

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

# **МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

## **Часть 1**

**Методические указания**  
к проведению практических занятий № 1 - 6  
для студентов направления  
15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»

Севастополь  
СевГУ  
2021

УДК 658.52.011.56

М54

**Р е ц е н з е н т ы:**

**В.Я. Копп** - д-р. техн. наук, профессор кафедры «Приборостроение  
и автоматизация технологических процессов»

*Составители:* А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая

**М54    Методология исследовательской деятельности в машиностроении:** методические указания к проведению практических занятий № 1 - 6 для студентов направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» . Ч.1 / Сост. А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2021. – 43 с. – Текст : электронный.

Методические указания предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплины «Методология исследовательской деятельности в машиностроении». Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении практических занятий. Материал изложен в форме, удобной для практического использования, в следующей последовательности: иерархическое описание технической системы; научно-техническая информация при проведении научных исследований; формирование этапов подготовки и планирования экспериментальных исследований; разработка методики эксперимента в машиностроении; математическое моделирование в научных исследованиях технических систем; выбор математического аппарата и схемы взаимодействия объекта с внешней средой, уравнение в дифференциалах.

УДК 658.52.011.56

Методические указания рассмотрены и утверждены кафедрой «Технология машиностроения», протокол № 2 от 25 сентября 2020 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                                                                   | 4  |
| <i>Практическое занятие 1.</i>                                                                             |    |
| Иерархическое описание технической системы                                                                 | 6  |
| <i>Практическое занятие 2.</i>                                                                             |    |
| Научно-техническая информация при проведении научных исследований                                          | 13 |
| <i>Практическое занятие 3.</i>                                                                             |    |
| Формирование этапов подготовки и планирования экспериментальных исследований                               | 21 |
| <i>Практическое занятие 4.</i>                                                                             |    |
| Разработка методики эксперимента в машиностроении                                                          | 24 |
| <i>Практическое занятие 5.</i>                                                                             |    |
| Математическое моделирование в научных исследованиях технических систем                                    | 28 |
| <i>Практическое занятие 6.</i>                                                                             |    |
| Выбор математического аппарата и схемы взаимодействия объекта с внешней средой. Уравнение в дифференциалах | 34 |
| Список использованных источников                                                                           | 43 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Цель изучения дисциплины** – формирование у обучающихся системы научных и профессиональных знаний и навыков в области методологии научных исследований, служащих основой для самостоятельного выполнения научных исследований и для организации деятельности научных коллективов.

### **Задачи дисциплины:**

- математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований;
- использование проблемно-ориентированных методов анализа, синтеза и оптимизации процессов машиностроительных производств;
- разработка алгоритмического и программного обеспечения машиностроительных производств;
- сбор, обработка, анализ, систематизация и обобщение научно-технической информации, зарубежного и отечественного опыта по направлению исследований, выбор методов и средств решения практических задач.

В результате изучения дисциплины «Методология исследовательской деятельности в машиностроении» (МИДвМ) студент должен обладать следующими компетенциями:

ОК-2 – готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения;

ОК-3 – готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;

ОПК-1 – способность формулировать цели и задачи исследования в области конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки;

ОПК-2 – способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы;

ОПК-4 – способность руководить подготовкой заявок на изобретения и промышленные образцы в области конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств, оценивать стоимость интеллектуальных объектов;

ПК-15 – способность осознавать основные проблемы своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования современных научных методов исследования, ориентироваться в постановке задач и определять пути поиска и средства их решения, применять знания о современных методах исследования, ставить и решать прикладные исследовательские задачи;

ПК-17 – способность использовать научные результаты и известные научные методы и способы для решения новых научных и технических про-

блем, проблемно-ориентированные методы анализа, синтеза и оптимизации конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств, разрабатывать их алгоритмическое и программное обеспечение;

ПК-18 – способность разрабатывать методики, рабочие планы и программы проведения научных исследований и перспективных технических разработок, готовить отдельные задания для исполнителей, научно-технические отчеты, обзоры и публикации по результатам выполненных исследований, управлять результатами научно-исследовательской деятельности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности, осуществлять ее фиксацию и защиту, оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной научно-исследовательской работы.

