологии.

4 Технологии профилактики, диагностики, лечения и реабилитации. Медицинская техника, изделия медицинского назначения, лекарственные препараты –

разработка новых лечебных, диагностических, профилактических и реабилитационных технологий, приборов и изделий медицинского назначения, лекарственных и иммунобиологических препаратов, клеточных и молекулярно-биологических технологий.

5 Продовольственная безопасность и эффективность агропромышленного комплекса – повышение эффективности агропромышленного комплекса и уровня продовольственной безопасности, разработка интенсивных и ресурсоэкономных технологий ведения сельского хозяйства.

6 Математика, физика, информационные технологии – математическое и физическое моделирование систем, структур и процессов в природе и обществе, информационные технологии, создание современной информационной инфраструктуры.

7 Новые приборы, электроника, лазерно-оптическая техника – конкурентоспособные изделия радио-, микро-, нано-, СВЧ- и силовой электроники, микросенсорики, лазерно-оптической техники, разработка новых видов приборов, в том числе для научных целей.

8 Природопользование и экология – полезные ископаемые и недра Беларуси, методы эффективного использования и возобновления природных ресурсов, проблемы экологии, методы предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

9 Социально-ориентированная инновационная экономика – теоретико-методологические основы становления в Республике Беларусь инновационной социально-ориентированной экономики, обеспечивающей ее устойчивое развитие во взаимодействии с мировой экономической системой.

10 Человек, общество, культура, образование – философско-мировоззренческие предпосылки и логико-методологические основания общественного прогресса и социальной устойчивости, развития личности, культуры и образования, формирования идеологии белорусского общества.

11 Обороноспособность и национальная безопасность – научное обеспечение укрепления обороноспособности и повышения уровня национальной безопасности Республики Беларусь.

### **3 ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

#### ***3.1 Организационная структура науки***

В условиях рыночной экономики происходит коренная перестройка науки, связанная с созданием конкурентоспособной продукции, превращением науки в ведущую силу материального производства.

Необходимость научного подхода в производстве товаров, экономике и политике, среде управления и системе образования заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую область деятельности.

Совет Министров Республики Беларусь, являясь высшим органом управления в стране, осуществляет общее руководство научными исследованиями, обеспечивает единую политику в области науки и техники, организует разработку прогнозов, определяет основные направления и программы работ по решению важнейших научных и научно-технических проблем, принимает меры по повышению эффективности научных исследований и использованию их на производстве.

Непосредственное руководство научными исследованиями в стране осуществляет специальный орган управления – Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь (ГКНТ).

ГКНТ является республиканским органом управления, который проводит государственную политику, осуществляет регулирование и руководство в области науки, технологий и информатизации. Главными задачами ГКНТ являются:

- разработка и реализация государственной политики в области науки, технологии и информатизации;
- координация деятельности министерств и иных республиканских органов управления, объединений, организаций и заведений в области научной, научно-технической, инновационной деятельности и информатизации, а также международного сотрудничества в этих направлениях;
- проведение единой государственной политики в области международного научно-технического сотрудничества;
- обеспечение контроля исполнения законодательства Республики Беларусь по вопросам науки и технологий, а также использования государственных средств, выделяемых на финансирование науки;
- организационно-экономическое регулирование науки и техники;
- совершенствование структуры научно-технического потенциала республики и повышение эффективности его использования.

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

В составе Академии, основанной в 1929 году, по состоянию на 2002 год насчитывалось 54 научные организации, 9 самостоятельных хозрасчетных конструкторских бюро и опытных производств, 180 самостоятельных инновационных предприятий.



Руководство работой Академии осуществляет президент и выбранный коллективный орган – президиум. Научно-методическое руководство своими учреждениями Академия проводит через шесть отделений:

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

### ***3.2 Организация научно-исследовательской работы в вузах***

Значительный объём научных исследований выполняют высшие учебные заведения страны. Одним из преимуществ вузов при выполнении научных исследований перед другими научными организациями является наличие в их составе учёных и специалистов различного профиля, что позволяет проводить комплексные исследования на стыке научных дисциплин, обеспечивать мобильность научных коллективов.

К выполнению научных исследований в вузе привлекается профессорско-преподавательский состав, составляющий основное ядро высшей школы. В вузах, обеспечивающих высокую эффективность научных исследований по актуальным направлениям, организуются научные учреждения – проблемные научно-исследовательские лаборатории, а в некоторых случаях и самостоятельные научные учреждения (НИИ).

На кафедрах, в проблемных лабораториях и НИИ разрабатываются в основном фундаментальные и поисковые темы. Прикладные исследования выполняются, как правило, профессорско-преподавательским составом в свободное от основной работы время на основе хозяйственных договоров с организациями и предприятиями. Для выполнения хоздоговорных работ кафедры имеют право привлекать дополнительных штатных работников, совместителей, учебно-вспомогательный персонал, аспирантов и студентов.

Для организации хоздоговорных научных исследований в вузах создаются научно-исследовательские секторы (НИС) или научно-исследовательские части (НИЧ). Они осуществляют контроль за своевременностью и качеством выполняемых исследований, правильностью финансовых расчётов.

Концентрация научных исследований на кафедрах, в научных учреждениях вузов под руководством высококвалифицированных учёных с одновременной подготовкой научной смены через аспирантуру, возможность отбирать и оставлять в вузах наиболее талантливых выпускников, создаёт благоприятные условия для формирования в вузах научных школ, имеющих высокий авторитет в соответствующих областях

знаний.

Задачи, выдвигаемые современным производством перед инженерными кадрами, настолько сложны, что их решение требует творческого поиска, исследовательских навыков. В связи с этим современный специалист должен владеть не только необходимой суммой фундаментальных и специальных знаний, но и определёнными навыками творческого решения практических задач, постоянно повышать свою квалификацию, быстро адаптироваться к изменяющимся условиям. Их формирование начинается в вузе через участие студентов в научно-исследовательской работе.

### ***3.3 Подготовка и повышение квалификации научных и инженерных кадров***

В нашей стране главным направлением совершенствования кадровой политики в последние годы является не столько количественный рост численности ученых, сколько повышение уровня их подготовки. Основным источником пополнения научных кадров являются специалисты с высшим образованием – в сферу науки вовлекается до 10 % выпускников вузов.

Одной из форм подготовки научных кадров является *магистратура*, открываемая при высших научных учреждениях. Обучение в магистратуре осуществляется на основании «Положения о многоуровневой системе высшего образования в Республике Беларусь». Данное положение определяет общие положения, требования к подготовке и аттестации для получения академической степени «магистр». Магистерская подготовка осуществляется с целью обеспечения потребности в специалистах с углубленной научно-технической и теоретической подготовкой в первую очередь для пополнения научных и научно-педагогических кадров, а также руководителей высшего звена и повышения образовательного уровня специалистов. Программа обучения магистров предусматривает научно-исследовательскую и общеобразовательную подготовку.

Общеобразовательная часть дает специальные естественнонаучные и гуманитарные знания, повышает степень владения иностранным языком, углубляет профессиональный уровень образования. Научно-исследовательская часть направлена на подготовку обучающегося для дальнейшей научной, преподавательской или руководящей работы путем овладения современными методами решения соответствующих задач. Результаты научных исследований по окончании обучения оформляются в виде магистерской диссертации. Срок обучения в магистратуре – один год.

Важнейшей формой подготовки специалистов-исследователей является *аспирантура*, которая открывается при высших учебных заведениях и научно-исследовательских институтах, располагающих высококвалифицированными учеными, способными обеспечить

руководство аспирантами. Подготовка кадров через аспирантуру осуществляется по специальностям научных работников, номенклатура которых разрабатывается Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь. Учеба в аспирантуре осуществляется с отрывом от производства (очная сроком на 3 года) и без отрыва от производства (заочная сроком на 4 года). В очную аспирантуру принимаются специалисты в возрасте до 35 лет, в заочную – до 45 лет. Для поступления в аспирантуру необходимо сдать вступительные экзамены, а в процессе обучения аспиранты сдают кандидатские экзамены.

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

После завершения разработки диссертационной темы оформляется диссертация, подлежащая защите в специализированном совете. Такие советы организуются Высшей аттестационной комиссией при Совете Министров Беларуси (ВАК) в научных учреждениях и высших учебных заведениях, располагающих высококвалифицированными кадрами ученых соответствующего профиля. Защита диссертации признается успешной, если в результате тайного голосования за присуждение искомой ученой степени высказалось более 50 % членов совета, участвовавших в защите.

ВАК также рассматривает предложения Советов научных учреждений и принимает решения о присвоении ученых званий доцента и профессора.

В целях повышения эффективности разработки актуальных проблем науки, техники и культуры, совершенствования подготовки научно-педагогических и научных кадров высшей квалификации – докторов наук – в ряде организаций работает *докторантура*, как высшая ступень в единой системе непрерывного образования в стране. Докторантура организуется при ведущих вузах, научных учреждениях и организациях, располагающих высококвалифицированными научными кадрами и необходимой исследовательской и экспериментальной базой. В нее направляются кандидаты наук в возрасте до 40 лет, имеющие научные достижения, проявившие себя перспективными научно-педагогическими работниками. Подготовка специалистов в ней осуществляется сроком до трех лет только с отрывом от производства. Докторанты при необходимости могут командироваться в ведущие отечественные и зарубежные научные центры.

В современных условиях чрезвычайно важной задачей является систематическое пополнение и обновление знаний специалистов. С этой целью в нашей стране сформирована *система повышения квалификации*, состоящая из институтов повышения квалификации, подчиненных соответствующим отраслевым министерствам и ведомствам, и факультетов

повышения квалификации, организованных в основном в высших учебных заведениях. Каждый специалист республики обязан один раз в пять лет пройти через систему повышения квалификации и обновить свои знания. Преподают в таких институтах и на факультетах высококвалифицированные специалисты народного хозяйства, профессора и преподаватели вузов.

Для подготовки и переподготовки высшего руководящего состава народного хозяйства на уровне министерств, производственных объединений, руководителей крупных промышленных предприятий организована *Академия управления при Президенте Республики Беларусь* со сроком обучения до двух лет.

### **3.4 Международное научное сотрудничество**

Республикой Беларусь подписаны межправительственные соглашения о сотрудничестве в области науки и технологий с 26 государствами мира, в том числе с Великобританией, Германией, Индией, Китаем, Россией, США, Японией и другими. Республика Беларусь избрана в состав Комиссии ООН по науке и технике в целях развития, является членом Европейской организации ядерных исследований, участвует в работе Объединенного института ядерных исследований в Дубне (Россия), присоединилась к Международному научно-техническому центру.

Ученые и научные организации Республики Беларусь принимают активное участие в научных программах Европейского союза, таких как COPERNICUS-2, INTAS, TACIS, ESPRIT, TEMPUS. Эти программы работают в рамках Европейского научного пространства (ЕНП). Оно было создано с целью обеспечения максимально благоприятных условий для проведения научных исследований в Европе, повышения результативности научных исследований и усиления инновационных процессов в Европе. Основной задачей ЕНП является обеспечение максимально эффективного использования научного потенциала и материальных ресурсов стран Европейского союза (ЕС), с учетом накопленного ими опыта и достижений на основе тесной взаимосвязи европейской и национальной научной политики, обмена знаниями и информацией, а также свободного передвижения ученых в границах стран ЕС.

Основным стимулом создания программ ЕНП послужил тот факт, что инвестиции США и Японии в научно-технологическое развитие значительно превосходят аналогичные показатели стран ЕС и этот разрыв постоянно увеличивается не в пользу Европы. В настоящее время доля научных исследований в странах ЕС составляет в среднем 1,8 % европейского внутреннего валового продукта (для сравнения: в США аналогичный показатель равен 2,8 %, в Японии 2,9 %). Это объясняется фрагментарностью и неудовлетворительным координированием

национальных и европейских программ.

По мнению исполнительного органа ЕС – Европейской комиссии, для исправления сложившегося положения необходимо объединить ресурсы стран ЕС, в каждой из которых национальная научная политика будет реформирована в соответствии с единым европейским стандартом. Комитет по вопросам промышленности, внешней торговли, научных исследований и энергетики ЕС призвал правительства государств ЕС приложить усилия к тому, чтобы не менее 3 % от внутреннего валового продукта направлялось на научные исследования. Члены Комитета особенно озабочены тем, что страны ЕС не признают дипломы других государств и создают лишние законодательные преграды для получения патентов. Поле деятельности единого научного пространства в перспективе очень обширно, так что на нем есть место не только для стран-членов ЕС.

Особая роль отводится странам с развивающейся и переходной экономикой. Что касается стран СНГ, то здесь преследуется двоякая цель: во-первых, стабилизировать научный потенциал этих государств, во-вторых, содействовать решению проблем, представляющих взаимный интерес, в области энергетики, нераспространения вооружений, улучшения здравоохранения и обеспечения экологической безопасности, в том числе ядерной. В основе стабилизации потенциала научно-исследовательской сферы лежит более тесное сотрудничество и активизация взаимодействия с научными сообществами ЕС, прежде всего с помощью [INTAS](#) (Международной ассоциации содействия сотрудничеству с учеными из новых независимых государств бывшего Советского Союза). Программы и конкурсы INTAS содействуют проведению фундаментальных и прикладных исследований во всех научных направлениях на основе совместной деятельности с более чем 40 странами.

Практическое создание ЕНП началось с реализации Шестой Рамочной программы ЕС 2002 – 2006 гг. Все ее направления исследований подчинены главной цели – объединению европейской науки. Методы выполнения программы разработаны с целью оказания максимальной поддержки бизнесу, академическим кругам и научно-исследовательским институтам. Таким образом, было положено начало созданию благоприятного научно-технологического климата в Европе с целью преобразования ее в мировой центр научных исследований.