## Практическое ЗАНЯТИЕ 1. ИЕРАРХИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**Цель работы:** составление иерархического описания, исследование эволюции развития и уровней проектирования технических систем (ТС) на примере металлообрабатывающих станков.

### 1.1. Общие сведения

Процесс проектирования ТС является многовариантным, многоуровневым и многоэкстремальным в многосвязной области. ТС – оптимальна, если для её реализации выбрана оптимальная (рациональная) техническая идея. Любая техническая задача имеет множество (дерево) конкретных решений (вершин) (рис. 1.1).

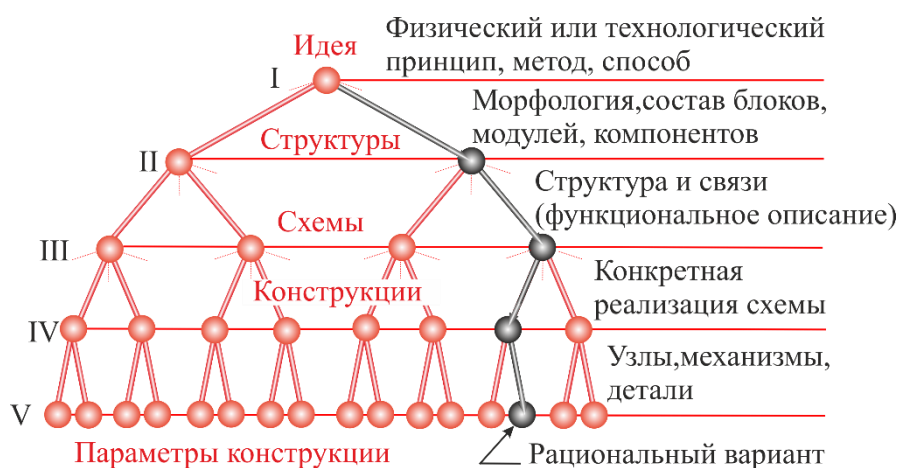


Рис. 1.1. Дерево поиска рациональных технических решений

В вопросах прогнозирования и создания новых станков должен быть использован фреймовый подход, согласно которому цепочка поиска, разветвляющаяся в виде дерева альтернатив, рассматривается последовательно на нескольких уровнях [1, ..., 7]:

- функция;
- альтернативные варианты модели физических или технологических принципов действия, реализующих рассматриваемую функцию;
- альтернативные варианты модели технических решений, реализующих рассматриваемый принцип действия.

### 1.2. Методы описания ТС

Для описания технических систем используют различные методы, основными из которых являются:

- **параметрический** – описание свойств, признаков и отношений исследуемого объекта, основанное на эмпирических наблюдениях; про-

стейшая форма и исходный уровень исследования станка как ТС – основные технические характеристики (технологические, размерные, кинематические, силовые, динамические) и показатели (производительность, точность, жесткость, мощность, габариты и т.д.);

- **морфологический** – переход к определению поэлементного состава строения объекта и взаимосвязи параметров, выявленных на предыдущем уровне (для станка – источник энергии, двигателя, передаточно-преобразовательные и исполнительные механизмы, система управления);

- **функциональный** – переход к определению функциональной зависимости между параметрами (функционально-параметрическое описание, например, зависимость точности обработки от жесткости станка), между элементами объекта (функционально-морфологическое описание, например, уравнение кинематического баланса цепи, формула настройки) или между параметрами и строением объекта;

- **поведения объекта** – выявление целостной картины «жизни» объекта и механизмов, обеспечивающих смену направлений и режимов его работы (самая сложная форма научного исследования); поведение станка при этом описывается такими фундаментальными законами, как закон сохранения энергии, количества вещества, импульса, силы и т.д.

Системный подход позволяет рассматривать объект как систему с учетом внутренних (между элементами) и внешних (со средой) связей. Отдельные элементы ТС можно, в свою очередь, рассматривать как подсистемы.

При исследовании ТС необходимо учитывать, что данная ТС может рассматриваться как часть надсистемы, с элементами которой она взаимосвязана (рис. 1.2) [19, 35]. Надсистема также является частью надсистемы более высокого порядка и т.д. С другой стороны, элементы ТС могут рассматриваться как подсистемы, которые, в свою очередь также состоят из подсистем другого порядка.

Выявляемые в процессе решения технических задач противоречия разделяют на три типа:

- **административные** – присутствуют первоначально в изобретательской задаче (надо что-то сделать, но неизвестно как);

- **технические** – возникают между частями и параметрами системы при попытке их изменения (если известными способами улучшить её одну часть (параметр), то недопустимо ухудшается другая часть);

- **физические** – заключаются в предъявлении к одной и той же части системы взаимно-противоположных требований (в такой ситуации физические противоречия становятся причиной технических противоречий).

Изучение проблемной ситуации – это выявление технических противоречий. Результатом разрешения технического противоречия становится создание новой ТС, представляющей органический синтез нового технического решения и элементов прежнего (известного) решения в новом целом.



Рис. 1.2. Взаимосвязи систем с надсистемами и подсистемами

Жизнь ТС можно изобразить в виде S-образной кривой (рис. 1.3), показывающей, как изменяются во времени главные показатели (мощность, производительность, скорость и т.д.). На участке 1, называемом «детством», ТС развивается медленно.

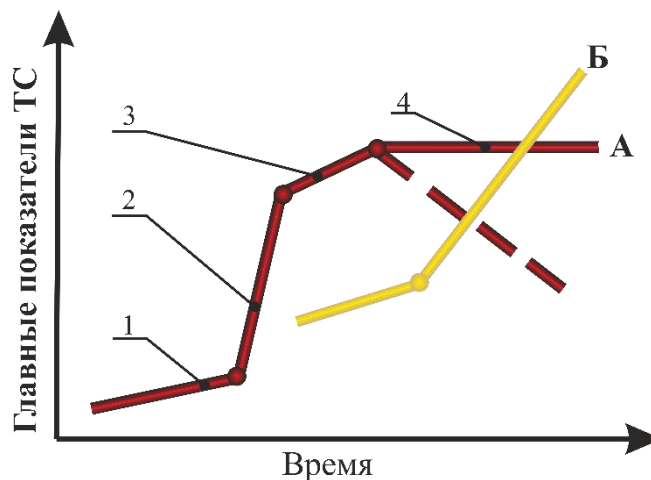


Рис. 1.3. Жизненный цикл технической системы

Затем ТС быстро совершенствуется, наступает пора «зрелости» (участок 2). На участке 3 темпы развития уменьшаются, система исчерпывает свои возможности, наступает «старость». Далее система либо деградирует (пунктирная кривая вниз), либо надолго сохраняет достигнутые показатели – *А* (участок 4), либо сменяется принципиально другой системой – *Б*.

Развитие описывается **законами**:

- **статики (начало жизни);**
- **кинематики (развитие);**

- **динамики (главные современные тенденции развития).**

#### **Законы статики:**

- полноты частей – наличие и минимальная работоспособность основных частей ТС;
- энергетической проводимости – сквозной проход по всем частям ТС;
- согласование «ритмики» частей – частоты колебаний, периодичности работы всех частей.

#### **Законы кинематики:**

- увеличение степени идеальности – затраты на изготовление и функционирование ТС стремятся к нулю, хотя работоспособность её не уменьшается;
- неравномерности развития частей – чем сложнее ТС, тем неравномернее их развитие;
- перехода в подсистему – исчерпав возможности развития, система включается в подсистему в качестве одной из частей.

#### **Законы динамики:**

- переходов с макроуровня на микроуровень;
- увеличения степени вепольности – увеличивается число элементов и связей между ними (веполь, от сочетания «вещество» и «поле» – это модель минимально работоспособной технической системы, состоящей, как минимум, из трех элементов: двух веществ и поля).