## **4 НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

### **4.1 Структура научного исследования**

*Научное исследование* – это процесс познания объективной действительности, закономерностей и связей между явлениями реального

мира. Познания представляет собой сложный процесс движения человеческого сознания, человеческой мысли от незнания к знанию, от неполных или неточных знаний к более полным и точным. *Цель* любого научного исследования – всестороннее, достоверное изучение объектов, процессов или явлений, их структуры, связей и отношений на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также получение и внедрение в производство 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.

Научное исследование проходит ряд этапов, которые составляют структуру научного исследования. Ее можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 4.1.

1 Первым этапом любого научного исследования является постановка проблемы. На нем осуществляется не только поиск проблемы, но и точная, четкая формулировка задачи научного исследования, так как от нее в значительной мере зависит успешный исход работы. В постановку проблемы включают сбор и обработку исходной информации – данных о технических и теоретических методах и средствах решения аналогичных задач, результатах других исследований в смежных областях (анализ названной информации проводится не только в начале, но и в процессе всего исследования).



Рисунок 4.1 – Структура научного исследования

2 Второй шаг – выдвигение 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 неперенного участия авторов исследования.

## 4.2 Классификация научных исследований

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

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 и т.п.

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

*Фундаментальные исследования* направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы, на создание новых принципов исследования. Цель фундаментальных исследований – открытие новых законов, вскрытие связей между явлениями и создание новых теорий. Фундаментальные исследования связаны со значительным риском и неопределенностью с точки зрения получения конкретного положительного результата, вероятность которого не превышает 10 %. Такие исследования ведутся на границе известного и неизвестного. Несмотря на это, именно фундаментальные исследования составляют основу развития как самой науки, так и общественного производства.

*Прикладные исследования* – создание новых либо совершенствование существующих средств производства, предметов потребления и т. д. Прикладные исследования, в частности исследования в области технических наук, направлены на «овеществление» знаний, полученных в результате фундаментальных исследований. Прикладные исследования в области техники, как правило, не имеют непосредственного дела с природой. Объектом исследования в них обычно являются машины, технологии или организационная структура, то есть искусственная природа. Практическая ориентация и конкретное целевое назначение прикладных исследований делает вероятность получения ожидаемых от них результатов весьма значительной, не менее 80 – 90 %. В результате прикладных исследований на основе научных понятий создаются технические. Прикладные исследования, в свою очередь, подразделяются на поисковые, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

*Поисковые* исследования направлены на установление факторов, влияющих на объект, отыскание путей создания новых технологий и техники на основе способов, предложенных в результате фундаментальных



исследований. В результате *научно-исследовательских работ* создаются новые технологии, опытные установки, приборы и т. п. Целью *опытно-конструкторских работ* является подбор конструктивных характеристик, определяющих логическую основу конструкции.

В результате фундаментальных и прикладных исследований формируется новая научная и научно-техническая информация. Целенаправленный процесс преобразования такой информации в форму, пригодную для освоения в промышленности, обычно называется разработкой. *Разработка* – использование результатов прикладных исследований для создания и отработки опытных моделей техники (машин, устройств, материалов, продуктов), технологии производства, а также усовершенствование существующей техники. На этапе разработки результаты, продукты научных исследований, принимают такую форму, которая позволяет их использовать в других отраслях общественного производства. Конечной целью разработки является подготовка материалов прикладных исследований к внедрению.

Между фундаментальными исследованиями и производством лежит область взаимосвязанных стадий, указанных на рисунке 4.2. Проектирование и освоение относятся и к области науки, и к области техники. Они являются научной работой, поскольку предполагают творческую деятельность, не только основанную на известных навыках, стандартных приемах и практическом опыте, но и направленную на получение новых оригинальных решений в области техники, технологии или организации производства.

По степени важности для народного хозяйства научные исследования подразделяются на важнейшие работы, выполняемые по научно-техническим программам, утвержденным Государственным комитетом по науке и технологиям, работы, выполняемые по планам отраслевых министерств и ведомств и работы, выполняемые по планам научно-исследовательских организаций.

В зависимости от источника финансирования научные исследования делят на госбюджетные, хоздоговорные и нефинансируемые. Госбюджетные научные исследования финансируются республиканскими органами государственного управления, НАН Беларуси, государственными организациями, подчиненными Правительству Республики Беларусь, за счет средств республиканского бюджета. К финансированию программ могут привлекаться и иные средства, включая средства местных бюджетов и инновационных фондов республиканских органов государственного управления. Хоздоговорные работы финансируются организациями-заказчиками (производственными либо научно-исследовательскими) на основе хозяйственных договоров. Нефинансируемые исследования выполняются по собственной инициативе научного коллектива.

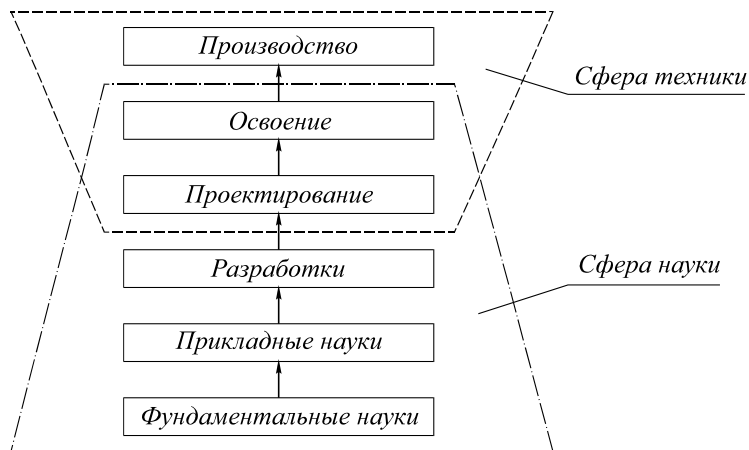


Рисунок 4.2 – Этапы создания технического новшества

#### 4.3 Государственные программы научных исследований

В настоящее время в Республике Беларусь действует Положение, регулирующее порядок разработки, финансирования и выполнения Государственных программ фундаментальных и прикладных научных исследований. В соответствии с ним Государственные программы научных исследований подразделяются на государственные программы фундаментальных, ориентированных фундаментальных и прикладных научных исследований.

Государственная программа фундаментальных исследований – это комплекс взаимосвязанных теоретических и (или) экспериментальных поисковых научно-исследовательских работ, направленных на получение новых знаний об основных закономерностях развития природы, человека, общества, искусственно созданных объектах и способах их применения. Конечной целью государственной программы фундаментальных научных исследований является получение новых научных знаний, выражаемых в виде законов, теорий, гипотез, принципов, направлений исследований и в других формах.

Государственная программа ориентированных фундаментальных исследований – это комплекс тематически увязанных заданий, направленных на решение отдельной крупной научной проблемы и на выяснение направлений дальнейшего использования полученных при этом новых знаний для получения практически важных результатов. Конечными целями государственной программы ориентированных фундаментальных

научных исследований являются получение новых знаний в рамках отдельной крупной научной проблемы, а также получение научных результатов, ориентированных на практическое применение.

Государственная программа прикладных научных исследований – это комплекс заданий, направленных на исследование путей практического применения открытых ранее явлений и процессов, решение конкретных научных задач, имеющих непосредственное приложение в народном хозяйстве. Конечными целями государственной программы прикладных научных исследований являются получение практически важных научных результатов, выражающихся в создании лабораторных образцов или макетов изделий, технологий, веществ, сортов и гибридов растений, образцов пород животных, методик и методических рекомендаций, а также проведение организационно-методических мероприятий по выполнению разработок в рамках государственных целевых и государственных научно-технических программ.

Программы научных исследований могут быть комплексными и включать фундаментальные и прикладные исследования. В таких случаях направленность заданий и конечные цели разделов программ должны отвечать требованиям, предъявляемым к соответствующим программам.

Программы разрабатываются на период, необходимый для достижения поставленных в них целей, но не более чем на 5 лет.

Организационное и методическое обеспечение разработки и выполнения программ научных исследований осуществляет Национальная академия наук Беларуси с участием других государственных заказчиков, а также Совета по координации фундаментальных и прикладных исследований (СКФПИ); программ прикладных научных исследований и программ комплексного характера, содержащих прикладную часть, – НАН Беларуси совместно с СКФПИ и Государственным комитетом по науке и технологиям с участием других государственных заказчиков программ.

Программы научных исследований разрабатываются по приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь, утверждаемым Советом министров Республики Беларусь по представлению Национальной академии наук Беларуси, с учетом приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь (см. подразд. 2.2).

#### **4.4 Связь науки с производством**

Конечными целями научно-технического прогресса являются повышение эффективности производства и улучшение жизненного уровня населения. Они будут достигнуты в том случае, когда в результате материализации и серийного выпуска продукции научно-технические

новшества станут производительной силой. Процесс доведения научных разработок до серийного выпуска можно показать в виде схемы, представленной на рисунке 4.3.

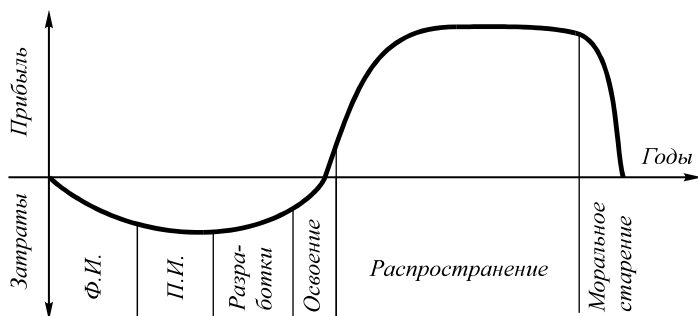


Рисунок 4.3 – Схема цикла «Исследование – производство»

График показывает, как с течением времени изменяется соотношение между затратами средств и прибылью при развитии научной идеи. На начальных стадиях фундаментального исследования (Ф. И.), прикладного исследования (П. И.) и «разработки» общество несет, в основном, только расходы. Внедрение первых образцов (освоение) – очень важный процесс. Это обязательный этап создания любого продукта производства, но он имеет скорее информационную, чем экономическую ценность. Факт единичного внедрения подтверждает успех научной идеи, ее конструктивной и технологической проработки. На стадии «освоение» обычно получают первый значительный экономический эффект, который, как правило, все же меньше понесенных до этого затрат. Если бы научные разработки доходили только до этой стадии, наука была бы для общества убыточной. Лишь на стадии «распространение» новшество дает эффект, который намного больше затрат и своими огромными масштабами может реально влиять на рост национального дохода, превращая науку в производительную силу. Поэтому надо четко различать понятия «первичного» внедрения и массового распространения новшества, его серийный выпуск.

Технический прогресс сопровождается совершенствованием старых и появлением новых материалов и технологий. Развитие техники, рост потребностей общества приводят к моральному старению объекта производства и прекращению его промышленного изготовления.

#### 4.5 Оценка экономической эффективности темы

Анализ тематики научного исследования позволяет всесторонне оценить и установить его пригодность для данной научно-исследовательской организации. Однако в ряде случаев при планировании возникает потребность в выборе наиболее перспективных, экономически обоснованных тем. В этом случае оценку народнохозяйственной необходимости разработки определяют исходя из численных критериев, простейшим из которых является критерий экономической эффективности

$$K_э = Э_н / З_н,$$

где  $Э_н$  – предполагаемый экономический эффект от внедрения;

$З_н$  – затраты на проведение научного исследования.

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

Однако критерий  $K_э$  не учитывает объем внедряемой продукции и период внедрения. Поэтому более объективным является критерий, вычисляемый по формуле [26]

$$K_э = C_г \sqrt{T / З_о},$$

где  $C_г$  – стоимость продукции за год после освоения научного исследования и внедрения в производство;

$T$  – продолжительность производственного внедрения в годах;

$З_о$  – общие затраты на выполнение научного исследования, опытное и промышленное освоение продукции и годовые затраты на ее изготовление по новой технологии.

Экономичность является важнейшим критерием перспективности научного исследования. Однако при оценке наиболее значимых для народного хозяйства тем этого критерия оказывается недостаточно, и требуется дополнительный анализ, учитывающий и другие показатели. В этом случае проводится экспертиза, которая выполняется специально подобранным составом высококвалифицированных специалистов (обычно от 7 до 15 человек). С их помощью в зависимости от специфики, направления или комплексности тематики устанавливаются оценочные показатели. Наиболее перспективной и приоритетной считается тема, получившая максимальную поддержку экспертов.

### 5 МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 5.1 Основные методы теоретических и эмпирических исследований

Научное исследование не может осуществляться хаотически, беспорядочно. Оно должно иметь определенную систему и подчиняться

заранее разработанному плану. Ориентиром, указывающим путь к получению положительного результата, является метод исследования.

*Метод* – это способ достижения цели, являющийся программой построения и практического применения теории. Разнообразные методы научного познания, в том числе характерные для исследований в области транспортной техники, условно подразделяются на ряд уровней: эмпирический, экспериментально-теоретический, теоретический и метатеоретический.

Методы эмпирического уровня конкретно связаны с изучаемыми явлениями и используются на этапе формирования научной гипотезы. В их числе:

– *наблюдение* – это способ познания объективного мира, основанный на непосредственном восприятии предметов и явлений при помощи органов чувств без вмешательства в процесс со стороны исследователя;

– *сравнение* – это установление различия между объектами материального мира или нахождение в них общего, осуществляемое как при помощи органов чувств, так и при помощи специальных устройств;

– *счет* – это нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров, характеризующих те или иные свойства;

– *измерение* – это физический процесс определения численного значения некоторой величины путем сравнения ее с эталоном.