Главной движущей силой развития ТС является противоречие между растущими потребностями общества и возможностями самих ТС. Диалектический характер творчества состоит в том, что в новом объекте сочетаются новые и известные технические решения. Так, в начале развития металлорежущие станки получали вращение от общего привода – локомобиля через трансмиссионные валы (что влекло за собой сложность управления, низкую производительность, представляло высокую опасность) или от ручного привода. В начале XVIII века родоначальник отечественного станкостроения, «личный токарь Петра I» – Андрей Константинович Нартов (1693 - 1756 г.) изобрел первый в мире токарный станок с механическим суппортом (рис.1.4, а). Затем появились станки с индивидуальным приводом – от электродвигателя через ременные и зубчатые передачи (рис.1.4, б). Тенденция развития современных станков – снабжение каждого узла собственным приводом в виде шагового электродвигателя, высокомоментного двигателя (рис. 1.4, в) и создание на агрегатной основе многооперационных станков с ЧПУ (рис.1.4, г), а также – модульный принцип построения компоновок, позволяющий расширить технологические возможности станков с параллельной кинематикой. Неравномерность развития частей ТС наблюдается в появлении регулируемых электродвигателей различных типов и сохранении обычных зубчатых передач, в быстром прогрессе систем управления и медленном развитии собственно приводов. С целью расширения технологических возможностей и повышения производительности обработки возможны различные исполнения

многоцелевого токарного станка на основе механизмов параллельной структуры (МПС), примеры которых показаны на рис.1.4, *д, е* [4, 5, 7].

Варианты заданий для описания ТС представлены в табл. 1.1.

### 1.3. Последовательность выполнения работы

1. Получить задание от руководителя и уточнить его в соответствии с выданным вариантом.

2. Применительно к конкретной модели станка (робота) или устройства начертить его принципиальную (или структурную кинематическую) схему.

3. Выполнить иерархическое описание ТС (параметрическое, морфологическое, функциональное, поведение в действии), поясняя эскизами, блок-схемами, структурными изображениями, формулами и т.д.

4. В соответствии с системным подходом выделить для заданного объекта надсистему, систему и подсистему (изобразить графически по аналогии с рис. 1.2).

5. Выявить технические и физические противоречия в ТС.

6. Проследить по одному или нескольким основным показателям жизнь ТС с указанием всех этапов и рождения новой ТС (см. рис. 1.3).

7. Указать, как проявляются законы диалектики в законах статики, кинематики и динамики ТС; изложить главные тенденции развития ТС в будущем.

8. Показать (по аналогии с рис. 1.1) содержание и иерархию проектирования по уровням.

9. Привести примеры развития заданной преподавателем ТС (по аналогии с рис. 1.4) с подробным описанием меняющихся признаков.

Таблица 1.1 – Варианты ТС (согласовать с научным руководителем ВКР)

| № п/п | Объект исследования (по теме ВКР маг) |
|-------|---------------------------------------|
| 1     | Фрезерный станок                      |
| 2     | Круглошлифовальный станок             |
| 3     | Зубодолбежный станок                  |
| 4     | Сверлильный станок                    |
| 5     | Плоскошлифовальный станок             |
| 6     | Расточный станок                      |
| 7     | Токарный станок с ЧПУ                 |
| 8     | Резьбонарезной станок                 |
| 9     | Многооперационный станок              |



а



б



в



г

Рис. 1.4. Примеры развития ТС металлорежущего токарного станка:  
 а – первый в мире токарно-копировальный станок Андрея Нартова (1712 г.);  
 б – токарно-винторезный станок 16К20 (1973 г.); в – токарный станок с ЧПУ 16К20Ф30 (1980 г.); г – многооперационный токарный центр 1П420ПФ40 с ЧПУ NC-201 (1990 г.); д – токарный многоцелевой станок на базе МПС с шестью штангами постоянной длины (2006 г.); е – станок VerticalLine V100 (Германия) на основе дельта-робота для трехкоординатной обработки (токарной, фрезерной, лазерной закалки, лазерной сварки, шлифования, операции сборки) (2015 г.)

### Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризовать процесс проектирования ТС на примере дерева поиска рациональных решений.
2. Привести примеры методов описания ТС.
3. Проиллюстрировать жизненный цикл ТС.
4. Какими законами описывается развитие системы?
5. Что выступает главной движущей силой развития ТС?

### Рекомендуемая литература к практическому занятию

1. Афонин, В.Л. Обработывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры / В.Л. Афонин, П.В. Подзоров, В.В. Слепцов. Под общ. ред. В.Л. Афонина. М.: Изд-во МГТУ «Станкин», 2006. – 452 с.

2. *Кузнецов, Ю.Н.* Станки с ЧПУ / Ю.Н. Кузнецов. – К.: Вища школа, 1991. – 278 с.
3. *Кузнецов, Ю.Н.* Теория технических систем: Учебник / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцев. – Севастополь: Изд-во СевНТУ. – 2010. – 252 с.
4. *Кузнецов, Ю.Н.* Компонировка станков с механизмами параллельной структуры: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневич. – Херсон: ЧП Вышемирский. – 2010. – 471 с.
5. *Кузнецов, Ю.Н.* Технологическое оборудование с ЧПУ: механизмы и оснащение: учеб. пособие / Ю.Н. Кузнецов, А.Ф. Саленко, А.О. Харченко, В.Т. Щетинин. – Киев-Кременчуг-Севастополь: Изд-во «Точка», 2014. – 500 с.
6. *Харченко А.О.* Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: Практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рощупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с.
7. *Харченко А.О.* Патентоведение и изобретательство: Практикум / А.О. Харченко, А.Г. Карлов, А.А. Харченко, К.Н. Осипов. – М.: Центркаталог, 2018. – 112 с.

## Практическое занятие 2.

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Цель работы:** ознакомление с особенностями поиска и отбора научной информации при проведении исследований.

#### 2.1. Теоретическое описание

Важнейшим этапом научного исследования является поиск и отбор научной информации, на основе которого анализируется актуальность темы, текущее состояние объекта и предмета исследований, выделяются нерешенные проблемы, уточняются задачи исследования.

**Научно-техническая информация** – документированная информация, возникающая в результате научного и технического развития, а также информация, в которой нуждаются руководители, научные, инженерные и технические работники в процессе своей деятельности, включая специализированную экономическую и нормативно-правовую информацию.

**Источник** научно-технической информации – это условное обозначение научно-технического документа или издания, которые служат не только важнейшими источниками, но и средством передачи научной информации в пространстве и времени.

Научно-техническую информацию (НТИ) по новизне условно делят на первичную и вторичную.

**Первичная НТИ** содержит новые, оригинальные результаты исследования и разработки. К первичным документам и изданиям можно отнести большинство книг (за исключением справочников); брошюры, периодические издания – журналы, газеты и сериальные издания; описания изобретений, стандарты, отчеты, диссертации. Все разнообразие первичных опубликованных документов зафиксировано в ГОСТе 7.60–2003 СИБИБД. Издания. Основные виды. Термины и определения.

**Вторичная НТИ** содержит сведения из первичной НТИ и является результатом переработки первоисточника, отражая в максимально сжатом виде его содержание. Это справочники и энциклопедии, обзоры, реферативные журналы, библиотечные каталоги, библиографические указатели и картотеки. Вторичные документы выполняют две основные функции: оперативно оповещают о появлении первичных документов; сжато излагают основное их содержание.

Исходя из задач развития науки и практики, в соответствии с социально-экономической структурой нашего общества создана единая государственная система научно-технической информации (ГСНТИ). **ГСНТИ** – это средство создания и эффективного использования государственных ресурсов научно-технической информации. ГСНТИ осуществляет сбор, хранение и обработку отечественных и зарубежных источников НТИ; ведение информационных фондов, баз и банков данных; организацию информационного обслуживания

на их основе. В ГСНТИ входят федеральные, отраслевые, региональные органы НТИ и научно-технические библиотеки.

Международный центр научной и технической информации (МЦНТИ) представляет собой межгосударственную организацию. Основной задачей МЦНТИ является оказание информационной, аналитической, консультационной и организационной поддержки международного сотрудничества в области науки, технологии и бизнеса. МЦНТИ выполняет возложенные на него задачи совместно с заинтересованными органами информации национальных систем и отдельными учеными и специалистами государств-членов на основе договоров и соглашений о сотрудничестве.

По форме представления источники научной информации можно разделить на **документальные** (книга, журнал) и **электронные** (электронные версии документальных источников, электронные базы, глобальные информационные сети).

В соответствии с ГОСТ 7.60 – 90 «Издания. Основные виды. Термины и определения» различают следующие виды изданий: периодические (журналы, газеты); непериодические (книги, учебники, энциклопедии) и продолжающиеся (труды НИИ и научных конференций различного уровня).