Методы экспериментально-теоретического уровня помогают исследователю обнаружить те или иные достоверные факты, объективные проявления в протекании исследуемых процессов. С их помощью производится накопление фактов, их перекрестная проверка. Теоретическая обработка фактов требует не только их сбора, но и систематизации, когда между ними вскрываются неслучайные зависимости, определяются причины и следствия. Первоначальная систематизация фактов и их анализ проводятся методами эмпирического уровня. Отбор, классификация, осмысливание воспринятого материала выполняются методами экспериментально-теоретического уровня. К методам экспериментально-теоретического уровня относятся: эксперимент, анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия, моделирование, гипотетический и исторический методы.

*Эксперимент* – это одна из сфер человеческой практики, в которой подвергается проверке истинность выдвигаемых гипотез или выявляются закономерности объективного мира. При эксперименте, в отличие от наблюдения, исследователь с целью познания вмешивается в изучаемый процесс. Это позволяет изучать явления в «чистом виде» при помощи устранения побочных факторов. В случае необходимости испытания могут повторяться и организовываться так, чтобы исследовать отдельные свойства

объекта, а не их совокупность. При этом одни условия опыта изолируются, другие исключаются, а третьи усиливаются или ослабляются;

*Анализ* (аналитический метод) – метод научного познания, заключающийся в мысленном расчленении объекта исследования на составные части или выделение присущих ему признаков или свойств для изучения их в отдельности. Анализ позволяет проникнуть в сущность отдельных элементов объекта, а также установить виды связей и способы взаимодействия между ними.

*Синтез* – метод исследования, предполагающий рассмотрение группы объектов как единого целого с учетом взаимосвязи всех составных частей и присущих ей признаков. Метод синтеза характерен для исследования сложных систем после анализа всех его составных частей. Поэтому анализ и синтез взаимосвязаны и дополняют друг друга.

*Индуктивный метод* заключается в том, что от наблюдения частных единичных случаев приходят к общим выводам, а от отдельных фактов – к обобщению. Суть метода состоит в переносе свойств с известных фактов и объектов на неизвестные, еще неисследованные. Например, из наблюдений, зафиксировавших расширение железа, меди и олова при нагреве, сделан общий вывод, что все металлы расширяются при нагревании.

*Дедуктивный метод* основан на выводе частных положений из общих правил, законов, суждений. Например, в теоретической механике из общих законов или аксиом выводятся частные зависимости.

Метод индукции наиболее распространен в естественных и прикладных науках, а дедукция широко используется в точных науках.

*Аналогия* – метод исследования, заключающийся в том, что из сходства некоторых признаков или свойств в целом различных объектов делается вывод о сходстве и других признаков или свойств, до того не изученных. Степень достоверности умозаключений по аналогии зависит от количества сходных признаков у сравниваемых явлений (чем их больше, тем большую вероятность имеет заключение). Аналогия тесно связана с моделированием, или модельным экспериментом.

*Моделирование* (от лат. *modulus* – мера) – это исследование свойств объекта не на нем самом, а на модели, подобной изучаемому объекту. Если обычный эксперимент имеет дело непосредственно с объектом исследования, то при моделировании используют более доступные для изучения объекты. Более подробно моделирование рассмотрено в подразд. 5.2.

*Гипотетический метод* познания предполагает разработку научной гипотезы. Рабочая гипотеза – это обоснованное предположение о вероятной причине возникновения наблюдаемых фактов либо о предположительном развитии процесса или явления. Она формируется на основе изучения физической, химической и др. сущности исследуемого явления. Выдвинутая

в результате исследования гипотеза в дальнейшем подвергается анализу и в случае ее подтверждения становится основой для дальнейших исследований.

*Исторический метод* познания является одним из основных в социально-экономических и гуманитарных науках. Он также иногда оказывается полезным в естественных и технических науках. Этот метод предполагает анализ возникновения, формирования и развития объектов в хронологической последовательности, в результате чего исследователь получает дополнительные знания об изучаемом объекте (явлении) в процессе его развития.

Методы теоретического уровня предназначены для логического исследования собранных фактов, выработки понятий, суждений, формирования умозаключений. На этом уровне научное мышление освобождается от эмпирической описательности, создает теоретические обобщения. Устанавливается соответствие ранних научных представлений с возникающими новыми, и новые теоретические знания надстраиваются над эмпирическими. Здесь широко используются логические методы сходства, различия, сопутствующих изменений. К методам теоретического уровня относятся: абстрагирование, идеализация, формализация, анализ и синтез, индукция и дедукция, аксиоматика, обобщение и др.

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

*Идеализация* – это мысленное конструирование объектов, которые практически неосуществимы (например, идеальный газ, абсолютно твердое тело). Она применяется при гипотетическом методе познания. В результате идеализации реальные объекты могут быть лишены некоторых присущих им свойств и наделены свойствами, соответствующими рабочей гипотезе.

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

*Аксиоматический метод* – способ построения научной теории, при котором некоторые утверждения (аксиомы) принимаются без доказательства и затем используются для получения остальных знаний по определенным логическим правилам.

*Обобщение* – определение общего понятия, в котором находит



отражение главное, характеризующее объекты данного класса. Это средство для образования новых научных понятий, формулирования законов и теорий.

Методы метатеоретического уровня предназначены для исследования самих теорий и разработки путей их построения. С их помощью изучается система положений и понятий данной теории, устанавливаются границы ее применения, способы введения новых понятий, обосновываются пути синтезирования нескольких теорий. К методам рассматриваемого уровня относят диалектический метод и метод системного анализа.

*Диалектический метод* разрабатывает подходы к развитию теорий на основе применения общефилософских положений к решению частных задач.

*Системные методы* используются при исследованиях сложных систем с многообразными связями, характеризуемыми непрерывностью и дискретностью, детерминированностью и случайностью. К числу таких методов относятся исследование операций, теория массового обслуживания, теория управления, теория множеств и др. В настоящее время такие методы получили широкое распространение в связи с развитием ЭВМ.

При анализе явлений и процессов в сложных системах возникает потребность рассматривать большое количество факторов (признаков), среди которых важно уметь выделять главные и исключать второстепенные, существенно не влияющие на исследуемое явление. Для этого используется *метод ранжирования*. Он допускает усиление основных и ослабление второстепенных факторов, то есть размещение их по определенным правилам в ряд убывающей или возрастающей последовательности по силе фактора.

## **5.2 Основные понятия моделирования**

*Моделированием* называется замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели. Моделирование применяется обычно в тех случаях, когда исследование непосредственно на натурном объекте затруднительно либо опасно.

*Модель* (в переводе с французского – образец) – это упрощенная форма представления реальных процессов и взаимосвязей в системе, позволяющая изучить, оценить и прогнозировать влияние составляющих элементов (либо отдельных факторов) на поведение системы в целом. В научном исследовании под моделью понимают искусственно созданную систему, которая в определенном отношении схожа с исследуемым объектом, так как

воспроизводит его характерные черты и явления, происходящие в натуральных условиях.

Все многообразие моделей можно разделить на 2 класса: вещественные (физические или для объектов техники механические) и воображаемые (математические).

*Физической моделью* может считаться установка, в которой осуществлено полное или неполное моделирование и соответственно физическое подобие, благодаря чему по характеристикам модели можно получать все существенные для данной задачи характеристики натурального объекта умножением на масштабные коэффициенты. Физическая модель отличается от натурального объекта своими размерами, но процессы, совершающиеся в ней, по своей природе не отличаются от процессов, происходящих в натуре (то есть это копия физически реальной системы), например, модели самолетов и их испытания в аэродинамических трубах. Физическое моделирование целесообразно в тех случаях, когда исследовать влияние изменения конструктивных параметров на те или другие процессы на натурном объекте очень трудоемко и дорого либо вовсе невозможно.

Другим видом вещественного моделирования является *моделирование по аналогии*, при котором модель и натуральный объект или явление имеют различную физическую природу, но описываются однотипными уравнениями. Моделирование по аналогии гораздо проще и дешевле физического, так как оно может осуществляться на ЭВМ или с помощью электрических или иных моделей. Однако для исследуемого процесса не всегда удастся получить необходимое аналитическое выражение, а без этого моделирование по аналогии невозможно.

В качестве примера моделирования по аналогии рассмотрим колебания вагона на рессорах. Упрощенная схема механической системы вагона представляет собой тело массы  $m$ , установленное на пружину с коэффициентом жесткости  $C_{\pi}$ , как это показано на рисунке 5.1, *a*. Свободные колебания такой системы описываются уравнением

$$m\ddot{z} + C_{\pi}z = 0, \quad (5.1)$$

где  $Z$  – вертикальная координата центра масс вагона.

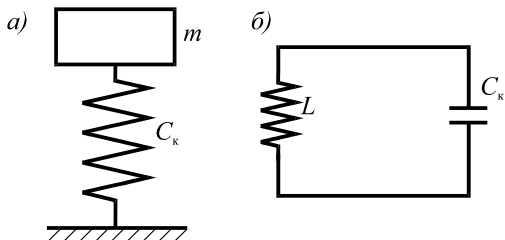


Рисунок 5.1 – Механическая модель и электрический аналог

Уравнения электрических колебаний в контуре, включающем конденсатор с электрической емкостью  $C_k$  и катушку индуктивностью  $L$ , схема которого представлена на рисунке 5.1, б, описываются уравнением

$$L\ddot{q} + \frac{1}{C_k}q = 0, \quad (5.2)$$

где  $q$  – заряд на одной из обкладок конденсатора.

Если в уравнениях (5.1) и (5.2) сделать подстановки

$$\omega = \sqrt{\frac{C_n}{m}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC_k}},$$

то оба уравнения примут одинаковую форму

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0.$$

Следовательно, существует аналогия электрической и механической систем, причем  $\omega$  имеет смысл круговой частоты собственных колебаний, масса механической системы  $m$  соответствует индуктивности  $L$ , а коэффициент жесткости пружины  $C_n$  соответствует величине, обратной электрической емкости  $C_k$ .

Под *математическим моделированием* понимается процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики исследуемого натурального объекта или процесса. Математическая модель представляет собой систему математических соотношений – формул, функций, уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса. При этом подобие физических процессов модели и оригинала не сохраняется. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и от задач исследования и требуемой точности решения. Математическое моделирование, методика которого рассмотрена в разделе 7, относится к воображаемому, логическому моделированию.

В настоящее время широко используются такие виды математического моделирования, как структурное, цифровое, функциональное.

Первым этапом *структурного* моделирования является создание математических моделей отдельных частей исследуемого объекта или процесса. В результате их объединения в единую систему и расположения в определенной последовательности с учетом взаимодействий между частями получается математическая модель структурного типа.

При *цифровом* моделировании элементы, производящие математические

операции, являются дискретными. На современном этапе развития техники и информационных технологий такое моделирование выполняется с помощью ЭВМ, поэтому его также называют *компьютерным* моделированием. Преимуществом цифровых моделей является возможность получения результатов с высокой точностью.

*Функциональное* моделирование – это моделирование, осуществляемое на установках, в которых комплекс моделируемых явлений не только не сохраняет физическую природу, но может и не описываться формально одинаковыми уравнениями. При функциональном моделировании подобными считаются явления, которые в каком-то смысле, в отношении каких-то частных процессов или отдельных их сторон дают похожие результаты.

### **5.3 Условия механического подобия**

При создании моделей следует стремиться к идентичности характеристик модели и натурального объекта. Чтобы достичь такого соответствия, разработана специальная теория механического подобия.

Нижней ступенью подобия является *геометрическое подобие*. Подобными в геометрии называются фигуры, имеющие одинаковые формы и пропорциональные размеры. Отношение длин линий фигур называется масштабом, или коэффициентом подобия.

*Механическое подобие* – более высокая степень подобия. В механической модели соблюдение геометрического подобия обязательно. Однако необходимо еще и подобие физических параметров модели и натурального объекта, которое должно распространяться только на те характеристики, которые имеют существенное значение для изучаемого явления. Например, если внутренние напряжения в материале котла цистерны не влияют на исследуемый процесс колебаний жидкости в ней, то модель может быть изготовлена из любого материала, в том числе прозрачного, так как в этом случае подобие характеристик материала необязательно. Подобия геометрических и физических параметров являются условиями однозначности модели и натурального объекта.

Для перехода от характеристик натурального объекта к характеристикам модели используется понятие коэффициента подобия. Такие коэффициенты для данной модели являются постоянными величинами.

Для пояснения принципа определения коэффициентов подобия рассмотрим ситуацию, в которой необходимо исследовать динамику объекта на модели, размеры которой в  $k_l$  раз меньше, чем размеры натурального объекта. В этом случае  $k_l$  называют коэффициентом подобия линейных размеров. Если модель изготовлена из материала, плотность  $\rho$  которого в  $k_\rho$  раз меньше плотности оригинала, то масса модели может быть

рассчитана по формуле

$$m = \rho V .$$

Поскольку объем модели в  $(k_l)^3$  раз меньше объема натурального объекта, то их масса будет различаться в  $k_\rho (k_l)^3$  раз. Полученное произведение является коэффициентом подобия масс  $k_m$ . Движение такого объекта описывается основным законом динамики Ньютона  $F = ma$ , где  $a$  – ускорение, которое определяется двукратным дифференцированием линейных размеров

$$a = \frac{d^2 l}{dt^2} .$$

Следовательно, чтобы вычислить коэффициент подобия для ускорений модели и натурального объекта, нужно коэффициент подобия длины разделить на квадрат коэффициента подобия времени (знаки дифференцирования  $d$  не влияют на размерность):

$$k_a = \frac{k_l}{k_t^2} .$$

Аналогично рассуждая, получаем, что коэффициент подобия для сил

$$k_F = k_m k_a = k_\rho k_l^3 \frac{k_l}{k_t^2} = \frac{k_\rho k_l^4}{k_t^2} .$$

Таким образом, чтобы движение модели полностью соответствовало движению натурального объекта, необходимо отличие приложенных к нему сил в  $k_F$  раз.

Иногда бывает полезно установить, при каком соотношении между параметрами модели и натурального объекта явления, происходящие в них, будут физически подобны. Это устанавливается с помощью *критериев подобия*. Чтобы получить один из таких критериев, снова рассмотрим движение объекта и его модели под действием приложенных к ним сил.

Для обоих тел основной закон динамики запишется в виде:

$$F_i = m_i a_i, \quad a_i = \frac{d^2 l_i}{dt_i^2} \quad \text{или} \quad F_i = m_i \frac{d^2 l_i}{dt_i^2} .$$

Разделив обе части уравнения на  $F_i$ , получаем

$$\frac{m_i}{F_i} \frac{d^2 l_i}{dt_i^2} = 1 .$$

Следовательно, подставляя в предыдущее равенство вместо физических величин соответствующие коэффициенты подобия, получаем

$$\frac{k_m k_l}{k_F k_t^2} = 1,$$

что соответствует условию

$$\frac{m_1 l_1}{F_1 t_1^2} = \frac{m_2 l_2}{F_2 t_2^2} = idem.$$

Последнее соотношение устанавливает соответствие между параметрами исследуемого объекта и модели, и его называют критерием подобия (этот критерий установлен еще Ньютоном, поэтому носит его имя).

Для многих физических явлений установление критериев не только полезно, но и исключительно важно, так как описание этих явлений производится с помощью критериев подобия или в критериальной форме. Приведем некоторые наиболее распространенные критерии механического, гидродинамического, электрического и теплового подобия.

1 Объект движется ускоренно в поле тяготения. В этом случае используется критерий подобия Фруда Fr:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gt}},$$

где  $v$  – скорость объекта;

$g$  – ускорение свободного падения.

2 Если на движущийся объект исследования и его модель действуют помимо прочих сил силы упругости, подчиняющиеся закону Гука, то применяют критерий подобия Коши C:

$$C = \frac{\rho v^2}{E},$$

где  $\rho$  – плотность;

$E$  – модуль упругости.

3 Объект движется с ускорением в вязкой несжимаемой жидкости. В данном случае моделирования помимо общего критерия подобия Ньютона следует принимать в качестве определяющего критерий Рейнольдса Re:

$$Re = \frac{vd}{\nu} = idem,$$

где  $d$  – гидравлический диаметр;

$\nu$  – кинематическая вязкость жидкости.

Все подобия подчиняются некоторым общим закономерностям, которые устанавливаются теоремами подобия [12]. Основное предназначение этих теорем – обоснование возможности записи уравнений, описывающих сложные нелинейные системы, в безразмерной форме. Такая форма позволяет выяснить общие закономерности поведения рассматриваемых

систем и установить влияние разных факторов на параметры исследуемых процессов.

Существенная особенность критериев подобия – их безразмерность. Физические характеристики, входящие в выражение любого критерия, таковы, что все размерности сокращаются, поэтому величина критерия – число отвлеченное и, таким образом, сохраняющее одно и то же значение в любой системе единиц.

Критерии подобия процесса могут быть найдены, если известно его математическое описание или хотя бы та совокупность параметров, которой в данной задаче и в данных условиях можно характеризовать изучаемое явление. Однако история дает немало примеров, когда создатели моделей не знали критериев подобия и не пользовались ими. Так обстояло дело на заре моделирования в технике. Подобная ситуация, в частности, наблюдается в тех областях науки (например, в биологии и медицине), где по тем или иным причинам математика еще в достаточной мере не пришла на помощь ученым и количественные оценки явлений только еще начинают проникать в методологию таких исследований.

## 6 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### 6.1 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 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.

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.

## **6.2 Вычислительный эксперимент**

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. Особенно ярко можно проиллюстрировать значение вычислительного эксперимента при исследовании масштабов современного воздействия человека на природу. То, что принято называть климатом – устойчивое среднее распределение температуры, осадков, облачности и т. д., – представляет собой результат сложного взаимодействия физических процессов, протекающих в атмосфере, на поверхности земли и в океане. Характер и интенсивность этих процессов в настоящее время изменяются значительно быстрее, чем в сравнительно близком геологическом прошлом в связи с воздействием загрязнения окружающей среды. Климатическую систему можно исследовать, строя соответствующую математическую модель, которая должна в развитии рассматривать взаимодействие между собой атмосферы, океана и суши. Физические эксперименты над климатической системой не только чрезвычайно дороги, но и весьма опасны, так как могут вывести ее из равновесия. Однако глобальный климатический эксперимент возможен, но не натуральный, а вычислительный, проводящий исследования не реальной климатической системы, а ее математической модели.

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 натуральный эксперимент.

### ***6.3 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 чётче 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 (см. подразд. 5.1). 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.

#### **6.4 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 проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствовать нормам).

Основоположником метрологии как науки в нашей стране был Д. И. Менделеев, создавший в 1893 г. Главную палату мер и весов, которой проведена, в частности, большая работа по внедрению метрической системы в бывшем СССР.

Метрологическая служба Республики Беларусь связана со всей системой стандартизации в стране, так как обеспечивает достоверность, сопоставимость показателей качества, закладываемых в стандарты, дает методы определения и контроля таких показателей. Метрологическая служба представляет собой разветвленную сеть научных и контрольно-испытательных организаций, способных выполнять значительные работы как в научно-теоретическом, так и в прикладных аспектах точных измерений. В настоящее время всю работу по стандартизации и метрологии в стране возглавляет Государственный комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете министров Республики Беларусь (Госстандарт), задачами которого являются совершенствование системы стандартизации и метрологии, расширение масштабов их использования для повышения технического уровня и качества продукции всех отраслей народного хозяйства, укрепление и развитие государственной метрологической службы, стандартизация методов, средств измерений и др. В основу его деятельности положен закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений», принятый в 1995 году.

Важнейшие значения в метрологии отводятся средствам измерений и эталонам. Согласно стандарту РМГ 29-99 (Рекомендации межгосударственные по стандартизации «Метрология. Основные требования и определения»), *измерение* – это нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Суть измерения составляет сравнение измеряемой величины с известной величиной, принятой за единицу (эталон). К *эталонам* относятся средства измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающих

воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим средствам измерения.

Для проверки рабочих (технических) средств измерения, постоянно используемых непосредственно в исследованиях, применяют *образцовые средства измерений*. Передача размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам осуществляется государственными и ведомственными метрологическими органами. Их деятельность обеспечивает единство измерений и единообразие средств измерений.

## **6.5 Использование в исследованиях единиц системы СИ. Метрическая система единиц**

*Метрическая система единиц* – это общее название международной десятичной системы единиц, основными единицами которой являются метр и килограмм. При некоторых различиях в деталях элементы системы одинаковы во всем мире. Метрическая система выросла из постановлений, принятых Национальным собранием Франции в 1791 и 1795 годах по определению метра как одной десятиmillionной доли участка земного меридиана от Северного полюса до экватора. Определяя метр как десятиmillionную долю четверти земного меридиана, создатели метрической системы стремились добиться инвариантности и точной воспроизводимости системы. За единицу массы они взяли грамм, определив его как массу одной millionной кубического метра воды при ее максимальной плотности.

Международная комиссия по метру в 1872 году постановила принять за эталон длины «архивный» метр, который представлял собой линейку из сплава платины с десятью процентами иридия, поперечному сечению которой придана X-образная форма для повышения жесткости при изгибе. В канавке такой линейки была продольная плоская поверхность, и метр определялся как расстояние между центрами двух штрихов, нанесенных поперек линейки на ее концах, при температуре эталона, равной 0 °С. В 1875 году многие страны мира подписали соглашение о метре, и этим соглашением была установлена процедура координации метрологических эталонов для мирового научного сообщества через Международное бюро мер и весов и Генеральную конференцию по мерам и весам. Точно также члены Комиссии приняли за эталон массы массу цилиндра высотой и диаметром около 3,9 см, сделанного из того же платиноиридиевого сплава, что и эталон метра.

Международные прототипы эталонов длины и массы – метра и килограмма – были переданы на хранение Международному бюро мер и весов, расположенному в Севре – пригороде Парижа. Они были выбраны из

значительной партии одинаковых эталонов, изготовленных одновременно. Другие эталоны этой партии были переданы всем странам-участницам в качестве национальных прототипов (государственных первичных эталонов), которые периодически возвращаются в Международное бюро для сравнения с международными эталонами.

Метрическая система была весьма благосклонно встречена учеными. Ее основными преимуществами оказались простота использования и независимость воспроизведения единиц измерения. Основываясь на элементарных законах физики, исследователи начали вводить новые единицы для разных физических величин, связывая их с единицами длины и массы метрической системы. Если в механике единицы измерения удалось согласовать, то в области электричества и магнетизма длительное время существовали несколько различных систем единиц.

Для устранения путаницы между ними в начале XX в. было выдвинуто предложение объединить практические электрические единицы с соответствующими механическими, основанными на метрических единицах длины и массы, и построить некую согласованную (когерентную) систему. В 1960 году XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла единую Международную систему единиц (СИ), дала определение основных единиц этой системы и предписала употребление некоторых производных единиц, «не предпрещая вопроса о других, которые могут быть добавлены в будущем». Тем самым впервые в истории международным соглашением была принята Международная система единиц, которая в настоящее время принята в качестве законной большинством стран мира.

*Международная система единиц (СИ)* представляет собой согласованную систему, в которой для любой физической величины предусматривается только одна единица измерения. Некоторым из единиц даны особые названия, примером может служить единица давления – паскаль, тогда как названия других образуются из названий тех единиц, от которых они произведены, например единица скорости – метр в секунду. В систему СИ входят 7 основных единиц измерения (метр, килограмм, секунда, кельвин, моль, ампер, кандела) и 2 дополнительные (радиан и стерадиан).

В настоящее время официальные определения основных и дополнительных единиц системы СИ таковы:

- метр ( $m$ ) – это длина пути, проходимого в вакууме светом за  $1/299\,792\,458$  долю секунды;
- килограмм ( $kg$ ) равен массе международного прототипа килограмма;
- секунда ( $s$ ) – продолжительность  $9\,192\,631\,770$  периодов колебаний излучения, соответствующего переходам между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133;
- кельвин ( $K$ ) равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры

тройной точки воды;

– *моль* равен количеству вещества, в составе которого содержится столько же структурных элементов, сколько атомов в изотопе углерода-12 массой 0,012 кг;

– *ампер (А)* – сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины с бесконечно малой площадью поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

– *кандела (кд)*, ранее называвшаяся свечой – это единица силы света в данном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частоты  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила светового излучения которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср. Это примерно соответствует силе света спермацетовой свечи, которая когда-то служила эталоном.

– *радиан (рад)* равен плоскому углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу;

– *стерадиан (ср)* равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на ее поверхности площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Приведенные определения показывают, что в настоящее время все основные единицы системы СИ, кроме килограмма, выражаются через физические константы или явления, которые считаются неизменными и с высокой точностью воспроизводимыми. Например, метр определяется через скорость света. Его можно воспроизвести независимо в любой хорошо оборудованной лаборатории. С развитием лазерной техники подобные измерения весьма упростились, и их диапазон существенно расширился. Погрешность при этом не превышает одной миллиардной. Точно также секунда в соответствии может быть реализована в компетентной лаборатории с точностью порядка  $10^{-12}$ . Время и его обратная величина – частота – уникальны в том отношении, что их эталоны можно передавать по радио. Поэтому каждый человек может принимать сигналы точного времени и эталонной частоты.

Что же касается килограмма, то еще не найден способ его реализации с той степенью воспроизводимости, которая достигается в процедурах сравнения различных эталонов массы с международным прототипом килограмма. Такое сравнение можно проводить путем взвешивания на пружинных весах, погрешность которых не превышает  $10^{-8}$ .

С помощью основных и дополнительных единиц образуются все производные. Из них наиболее важное значение имеют единица силы – ньютон, единица энергии – джоуль и единица мощности – ватт. Ньютон определяется как сила, которая придает массе в один килограмм ускорение,

равное одному метру за секунду в квадрате. Джоуль равен работе, которая совершается, когда точка приложения силы, равной одному ньютону, перемещается на расстояние один метр в направлении действия силы. Ватт – это мощность, при которой работа в один джоуль совершается за одну секунду.

## **7 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **7.1 Задачи и методы теоретического исследования**

*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 с т а д и й .

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

## **7.2 Выбор типа математической модели**

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 с х е м у в з а и м о д е й с т в и я о б ъ е к т а с в н е ш н е й с р е д о й по соотношению входных и выходных величин. Возможны четыре схемы взаимодействия:

– *одномерно-одномерная схема* (рисунок 7.1, 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 7.1, 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 7.1, в) – на объект воздействует несколько факторов, а его поведение оценивается по одному показателю;

– *многомерно-многомерная схема* (рисунок 7.1, 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.