**Научное издание** содержит результаты теоретических и (или) экспериментальных исследований (например, в форме монографии, автореферата, диссертации, сборника научных трудов, материалов научной конференции, тезисов докладов научной конференции), а также научно подготовленные к публикации памятники культуры и исторические документы.

**Информационное издание** содержит систематизированные сведения о документах (опубликованных, неопубликованных, непубликуемых) либо результат анализа и обобщения сведений, представленных в первоисточниках, выпускаемое организацией, осуществляющей научно-информационную деятельность, в том числе органами НТИ.

Научные документы и данные, организованные в информационные фонды, массивы, базы и банки данных, образуют **ресурсы НТИ**. В последние годы распространение получили такие формы ресурсов НТИ как электронные библиотеки, репозитории, географические, аналитические и экспертные информационные системы, системы добавленной и виртуальной реальности, другие интерактивные формы.

Перечень печатных изданий СевГУ доступен на сайте университета (<http://sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya>).

Важным источником НТИ являются патенты на изобретения и полезные модели.

Ключевыми требованиями к НТИ являются:

- **актуальность** (соответствия информации текущему моменту времени);
- **релевантность** (формальное и смысловое соответствие результатов поиска поисковому запросу);
- **достоверность**.

Наибольшее распространение среди непериодических изданий в научном мире имеет издание, которое называется книгой. Согласно ГОСТ 7.60-2003 книгой называется книжное издание объемом свыше 48 страниц. Произведение печати объемом от 5 до 48 страниц называется брошюрой.

По своему назначению книги можно разделить на научные и учебные.

Научная книга – важнейшее средство обобщения научной информации, содержащее результаты теоретических и (или) экспериментальных исследований, изложения стратегических проблем науки. По некоторым данным ряда развитых стран, научно-техническая литература составляет примерно от 10 до 20 % всех выпускаемых книг.

## **2.2. Виды и назначение основных научных книг**

**Монография** – это научное издание, состоящее из одного произведения, содержащего полное и всестороннее исследование одной проблемы или темы, выполненное одним или несколькими авторами (исполнителями).

**Сборник научных трудов** – научное книжное издание, составленное из произведений, содержащих исследовательские материалы (статьи, сообщения, рефераты), представляющий научный характер содержания.

**Диссертация** – квалификационная научная работа в определенной области наук, содержащая совокупность научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты и свидетельствующая о личном вкладе автора в науку и о его качествах как ученого. Основу диссертации составляют выполненные и опубликованные научные работы, открытия или крупные изобретения.

**Автореферат диссертации** включает реферат, составленный автором диссертации – соискателем ученой степени, который содержит краткое изложение работы. Автореферат предназначается для предварительного ознакомления научной общественности с выносимыми на защиту результатами исследований.

**Тезисы докладов научной конференции** – научное издание в виде сборника, состоящего из материалов предварительного характера (рефератов) и изданного до начала конференции. Содержанием тезисов являются основные положения, идеи, выдвигаемые в докладе. Назначение тезисов – предварительное ознакомление участников конференции с тематикой и основным содержанием докладов.

**Материалы конференции** – разовый сборник, выпускаемый по итогам конференции (научной, научно-практической, научно-методической и т.п.) и составленный из докладов, выступлений, решений конференции и других материалов. Назначение материалов конференции – закрепление и распространение информации, подытоживающей научные достижения и оповещение научной общественности о перспективных направлениях дальнейших исследований в данной области.

**Депонированные рукописи** – переданные на хранение в орган-депозитарий научные работы, выполненные индивидуально или в соавторст-

ве и рассчитанные на ограниченный круг потребителей. Сведения о депонированных рукописях отражаются в реферативных журналах (РЖ) и библиографических указателях. Депонирование было введено в 60-х годах XX века с целью ознакомления ученых и специалистов с рукописями статей и обзоров узкоспециального характера.

**Научный отчет** – отчет научной организации о проведенном исследовании.

### 2.3. Учебные издания

**Учебная книга** – это основное средство обучения, элемент учебного процесса, в котором отражены систематизированные сведения научного или прикладного характера, изложенные в форме, удобной для изучения.

Рассмотрим виды и назначение основных учебных книг, содержащих научную информацию.