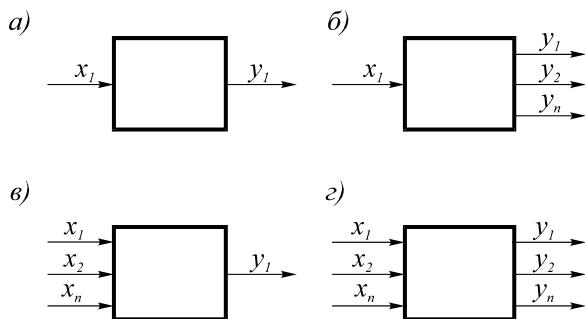


Рисунок 7.1 – Схемы моделей взаимодействия объекта с внешней средой

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.

### **7.3 Особенности конечноэлементного моделирования**

Конструкции транспортных средств состоят из большого количества деталей, большинство которых имеет сложную форму. Расчет напряженно-деформированного состояния таких деталей аналитическими методами весьма сложен либо вовсе невозможен, так как требует решения систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Поэтому широкое распространение получили численные методы прочностных расчетов. Наиболее известен из них метод конечных элементов (МКЭ). Идея его заключается в том, что всю область решения разбивают на подобласти достаточно малых конечных размеров и в пределах каждой такой подобласти используют чаще всего линейную аппроксимацию для представления искомой функции, при этом решение задачи получается в результате объединения найденных кусочных решений.

Решение задач прочности с применением МКЭ во многом зависит от правильного выбора расчетной схемы, аппроксимирующих ее конечных элементов, законов распределения действующих нагрузок, мест их

приложения, определения наиболее нагруженных зон.

Процесс создания конечноэлементной модели включает ряд процедур, представленных на рисунке 7.2.

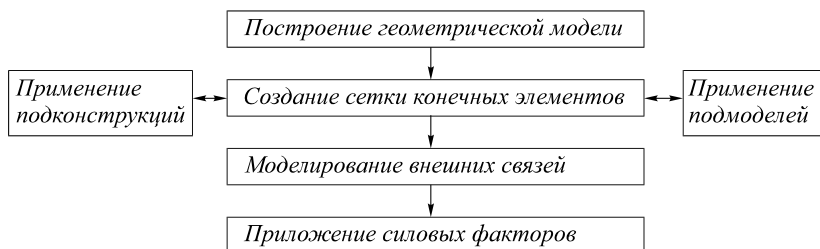


Рисунок 7.2 – Схема формирования конечноэлементной модели

Первая стадия – геометрическое моделирование – включает разработку пространственной модели конструкции с учетом всех тех ее параметров, которые могут оказать существенное влияние на результаты расчетов. На этой стадии помимо ввода геометрических размеров конструкции задаются свойства материалов, из которых она изготовлена. При создании геометрической модели могут импортироваться чертежи конструкции, выполненные в инженерных САД программах.

На этапе создания сетки конечных элементов выясняется целесообразность использования различных видов конечных элементов (балочных, оболочечных, объемных и т. д.) в рассматриваемой модели. На этой стадии выполняются мероприятия по созданию максимально возможного количества областей с регулярной сеткой конечных элементов. В тех местах, где предполагается концентрация напряжений, необходимо использование более мелкой сетки. Для более детального рассмотрения некоторых областей, а также для снижения трудоемкости работы и времени расчета применяют методы подмоделей и подконструкций. На рисунке 7.3 представлена схема разбиения на конечные элементы модели железнодорожной цистерны при расчете конструкции на прочность.

На стадии моделирования внешних связей следует учитывать особенности взаимодействия деталей конструкции при различных вариантах нагружения. Количество связей и их виды должны быть такими, чтобы обеспечить построение кинематически неизменяемой модели.

Приложение силовых факторов должно соответствовать реальной работе конструкции при рассматриваемых режимах эксплуатации. На этой стадии устанавливаются законы распределения активных сил по объему или поверхности конструкции.

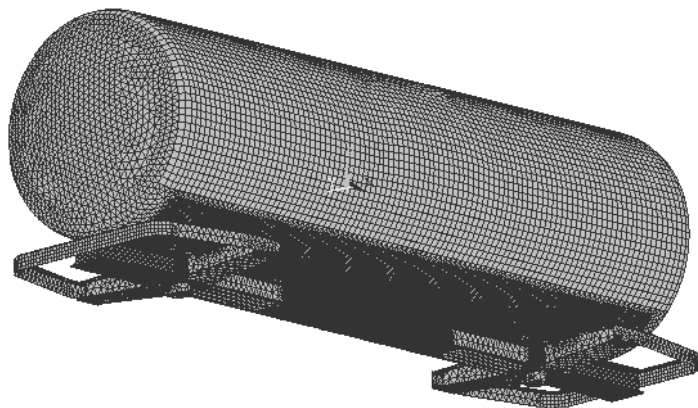


Рисунок 7.3 – Конечноэлементная модель железнодорожной цистерны модели 15-1443

После создания конечноэлементной модели выполняется расчет конструкции, который включает три этапа:

- задание аппроксимирующей функции для каждого отдельного конечного элемента;
- объединение конечных элементов в ансамбль;
- нахождение значений функции в узлах модели, которые соответствуют заданным граничным условиям.

В настоящее время создано большое количество программных продуктов, реализующих описанный алгоритм, таких как ANSYS, ADAMS, NASTRAN, MARC и др.

Применение метода конечных элементов позволяет еще на стадии проектирования проработать различные конструктивные решения тех или иных узлов и выбрать из них наилучшие, до минимума сократив при этом затраты средств на дорогостоящие натурные испытания.

## 8 НАУЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ И ИЗДАНИЯ

### 8.1 Оформление результатов научной работы

Для того чтобы результаты научной деятельности могли быть использованы на практике, важно не только грамотно организовать и провести изучение объекта, но и правильно оформить результаты научных изысканий. Объектом, содержащим научно-техническую информацию и предназначенным для ее хранения и использования, является *научный документ*. Он может представлять собой отчет, доклад, статью и т. д.

При подготовке научной рукописи наряду с ясностью изложения, системностью и последовательностью в подаче материала необходимо соблюдать определенные требования к оформлению.

Текст рукописи следует делить на абзацы. Критерием такого деления является смысл. Правильная разбивка облегчает чтение и усвоение содержания. В рукописи следует избегать повторений, не допускается переход к новой мысли, пока первая не получила законченного выражения. Цитаты в рукописи должны иметь точные ссылки на источники. Весь вспомогательный материал лучше привести в виде приложения.

Любая научная работа включает ряд **с о с т а в н ы х э л е м е н т о в**. Перечислим основные требования, предъявляемые к ним.

*Название* работы должно быть кратким, определенным, отвечающим содержанию исследования, так как по нему научная работа будет классифицирована в библиотечном каталоге.

*Оглавление* призвано раскрыть перед читателем в краткой форме содержание работы путем обозначения основных разделов, частей, глав и других составных элементов рукописи.

Иногда при оформлении научной работы возникает необходимость дать *предисловие*. В нем излагаются внешние предпосылки создания научного труда: чем вызвано его появление, когда и где была выполнена работа, перечисляются организации и лица, оказывавшие содействие при выполнении данной работы.

Во *введении* автор должен ввести читателя в круг рассматриваемых проблем, чтобы подготовить к лучшему усвоению изложенного материала. В нем определяются: значение проблемы, ее актуальность, цели и задачи, поставленные автором при написании научной работы, состояние проблемы на данный момент.

Вслед за введением дается *краткий обзор литературы* по рассматриваемому вопросу, который должен описывать развитие исследований по рассматриваемой проблеме и определить положение оформляемой работы в общей структуре научных документов по данной теме.

В *основное содержание* работы включаются материалы, методы,

экспериментальные данные, обобщения и выводы самого исследования. Для облегчения восприятия текст может сопровождаться иллюстрациями. В частности, цифровой материал целесообразно представлять в виде таблиц, диаграмм, графиков.

*Выводы* должны располагаться в конце работы как итоговый материал в виде кратко сформулированных отдельных тезисов либо в связном, но предельно сжатом изложении. В них надо соблюдать принцип: от частных к наиболее общим и важным положениям. Выводы должны отвечать только тому материалу, который изложен в работе, причем акцент должен быть сделан на новых результатах, полученных автором.

В *заключении* дается обобщение наиболее существенных положений научной работы. Человек, знакомый с исследованиями по данному направлению, прочитав заключение, должен ясно представить качественную сущность данной работы (без ее методических и конкретных количественных аспектов), сделать определенные выводы о возможных направлениях дальнейших исследований.

В конце работы приводится *перечень литературных источников* на основе порядковых номеров, указанных в тексте. Нумерация должна соответствовать порядку упоминания литературных источников в тексте либо располагаться в алфавитном порядке по фамилиям авторов (если количество авторов более трех, то расположение в списке определяется названием). Описание каждого литературного источника (книги, журналы, статьи и др.), как правило, должно включать фамилии и инициалы авторов, название, место и год издания, объем в страницах.

При необходимости в конце работы дается приложение, куда входят вспомогательные таблицы, графики, дополнительные тексты и прочие материалы. При этом каждому материалу, таблице, графику присваивается самостоятельный порядковый номер, который указывается в тексте при ссылке на материалы приложения.

Часто на основании текста работы приходится готовить аннотацию или реферат, основные требования к которым содержит ГОСТ 7.9–95.

*Аннотация* – это краткая характеристика научной работы, которая включает тип произведения, основную тему, проблему, объект, цель работы и ее результаты. Основная функция аннотации – сигнальная. В ней очерчивается круг вопросов, рассмотренных в данном произведении, и указывается категория читателей, для которой оно предназначено. При написании аннотации употребляются фразы с глаголами в возвратной форме («рассматривается», «обсуждается», «исследуется» и т.п.) или пассивной («рассмотрен», «исследован», «доказан» и т.п.). Средний ее объем – 500 печатных знаков. Аннотации помещаются в книгах, брошюрах, тематических планах издательств и т. д. (в книгах они располагаются, как правило, на обратной стороне титульного листа).

*Реферат* представляет собой сокращенное изложение содержания научной работы с основными сведениями и выводами. Согласно ГОСТ 7.9–95 реферат должен включать заглавие реферата (как правило, совпадающее с заглавием первичного документа) и его текст. Текст реферата включает тему, предмет, характер, цель работы, методы проведения работы, конкретные ее результаты (теоретические, экспериментальные, описательные), при этом предпочтение отдают новым и проверенным фактам, результатам долгосрочного значения, открытиям, важным для решения практических вопросов, а также выводы, характеристику области применения работы. Средний объем реферата в зависимости от объема реферируемых документов не должен превышать печатных знаков: 500 – для заметок и кратких сообщений; 1000 – для большинства статей, патентов; 2500 – для документов большого объема. Основная функция реферата в отличие от аннотации – познавательная, поэтому он может включать в себя фразы, выраженные любой грамматической формой. Рефераты помещаются в реферативных журналах и сборниках, информационных картах и др.

Основным документом, который оформляется по результатам научно-исследовательских работ, является *научно-технический отчет*. Согласно ГОСТ 7.32–2001 он должен включать аннотацию и реферат с кратким изложением задач исследования и полученных результатов, введение с характеристикой отечественных и зарубежных достижений по исследуемой проблеме и текст отчета. В текст отчета входят: постановка задачи, формулировка технического задания, анализ известных способов решения задачи, обоснование выбора метода решения задачи, расчеты и результаты экспериментов, выводы с сопоставлением и анализом полученных в процессе исследования теоретических и экспериментальных данных, заключение с оценкой результатов и указанием путей их использования.

## **8.2 Первичные и вторичные научные документы**

Все научные документы подразделяются на первичные (содержащие непосредственные результаты научных исследований и разработок, новые научные сведения или новое осмысление известных идей и фактов) и вторичные (содержащие результаты аналитико-синтетической и логической переработки одного или нескольких первичных документов или сведения о них). Как первичные, так и вторичные документы подразделяются на опубликованные (издания) и неопубликуемые. С развитием информационных технологий это разграничение становится все менее существенным.

В числе *первичных опубликованных научных документов* – книги (непериодические текстовые издания объемом свыше 48 страниц) и брошюры (непериодические текстовые издания объемом свыше четырех, но



не более 48 страниц). Они подразделяются на научные, учебные, официально-документальные, научно-популярные и, наконец, по отраслям науки и научным дисциплинам. Среди книг и брошюр наиболее важное научное значение имеют монографии, содержащие всестороннее исследование одной проблемы или темы и принадлежащие одному или нескольким авторам, публикуются также сборники научных трудов, содержащие ряд произведений одного или нескольких авторов, рефераты и различные официальные или научные материалы. Для учебных целей издаются учебники и учебные пособия (учебные издания). Это неперiodические издания, содержащие систематизированные сведения научного и прикладного характера, изложенные в форме, удобной для преподавания и изучения.

Наиболее оперативным источником научно-технической информации являются периодические издания, выходящие через определенные промежутки времени постоянным для каждого года числом номеров. Традиционными видами периодических изданий являются газеты и журналы. К периодическим относятся также продолжающиеся издания, выходящие через неопределенные промежутки времени по мере накопления материала – сборники научных трудов институтов, вузов, научных обществ, публикуемых без строгой периодичности под общим заглавием «Труды», «Ученые записки», «Известия» и др.

К специальному виду технических изданий принято относить нормативно-техническую документацию, регламентирующую научно-технический уровень и качество выпускаемой продукции (стандарты, инструкции, типовые положения, методические указания и др.). *Стандарт* – нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентным органом. В Беларуси действуют четыре категории стандартов: межгосударственные (ГОСТы), стандарты Беларуси (СТБ), отраслевые (ОСТы), стандарты предприятий и объединений (СТП). В зависимости от содержания стандарты включают: технические условия и требования, параметры и размеры, типы, конструкции, марки, сортаменты, правила приемки, методы контроля, правила эксплуатации и ремонта, типовые технологические процессы и т. д. Издания, публикуемые от имени государственных или общественных организаций, учреждений и ведомств, содержащие материалы законодательного, нормативного или директивного характера называются официальными.

Важное значение для организации научно-исследовательских работ имеет патентная документация, представляющая собой совокупность документов, содержащих сведения об открытиях, изобретениях и других видах промышленной собственности, а также сведения об охране прав изобретателей. Патентная документация обладает высокой степенью

достоверности, так как подвергается тщательной экспертизе на новизну и полезность.

К основным видам *первичных непубликуемых научных документов* относятся научно-технические отчеты, диссертации, депонированные рукописи, научные переводы, конструкторская документация, информационные сообщения о проведенных научно-технических конференциях, симпозиумах, семинарах. Они могут быть размножены в необходимом количестве экземпляров и пользоваться правами изданий. В связи с наличием в непубликуемых документах ценной информации, опережающей сведения в опубликованных изданиях, органы научно-технической информации и сами разработчики стремятся оперативно распространять эти документы с помощью новейших средств информационных технологий.

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

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

В *обзорных изданиях* содержится концентрированная информация, полученная в результате отбора, систематизации и логического обобщения сведений из большого количества первоисточников по некоторой теме за определенный промежуток времени. Различают обзоры аналитические (содержащие аргументированную оценку информации, рекомендации по ее использованию) и реферативные (носящие более описательный характер).

*Реферативные издания* (реферативные журналы, реферативные сборники) содержат сокращенное изложение первичных документов или их частей с основными фактическими сведениями и выводами. Если реферативный журнал содержит рефераты опубликованных документов, то в реферативный сборник включается информация о непубликуемых документах и в некоторых случаях – о зарубежных исследованиях.

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

*Вторичные непубликуемые документы* включают регистрационные и информационные карты, учетные карточки диссертаций, указатели депонированных рукописей и переводов, картотеки (например, «Конструкторская документация на нестандартное оборудование»),

информационные сообщения. К ним принято относить также вторичные документы, которые публикуются, но рассылаются только по подписке (например, сборники рефератов научно-исследовательских работ).

### **8.3 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 к а т а л о г и , 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. Существуют специальные поисковые сайты (google.com, teoma.com, yandex.ru, Rambler.ru и другие), позволяющие по ключевым словам или словосочетаниям отыскать необходимую информацию. Однако доступ к наиболее ценной для практического применения информации ограничен с целью защиты интеллектуальной собственности.

#### **8.4 Правовая защита интеллектуальной и промышленной собственности**

Под *интеллектуальной собственностью* в международных соглашениях понимаются права на все результаты творческой деятельности человека. В современных условиях она приобретает все более существенное значение во всем мире. Интеллектуальная собственность, охраняемая в большинстве стран мира, является сейчас одним из наиболее мощных стимуляторов прогресса во всех отраслях развития общества – научно-технического, культурного и других. Для сферы производства наиболее важной является *промышленная собственность*, представляющая собой результаты

умственного труда, применяемые в промышленности.

Различные виды интеллектуальной собственности в той или иной форме охраняются во многих странах мира уже более 100 лет, но лишь в конце прошлого века появились важнейшие международные договоры, касающиеся защиты главнейших видов интеллектуальной собственности. Так, Парижская конвенция по охране объектов промышленной собственности (изобретений, промышленных образцов, товарных знаков и др.) была учреждена в Париже 20 марта 1883 г. и стала одним из самых важных документов в общей системе охраны интеллектуальной собственности. Если первыми участниками этой Конвенции были лишь 11 государств, то сейчас ее ратифицировали уже более 135 стран мира.

Бурное развитие производства во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства, а также рост международной торговли и обмена последними достижениями во всех областях науки и техники потребовали более высокой степени правового регулирования международных отношений в сфере интеллектуальной собственности. В результате 14 июля 1967 г. в Стокгольме была подписана "Конвенция, учреждающая Всемирную организацию интеллектуальной собственности" (ВОИС). В декабре 1974 г. ВОИС приобрела статус специализированного учреждения Организации Объединенных Наций. В настоящее время участником Конвенции являются более 170 государств (что составляет 90 % всех стран мира).

ВОИС преследует следующие основные цели:

- содействовать охране интеллектуальной собственности во всем мире путем сотрудничества между государствами;
- обеспечивать сотрудничество международных союзов в области охраны интеллектуальной собственности.

Беларусь является членом ВОИС с 19 сентября 1968 г., поэтому на ее территории правомочны международные соглашения по охране авторских прав.

Интеллектуальная собственность Республики Беларусь включает объекты, подлежащие защите авторским правом и законодательством об охране промышленной собственности. Их перечень приведен на рисунке 8.1.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ	
Авторское право	Промышленная собственность
<i>Произведения науки, литературы, искусства</i> в форме: – <i>письменной</i> (рукопись) – <i>электронной</i> (электронная база данных, компьютерная программа)	<i>Патенты:</i> на изобретения полезные модели промышленные образцы сорта растений

<ul style="list-style-type: none"> <li>– изображения (картина, фотокадр)</li> <li>– объемно-пространственной (скульптура, макет, сооружение)</li> <li>– звуко- или видеозаписи (магнитной, оптической, электронной)</li> </ul>	<p>топологии интегральных микросхем</p> <p><i>Свидетельства на товарные знаки (знаки обслуживания).</i></p>
--	---

Рисунок 8.1 – Схема интеллектуальной собственности

Одними из наиболее важных объектов промышленной собственности являются изобретения. *Во-первых*, именно патенты на изобретения в настоящее время составляют наибольшую часть объектов промышленной собственности, с помощью которых можно защитить всю гамму создаваемых объектов техники, устройства (оборудование, машины, приборы производственного и бытового назначения), различные вещества и материалы, спрос на которые в настоящее время находится на самом высоком уровне, и, наконец, только с помощью патентов на изобретения можно получить защиту новейших технологий от конкурентов. *Во-вторых*, именно изобретения воплощают в себе технический прогресс, возможности и перспективы его дальнейшего развития. А в тех случаях, когда возникает потребность в скорейшем получении прав на новейшие технические решения, относящиеся к устройствам, незаменимым объектом защиты является полезная модель, так как получить патент на нее значительно проще [31]. В таблице 8.1 содержатся сведения о количестве зарегистрированных в Беларуси объектов промышленной собственности (по информации Интернет-сайта Национального центра интеллектуальной собственности).

**Таблица 8.1 – Зарегистрированные в Государственном реестре Республики Беларусь объекты промышленной собственности**

Объекты промышленной собственности	Количество по годам				
	1999	2000	2001	2002	2003
Патенты на изобретения	550	537	529	691	1030
Патенты на полезные модели	96	138	253	325	468
Патенты на промышленные образцы	41	143	104	86	43
Товарные знаки	1920	1500	1490	1675	1925
Патенты на сорта растений	34	22	6	12	14

Органом управления национальной патентной системой с 1992 года стал Государственный патентный комитет Республики Беларусь (Белгоспатент). Он выполняет важнейшие функции по разработке национальной нормативно-правовой базы в области охраны и использования объектов

промышленной собственности; по информационному обеспечению научно-технического развития; по созданию условий для участия Республики Беларусь в освоении внутренних и внешних рынков.

### **8.5 Патенты на изобретения и полезные модели**

Для области транспортной техники наиболее важными документами, удостоверяющими права на авторство, приоритет и исключительное право использования, являются патенты на изобретения и полезные модели.

В соответствии с законом «*Изобретением*» признается техническое решение, являющееся новым, имеющее изобретательский уровень и промышленно применимое» [10]. Изобретение признается новым, если оно неизвестно из уровня техники, который, в свою очередь, определяется по всем общедоступным в Республике Беларусь и зарубежных странах сведениям до даты приоритета (т. е. к изобретениям предъявляется требование мировой новизны). Изобретение имеет изобретательский уровень, если оно напрямую не следует из источников научно-технической информации и соответствует современному уровню развития техники. Изобретение является промышленно применимым, если оно может быть изготовлено или использовано в промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях деятельности.

Законом Республики Беларусь «О патентах на изобретение и полезные модели» устанавливается, что объектами изобретения могут быть устройство, способ, вещество, штамм микроорганизма, культуры клеток растений и животных, применение известного ранее устройства, способа, вещества, штамма по новому назначению.

Признаком, отличающим объект изобретения «*Устройство*», является, в первую очередь, наличие конструктивных элементов. В таком изобретении содержится информация о том, как устроен объект, о связях между его элементами, описывается их взаимное расположение, форма, параметры и т. д. Для характеристики объекта изобретения «*Способ*» используются признаки, характеризующие действия над материальным объектом. Основным признаком объекта изобретения «*Вещество*» является качественный (ингредиентный) состав. *Штамм* – это культура микроорганизмов, выделенная из естественных местообитаний, которыми может быть окружающая нас среда (почва, вода и т. п.), а также организм животных или человека. Выделенные штаммы широко используются вследствие своей способности продуцировать полезные для человека вещества.

Не являются объектами изобретения:

– научные теории (нет технического решения, возможна защита авторским правом),

– предложения, касающиеся внешнего вида изделий, направленные на удовлетворение эстетических потребностей (возможна защита патентом на промышленный образец);

– топологии интегральных микросхем, сорта растений (существуют соответствующие законы на эти объекты промышленной собственности);

– алгоритмы и программы для вычислительных машин (в Республике Беларусь возможна защита только авторским правом);

– различные организационные мероприятия: методы организации хозяйства и управления им, условные обозначения, расписания, правила, методы управления умственными операциями;

– решения, противоречащие общественным интересам, принципам гуманности и морали.

Понятие изобретения включает в себя как технический, так и юридический смысл. *Технический смысл* заключается в том, что изобретение – это не просто высказанная идея, а достижение технического результата, конкретной пользы, путем, прежде всего, технического решения задачи. Для этого необходимо наличие конкретных технических признаков, например, конструктивных – для «Устройства», признаков действия – для «Способа» и т. д. *Юридический смысл* подразумевает наличие признаков патентоспособности: новизны, изобретательского уровня, промышленной применимости.

К объектам *полезной модели* относится только конструктивное выполнение средств производства и предметов потребления, а также их составных частей. Следовательно, ее характерным признаком является наличие конструктивного элемента, то есть признака, относящегося к признакам изобретения «Устройство». В этом состоит *технический смысл* понятия полезной модели. *Юридический смысл* заключается в признаках патентоспособности, включающих понятие новизны и промышленной применимости. Таким образом, в отличие от изобретения в полезной модели отсутствует признак – изобретательский уровень.

*Автором* изобретения, полезной модели может быть только физическое лицо (конкретный человек), творческим трудом которого они созданы. Если таких лиц несколько, то они признаются соавторами.

*Патентообладатель* – это физическое или юридическое лицо, которому выдан патент на изобретение, полезную модель. Ими могут быть: 1) авторы; 2) любое физическое либо юридическое лицо, указанное автором в заявлении до момента регистрации изобретения, полезной модели; 3) правопреемники указанных выше лиц (например, наследники).

*Приоритет* изобретения, полезной модели устанавливается, как правило, по дате поступления в патентный орган надлежащим образом оформленной заявки. Именно эта дата учитывается при установлении новизны.



Исключительное право использования означает, что никто без согласия патентообладателя не может использовать изобретение, полезную модель, на которые выдан патент. Исключительное право состоит в том, что оно дает возможность патентообладателю:

- использовать патент по своему усмотрению, не нарушая при этом прав других патентообладателей;
- запрещать использовать патент третьим лицам;
- к исключительному праву можно также отнести право патентообладателя уступить право на патент или передать право на использование патента на условиях лицензионного договора.

Патент на изобретение действует в течение 20 лет, на полезную модель – в течение 5 лет с даты поступления заявки в патентный орган, причем возможно продление патента на полезную модель, но не более чем на 3 года. Следовательно, патент ограничен по времени сроком его действия. Он также ограничен территорией действия, так как действителен только в пределах той страны, где выдан.

## 8.6 Содержание заявки на изобретение, полезную модель

Для получения патента необходимо оформить документы, соответствующие определенному набору требований. В Республике Беларусь они регламентируются «Правилами по составлению и подаче заявки на получение патента на изобретение и на полезную модель». В соответствии с ними заявка на изобретение либо на полезную модель должна содержать следующие документы:

- заявление о выдаче патента, в котором должны быть указаны авторы и лица, на чье имя испрашивается патент, а также их местожительство;
- описание изобретения, полезной модели, раскрывающее его (ее) суть с полнотой, достаточной для их осуществления;
- *формулу изобретения, полезной модели*, выражающую сущность изобретения, полезной модели;
- чертежи и иные материалы, если они необходимы для раскрытия и понимания сущности изобретения (для полезной модели чертежи обязательны);
- реферат – краткое изложение описания.

Описание изобретения или полезной модели должно включать шесть разделов:

1 Название изобретения и указание рубрики международной патентной классификации (МПК). *Название изобретения* должно характеризовать его назначение и соответствовать сущности изобретения. Оно, как правило, должно соответствовать *прототипу* – техническому решению, наиболее близкому к предлагаемому изобретению по сущности – прототип, который

соответствует объекту изобретения.

2 Область техники, к которой относится изобретение.

3 Уровень техники. В этом разделе выявляются аналоги и прототип, устанавливается новизна изобретения. *Аналоги* – это технические решения того же назначения, известные из общедоступных научных информационных источников и сходные с ним по набору существенных признаков. *Прототип* должен обладать наибольшим количеством существенных признаков, совпадающих с признаками предлагаемого изобретения, из выявленных аналогов. Чтобы изобретение было признано *новым*, не должен существовать аналог, совокупность признаков которого идентична всем признакам предлагаемого изобретения.

4 Сущность изобретения. Здесь описывается, как решается поставленная задача и достигается результат в предлагаемом техническом решении. В этом пункте должны быть отражены задача изобретения, технический результат, а также существенные признаки изобретения. Задача изобретения должна вытекать из анализа недостатков, присущих выявленным аналогам и прототипу. Она должна быть актуальной для общества и не реализованной в предыдущих технических решениях. В качестве технического результата могут быть повышение надежности, обеспечение безопасной работы, снижение экономических затрат и т. п. Существенными называют признаки, каждый из которых необходим, а все вместе достаточны для того, чтобы выразить сущность объекта изобретения.

5 Перечень прилагаемых чертежей.

6 Сведения, подтверждающие возможность практической реализации изобретения.

Объем правовой охраны, предоставляемой патентом, определяется формулой изобретения или полезной модели, имеющей самостоятельное юридическое значение. В частности по ней устанавливается факт использования изобретения, полезной модели или подпадание под действие другого патента.

При рассмотрении заявки проводится патентная экспертиза, в которой проверяются формула изобретения, соблюдение условий патентоспособности, установление приоритета, а также вопросы, касающиеся проведения и освещения заявителем уровня техники.

Пример оформления заявки на изобретение приведен в приложении А.

*ПРИЛОЖЕНИЕ А*  
*(обязательное)*

**Пример зарегистрированного патента на изобретение**

Описание изобретения к патенту Российской Федерации

*Номер патента* RU 2 228 830 С2

*МПК В 23 Р 11/02, G 01 L 1/22*

*Заявка:* 2002108473/02, 02.04.2002

*Дата начала действия патента:* 02.04.2002.

*Дата публикации заявки:* 10.12.2003.

*Дата публикации патента:* 20.05.2004.

*Ссылки:* RU 2064855 С1, 10.08.1996. RU 2168660 С1, 10.06.2001. DE 3629613, 10.03.1988.

*Изобретатель:* Сенько В. И., Чернин И. Л. (ВУ)

*Патентообладатель:* учреждение образования "БелГУТ" (ВУ)

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ НАПРЕССОВКИ  
НА ШЕЙКУ ОСИ КОЛЬЦА ПОДШИПНИКА ПРИ ТЕПЛОВОЙ СБОРКЕ**

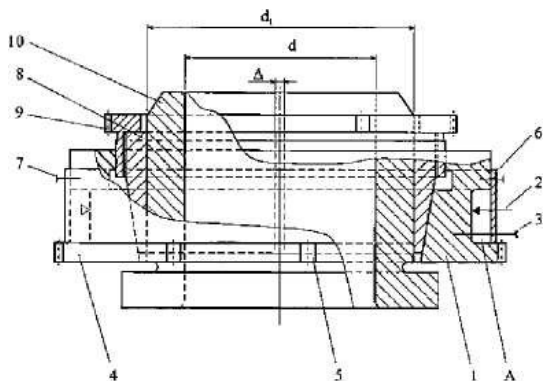
Изобретение относится к механосборочному производству, в частности к сборке поперечно-прессовых соединений с использованием нагрева охватываемой детали, а именно к технологии тепловой напрессовки внутренних колец роликовых буксовых подшипников на шейки осей колесных пар железнодорожного подвижного состава. Предназначено для осуществления прямого контроля прочности сопряжения деталей с натягом в сформированных соединениях.

В производстве применяется способ косвенного контроля прочности тепловой напрессовки колец на шейки осей, который заключается в определении разности величин диаметров посадочных поверхностей сопрягаемых деталей перед сборкой (усредненный натяг, нормируемый в пределах 0,04 – 0,06 мм для роликовых колесных пар вагонов РУ-Э50) с помощью мерительных инструментов. Контроль посадки по замерам диаметров не обеспечивает возможности получения вполне достоверных оценок фактической величины контактного давления, обуславливающего напряженное состояние деталей полученного соединения с натягом, сопротивление посадки относительно сдвигу и проворачиванию охватываемой детали [1].

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству является тензодатчик измерения сил в деталях и узлах механизмов [2]. Тензодатчик состоит из измерительных элементов с тензорезисторами, включенных в измерительный мост тензорезисторного усилителя. Тензодатчик содержит упругий чувствительный элемент в виде цилиндра,

на наружной поверхности которого вдоль и поперек оси симметрии наклеены тензорезисторы, соединенные в мостовую измерительную схему. Применение этого тензодатчика не обеспечивает достоверности контроля прочности сопряжения деталей с натягом в сформированных соединениях.

Задачей изобретения является достоверность контроля качества сборки тепловых соединений "шейка оси – кольцо подшипника" для повышения технического ресурса и надежности буксовых узлов и колесных пар вагонов колеи 1520 мм.



Технический результат достигается за счет того, что устройство для контроля прочности напрессовки на шейку оси кольца подшипника при тепловой сборке соединения содержит упругий элемент, установленный концентрично относительно последнего, который имеет на своей поверхности закрытые кожухом тензорезисторы. Упругий элемент выполнен в виде втулки с конусной внутренней поверхностью и имеет на своей наружной цилиндрической поверхности в средней части последней кольцевую проточку, на данной части которой размещены под защитным кожухом высокотемпературные тензорезисторы. Устройство дополнительно содержит разрезную закрепительную втулку с конусной наружной поверхностью, обеспечивающую в качестве промежуточного сжимаемого звена взаимодействия внутренней поверхности упругого элемента с наружной поверхностью контролируемого кольца подшипника, и снабжено нажимной гайкой с проходным отверстием под наружный диаметр рабочей цилиндрической поверхности контролируемого кольца подшипника, которая при ее заворачивании во внутреннюю полость упругого элемента воздействует на торец конусной закрепительной втулки, при этом создается предварительное напряженное состояние элементов соединения.

На чертеже изображено устройство для контроля прочности напрессовки на шейку оси кольца подшипника при тепловой сборке. Устройство содержит измерительную конусную резьбовую втулку 1, снабженную кольцевой полостью А для размещения равномерно по окружности четырех

высокотемпературных тензорезисторов 2 и термопары 3, кольцевым ребром 4 с прорезями 5 под накидной гаечный ключ и защитный кожух 6 с креплением 7, а также конусную разрезную крепежную втулку 8 с нажимной гайкой 9 для затяжки резьбы после установки втулки 1 на кольцо 10 подшипника, подлежащего тепловой напрессовке.

Устройство работает следующим образом. Конусную измерительную втулку 1 надевают на кольцо 10 и устанавливают концентрично относительно кольца при помощи крепежной втулки 8. Затем затягивают нажимную гайку 9. При этом уменьшается зазор, обозначенный на чертеже, и обеспечивается радиальный натяг тензометрической втулки 1 относительно поверхности диаметром дорожки качения на кольцо 10 подшипника за счет промежуточного сжимаемого звена (конусной втулки 8). В сборе элементы 1, 8, 10 (составной толстостенный цилиндр) подготовлены к тепловой сборке соединения "шейка оси – кольцо подшипника". С помощью измерительной аппаратуры записывают температуру и начальные окружные напряжения на поверхности измерительной втулки 1, снимая показания тензодатчиков 2 при температуре производственного помещения и термопары 3.

Данные автоматически выводятся на печатающее устройство.

Отсоединяют измерительную аппаратуру и нагревают в сборе составной толстостенный цилиндр (1, 8, 10) до момента окончательного расширения кольца подшипника под посадочный размер (с зазором) на шейку оси колесной пары. Температура нагрева не более 100 – 120 °С, перегрев не допускается. Подсоединяют к нагретому блоку (1, 8, 10) измерительную и записывающую аппаратуру и совмещают кольцо подшипника 10 с шейкой оси, фиксируя положение последнего по месту посадки. Записывают максимальные напряжения на поверхности крепления тензодатчиков 2 и температуру нагрева. Выключают записывающую аппаратуру на время полного остывания элементов и получения соединения с натягом "шейка оси – кольцо подшипника". После этого включают измерительную аппаратуру и печатающее устройство. Повторный замер указанных напряжений производится после остывания сформированного напряженного соединения (шейка оси – кольцо подшипника – крепежная втулка – тензометрическая втулка) до температуры производственного помещения. Расчетным путем проводится определение величин окружных напряжений  $G_m$  на внутренней поверхности кольца подшипника, фактического натяга и контактного давления в зоне сопряжения кольца с шейкой оси колесной пары. Таким образом, контроль осуществляется дважды: 1 – перед тепловой сборкой косвенным способом путем замеров посадочных поверхностей деталей и подбора их по заданной величине натяга (0,04 – 0,06 мм); 2 – после остывания кольца подшипника по месту его посадки на шейке оси по величине напряжений от фактического натяга в сопряжении. Это

существенно повышает достоверность оценки прочности сопряжения тепловых напрессовок колец подшипников на шейки осей колесных пар.

#### *Источники информации*

1 *Гречищев Е.С., Ильяшенко А.А.* Соединения с натягом. Расчеты, проектирование, изготовление. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 5, 32 – 33, 204.

2 А.с. СССР № 1656361, МПК G01L 1/22. Тензодатчик усилий, 1991. Бюл. № 22 – прототип.

#### Формула изобретения

1 Устройство для контроля прочности напрессовки на шейку оси кольца подшипника при тепловой сборке, содержащее упругий элемент, установленный концентрично относительно последнего и имеющий на своей поверхности закрытые кожухом тензорезисторы, отличающееся тем, что упругий элемент выполнен в виде втулки с конусной внутренней поверхностью и имеет на своей наружной цилиндрической поверхности в средней части последней кольцевую проточку, на данной части которой размещены под защитным кожухом высокотемпературные тензорезисторы, а со стороны большого диаметра конусной поверхности упругого элемента выполнена внутренняя резьба на части длины последнего.

2 Устройство по п. 1, отличающееся тем, что имеет разрезную крепежную втулку с конусной наружной поверхностью, установленную с возможностью взаимодействия внутренней поверхности упругого элемента с наружной поверхностью контролируемого кольца подшипника.

3 Устройство по п. 2, отличающееся тем, что снабжено нажимной гайкой с проходным отверстием под наружный диаметр рабочей цилиндрической поверхности контролируемого кольца подшипника, установленную с возможностью заворачивания во внутреннюю полость упругого элемента и воздействия на торец конусной крепежной втулки.

#### Реферат

Изобретение относится к механосборочному производству и предназначено для осуществления прямого контроля прочности сопряжения деталей с натягом в сформированных соединениях. Устройство содержит упругий элемент, установленный концентрично относительно кольца подшипника и имеющий на своей поверхности закрытые кожухом тензорезисторы. Упругий элемент выполнен в виде втулки с конусной внутренней поверхностью и имеет на своей наружной цилиндрической поверхности в средней части последней кольцевую проточку, на данной части которой размещены под защитным кожухом высокотемпературные тензорезисторы, а со стороны большого диаметра конусной поверхности упругого элемента выполнена внутренняя резьба на части

длины последнего. Устройство имеет разрезную закрепительную втулку с конусной наружной поверхностью, установленную с возможностью взаимодействия внутренней поверхности упругого элемента с наружной поверхностью контролируемого кольца подшипника. Изобретение позволит повысить достоверность оценки прочности сопряжения тепловых напрессовок колец подшипников на шейки осей колесных пар. 1 ил.

*ПРИЛОЖЕНИЕ Б*  
*(обязательное)*

## **Задания для выполнения контрольных работ**



## СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа включает 3 задания.

**Задание 1 (теоретический вопрос)** – выбирается из списка основных положений курса «Основы научных исследований» (Объем ответа 2 – 3 страницы печатного либо 3 – 4 рукописного текста).

**Задание 2 (реферат)** – выполнить подробный анализ какого-либо конкретного научного исследования последнего десятилетия в области техники по теме, приведенной в перечне тем для рефератов. Объем реферата – 12 – 15 страниц печатного либо 15 – 20 рукописного текста. Источниками информации могут быть периодические научные либо научно-популярные журналы, например, «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», «Наука и жизнь», «Железные дороги мира».

В реферате должны быть отражены следующие моменты:

- 1 Предпосылки проведения научного исследования.
- 2 Цель исследования.
- 3 Объект и основные методы исследования, полученные результаты.
- 4 Выводы по научному исследованию, анализ справедливости выдвинутых гипотез.
- 5 Использованные литературные источники.

**Задание 3 – аннотация** на анализируемое научное исследование.

Варианты заданий для контрольной работы соответствуют двум последним цифрам учебного шифра, если эти цифры от 01 до 50. Студентам, имеющим последние цифры учебного шифра от 51 до 100, следует от соответствующего числа отнять 50. Например, если учебный шифр – 238, то следует выполнять задания по 38 варианту, если 385 – по варианту 35.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КУРСА «ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

1 Введение. Предмет “Основы научных исследований”. Генезис и периодизация мировой науки. Роль науки в развитии техники.

2 Развитие науки – общественная потребность. Источники формирования научных исследований.

3 Основные этапы становления науки. Зачатки знаний в древности: мифология, натурфилософия, первые теоретические системы, древнегреческая наука.

4 Наука в средние века: вклад в науку ученых арабского мира, научные искания ученых Средней Азии.

5 Наука – высшая культурная ценность Нового времени, механистическая картина мира.

6 Рубеж XIX – XX веков. Кризис классической науки. Крупнейшие открытия последнего десятилетия.

7 Задачи, стоящие перед наукой XXI века.

8 Общие определения и понятия науки. Система знаний и классификация научных знаний. Составные элементы науки: система научных знаний, научная деятельность, научные учреждения.

9 Характерные признаки системы научных знаний, классификация системы научных знаний.

10 Характерные признаки научной деятельности, классификация научной деятельности.

11 Характерные признаки системы научных учреждений, классификация научных учреждений.

12 Характерные черты современной науки.

13 Организация научно-исследовательской работы в Республике Беларусь.

14 Организация научно-исследовательской работы в вузе.

15 Подготовка, использование и повышение квалификации научно-технических кадров. Иерархия ученых степеней, званий и должностей в науке.

16 Международное научное сотрудничество. Основные научно-технические международные программы.

17 Разделение научного исследования. Его структура.

18 Классификация научных исследований.

19 Государственные программы научных исследований.

20 Связь науки с производством. Соотношение экономических затрат при развитии научной идеи.

21 Оценка экономической эффективности темы научного исследования.

22 Методология научного исследования. Основные методы теоретических и эмпирических исследований, применяемые в технических науках.

23 Основные понятия моделирования. Основные виды.

24 Основные случаи моделирования, применяемые для исследований в области транспортной техники. Критерии подобия.

25 Условия механического подобия исследуемого объекта и его модели. Коэффициенты подобия.

26 Особенности экспериментального исследования. Его цели и задачи.

27 Методика проведения экспериментальных работ.

28 Классификация экспериментальных исследований.

29 Обработка результатов экспериментальных исследований.

30 Вычислительный эксперимент. Цели и задачи. Основные этапы.

31 Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований.

32 Использование в исследованиях единиц системы СИ. Метрическая система единиц.

33 Употребление в научных документах важнейших производных, а также кратных и дольных единиц системы СИ.

34 Теоретические исследования. Задачи и основные методы.

35 Основные стадии теоретического исследования.

36 *Общая последовательность математического моделирования.*

37 Использование математических методов в научных исследованиях.

38 Особенности конечноэлементного моделирования. Его последовательность.

39 Научные документы и издания. Оформление результатов научной работы. Понятия аннотации, реферата, научно-технического отчета.

40 Первичные и вторичные научные документы.

41 Средства поиска научной информации.

42 Правовая защита интеллектуальной и промышленной собственности в Республике Беларусь.

43 Патенты на изобретения и полезные модели.

44 Содержание заявки на изобретение, полезную модель. Требования, предъявляемые к ним.

45 *Методология улучшения памяти. Механизм запоминания, виды памяти.*

46 *Основные методы улучшения памяти. Самоанализ блоков плохо запоминаемой информации.*

47 *Как читать научную литературу. Приемы, помогающие усваивать большой объем информации.*

48 *«Плюсы» и «минусы» техники скорочтения. Культура чтения художественной литературы.*

49 *Общественное понимание потребностей науки в масштабах*

*страны. Уважение к творчеству.*

*50 Нравственная ответственность ученого.*

## **ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ДЛЯ РЕФЕРАТОВ**

- 1 Тенденции и перспективы развития транспорта в XXI веке.
- 2 Экологически чистые виды транспорта.
- 3 Новые виды высокоскоростного транспорта.
- 4 Автоматизация пассажиро- и грузоперевозок.
- 5 Использование инфракрасной и лазерной техники на транспорте.
- 6 Компьютеризация различных видов транспорта.
- 7 Компьютерное моделирование узлов транспортных средств.
- 8 Уменьшение загрязнения окружающей среды транспортом.
- 9 Уменьшение транспортного шума.
- 10 Передовая техника конструирования и производства наземного транспорта.
- 11 Увеличение операционных возможностей и безопасности систем воздушного транспорта.
- 12 Проблемы трибологии и трибофатики в транспортной технике.
- 13 Использование композиционных материалов на транспорте.
- 14 Современные технологии упрочнения отдельных узлов транспортных средств.
- 15 Применение микро- и наноструктур в транспортной технике.
- 16 Нанотехнологии и новые материалы для более дешевого и экологически эффективного применения в машиностроении.
- 17 Использование новых композиционных материалов на транспорте.
- 18 Укрепление конкурентоспособности транспорта.
- 19 Улучшение аэродинамических качеств транспортных средств.
- 20 Увеличение операционных возможностей систем автомобильного транспорта.
- 21 Увеличение безопасности автомобильного транспорта.
- 22 Автоматизация управления движением на шоссейных дорогах.
- 23 Модульные автомобили и перспективы их использования.
- 24 Современные подходы к совершенствованию систем безопасности на железнодорожном транспорте.
- 25 Дистанционное управление локомотивами.
- 26 Разработка и эксплуатация двухэтажных пассажирских вагонов.

- 27 Перспективы поездов на магнитном подвесе.
- 28 Альтернативные виды моторного топлива.
- 29 Получение электричества из биомассы или из отходов производства.
- 30 Электричество из возобновляемых источников энергии (солнце, геотермальные источники, маломощные гидросиловые установки, океанические волны и течения и т. п.).
- 31 Современные малогабаритные источники энергии.
- 32 Прогрессивные технологии возобновления энергии – фотоэлектричество.
- 33 Современные методы, обеспечивающие энергосбережение и энергоэффективность.
- 34 Новые технологии для транспортировки и хранения энергии.
- 35 Новейшие методы дефектоскопии и неразрушающего контроля.
- 36 Новые виды сварок.
- 37 Космические исследования XXI века.
- 38 Мобильные и беспроводные системы связи наземного и спутникового базирования нового поколения.
- 39 Технологии и материалы для производства компьютерной техники с низким потреблением энергии.
- 40 Производство наноприборов и наносистем.
- 41 Мехатронные системы.
- 42 Моделирование многофункциональных материалов.
- 43 Разработка материалов с заранее заданными свойствами.
- 44 Механика биологических объектов.
- 45 Исследования механики роботов.
- 46 Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ).
- 47 Техногенные катастрофы в центре внимания ученых. Меры по их предотвращению.
- 48 Рациональное использование природных ресурсов и сокращение рисков экологических катастроф.
- 49 Оперативное прогнозирование и моделирование, включая системы наблюдения за глобальными климатическими изменениями.
- 50 Атмосферные загрязнения и их региональное влияние на экосистему.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Альтов (Альтиуллер), Г. С.* Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / *Г. С. Альтов*. – Петрозаводск: Скандинавия, 2003. – 239 с.

2 *Альтиуллер, Г. С.* Профессия – поиск нового / *Г. С. Альтиуллер, Б. Л. Злотин, В. И. Филатов*. – Кишинев, 1985. – 215 с.

3 *Бабицкий, В. В.* Планирование эксперимента: учебно-методическое пособие по проведению инженерных экспериментов и обработке полученных результатов / *В. В. Бабицкий, Я. Н. Ковалев, В. Д. Якимович*. – Мн.: БНТУ, 2003. – 48 с.

4 *Бажан, П. И.* Основы научных исследований на речном транспорте / *П. И. Бажан, Б. И. Вайсблат, И. И. Трянин*. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1990. – 318 с.

5 *Белова, О. В.* Интеллектуальная собственность. Основные понятия / *О. В. Белова*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2004. – 119 с.

6 *Берков, В. Ф.* Общая методология науки / *В. Ф. Берков*. – Мн., 2001. – 228 с.

7 *Бониц, М.* Научное исследование и научная информация / *М. Бониц*. – М: Наука, 1987. – 155 с.

8 *Гарская, Н. П.* Основы научных исследований: конспект лекций / *Н. П. Гарская*. – Витебск: УО «ВГТУ», 2004. – 42 с.

9 *Герасимов, И. Г.* Структура научного исследования / *И. Г. Герасимов*. – М.: Мысль, 1985. – 217 с.

10 *Гуринович, А. И.* Как оформить материалы заявки на изобретение и полезную модель / *А. И. Гуринович*. – Мн.: Учеб.-исслед. респ. унитар. предприятие интеллектуал. собственности, 2002. – 190 с.

11 *Демченко, И. И.* Основы научных исследований: учеб. пособие / *И. И. Демченко*. – Красноярск: КГТУ, 2003. – 171 с.

12 *Закин, Я. Х.* Основы научных исследований / *Я. Х. Закин, Я. С. Рашидов*. – Ташкент: УКИТУВЧИ, 1979. – 180 с.

13 Интеллектуальная собственность: современные правовые проблемы: проблем.-темат. сб.– М.: ИНИОН, 1998. – 211 с.

14 *Кане, М. М.* Основы научных исследований в технологии машиностроения / *М. М. Кане*. – Мн.: Высшая школа, 1987. – 230 с.

15 *Коптев, В. В.* Основы научных исследований и патентоведения / *В. В. Коптев, В. А. Богомяких, М. Ф. Трифонова*. – М.: Колос., 1993. – 144 с.

16 *Коробко, В. И.* Лекции по курсу «Основы научных исследований» / *В. И. Коробко*. – М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2001. – 217 с.

17 *Кориунов, А. Н.* Наука Республики Беларусь – 2001: статистический сборник / *А. Н. Кориунов*. – Мн.: КНТ Белорус. ин-т соврем. анализа и информ. обеспечения науч.-техн. сферы. – 2002. – 84 с.

18 *Котарбинский, Т.* Элементы теории познания, формальной логики и методологии наук / *Т. Котарбинский*. – Биробиджан, 2000. – 160 с.

19 *Купцов, В. И.* Природа научных открытий / *В. И. Купцов, К. Х. Делокаров, Б. Я. Пахомов*. – М.: Наука, 1986. – 303 с.

20 *Кучур, С. С.* Научные исследования и решение инженерных задач: учеб. пособие для вузов / *С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич*. – Мн.: Адукацыя і

выхаванне, 2003. – 416 с.

21 *Леденев, В. В.* Основы научных исследований. Тексты лекций / *В. В. Леденев*. – Тамбов: ТГТУ, 1995. – 290 с.

22 *Мещеряков, В. Т.* Наука и развитие принципов морали / *В. Т. Мещеряков, О. Д. Астапова*. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1989. – 167 с.

23 *Михеев, О. В.* Основы научных исследований: учеб. пособие / *О. В. Михеев, Ю. Н. Малышев, Р. А. Фрумкин*. – М.: МГТУ, 1994. – 185 с.

24 *Образцов, Н. Н.* Наука и производство: организация взаимосвязи / *Н. Н. Образцов, А. К. Соловьев*. – М.: Знание, 1987. – 59 с.

25 *Огрызков, Е. П.* Основы научных исследований с обработкой результатов на ЭВМ / *Е. П. Огрызков, В. Е. Огрызков*. – Омск: ОмГАУ, 1996. – 122 с.

26 Основы научных исследований / под ред. *В. И. Крутова*. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.

27 Основы научных исследований: учеб. пособие / *Д. М. Голицынский* [и др.]. – СПб.: ПГУПС, 1995. – 63 с.

28 *Остапенко, Л. В.* Конспект лекций по дисциплине "Основы научных исследований и техника эксперимента" / *Л. В. Остапенко*. – Днепродзержинск: ДИИ, 1991. – 103 с.

29 *Папковская, П. Я.* Методология научных исследований: курс лекций / *П. Я. Папковская* – Мн.: ООО «Информпресс», 2002. – 176 с.

30 *Петров, В. М.* Алгоритм решения изобретательских задач: учеб. пособие / *В. М. Петров*. – Тель-Авив, 1991. – 256 с.

31 *Ракутова, Д. Я.* Формула изобретения: методические рекомендации / *Д. Я. Ракутова*. – Мн.: УП Технопринт, 2004. – 44 с.

32 *Рузавин, Г. И.* Методология научного исследования: учеб. пособие для вузов / *Г. И. Рузавин*. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 316 с.

33 *Рыжов, Э. В.* Математические методы в технологических исследованиях / *Э. В. Рыжов, О. А. Горленко*. – Киев: Наук. думка, 1990. – 184 с.

34 *Седов, Л. И.* Методы размерности и подобия в механике / *Л. И. Седов*. – М.: Наука, 1987. – 440 с.

35 *Сутурин, А. К.* Наука Республики Беларусь – 1999: статистический сборник / *А. К. Сутурин*. – Мн.: БелИСА, 2000. – 112 с.

36 *Сутурин, А. К.* Наука Республики Беларусь – 2000: статистический сборник / *А. К. Сутурин*. – Мн.: БелИСА, 2001. – 68 с.

37 *Шумилин, А. Т.* Проблемы теории творчества / *А. Т. Шумилин*. – М.: Высшая школа, 1989. – 141 с.

38 *Яшина, Л. А.* Основы научных исследований: учеб. пособие / *Л. А. Яшина*. – Сыктывкар: Изд-во СыкГУ, 2004. – 84 с.

*КУЗЁМКИНА Галина Михайловна*

## **ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Пособие для студентов технических специальностей

Редактор М.П. Дежко

Технический редактор В.Н. Кучерова

Корректор Л.И. Панькова

Подписано в печать 01.09.2005 г. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 5,62. Тираж 350 экз.

Зак. № . Изд. № 4226.

Редакционно-издательский отдел УО «БелГУТ», 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

ЛИ № 02330/0133394 от 19.07.2004 г.

Типография УО «БелГУТ», 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.

Бумага газетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.