**Учебник** – основное учебное издание по дисциплине, которое содержит, прежде всего, базовые знания предмета. Включает апробированные данные и сведения, раскрывает методические аспекты получения знаний в той или иной области, дает характеристику важнейших процессов и явлений, составляющих «школу» данной дисциплины. Объем и структура учебника определяются соответствующей учебной программой, которую учебник охватывает целиком.

**Учебное пособие** выпускается в дополнение к учебнику. Оно соответствует программе учебного курса в целом или ее разделу и содержит в основном новый материал по курсу, расширяя фундаментальные знания, включенные в учебник. Содержание учебного пособия в большей мере, чем содержание учебника, отражает актуальные проблемы и тенденции развития отрасли. Учебные пособия предназначены для расширения, углубления и лучшего усвоения знаний.

**Курс лекций** является дополнением к учебнику и излагает в основном новый оригинальный материал. Курс лекций – авторская работа, раскрывающая конкретные проблемы, отражающая собственную позицию автора, его творческое индивидуальное начало и отношение к поставленным проблемам.

### 2.4. Периодические издания

**Периодическое издание** – сериальное издание, выходящее через определенные промежутки времени, как правило, с постоянным для каждого года числом номеров, не повторяющихся по содержанию, однотипно оформленных, нумерованных и датированных выпусками, имеющими одинаковое заглавие.

Периодические издания могут быть **ежедневными, еженедельными, ежемесячными, ежеквартальными, ежегодными**. ГОСТ 7.60-2003 «Изда-

ния. Основные виды. Термины и определения» выделяет: газета, журнал, бюллетень.

**Газета** – это периодическое издание, выходящее через краткие промежутки времени, содержащее официальные материалы, оперативную информацию и статьи по актуальным научным, производственным и другим вопросам, рекламу.

**Журнал** – это периодическое журнальное издание, которое содержит статьи и рефераты по различным научным, производственным и другим вопросам, а также рекламу, имеющее постоянную рубрику.

**Бюллетень** – издание, которое выходит оперативно и содержит краткие официальные материалы по вопросам, входящим в круг ведения выпускающей его организации. Он может быть как периодическим, так и продолжающимся. Периодические бюллетени имеют, как правило, постоянную рубрику [1, 3, 4].

## 2.5. Электронные источники научно-технической информации

В зависимости от режима доступа электронные источники информации можно разделить на источники **локального доступа** (с информацией, зафиксированной на отдельном физическом носителе, который должен быть помещен пользователем в компьютер) и источники **удаленного доступа** (с информацией, размещенной в информационных сетях, в Интернете).

В настоящее время из существующих видов электронных источников можно выделить следующие: электронные версии периодических журналов и газет, электронные книги, компьютерные конференции, базы данных на КОД, глобальные информационные сети, электронные библиотеки, электронные СМИ [1, 2].

**Электронные версии периодических журналов и газет.** Издательский процесс в большинстве случаев включает в себя использование программного обеспечения для обработки текстов, издательские системы, которые позволяют подготавливать рукописи статей в машиночитаемой форме, что значительно сокращает количество ошибок и делает процесс полиграфического издания более быстрым.

**Электронные книги.** Несмотря на неудобство чтения книг с экрана компьютера, электронные книги становятся все более привычным делом, особенно если доступ к ним возможен с рабочего места пользователя.

**Компьютерные конференции.** Это вид электронных коммуникаций и источник информации дает возможность пользоваться информационными материалами по определенной тематике, принимать непосредственное участие в информационном обмене – участвовать в дискуссиях, помещать сведения о себе, своих научных трудах.

**Базы данных на КОД.** Самым многочисленным видом электронных источников информации являются базы данных. Компакт-диски могут хранить на едином носителе текстовую, графическую иллюстративную и звуковую информацию. Научная информация на КОД представлена в большинстве

случаев библиографическими, реферативными и полнотекстовыми базами данных, содержащими информацию из периодических и непериодических изданий.

**Электронная библиотека** – цифровая библиотека, вид автоматизированной информационной системы, в которой полнотекстовые и мультимедийные документы хранятся и могут использоваться в электронной форме, причем программными средствами обеспечивается единый интерфейс доступа из одной точки к электронным документам, содержащим тексты и изображения.

**ГИС Интернет** – это глобальное информационное пространство, основанное на самых передовых технологиях, обладающее широким спектром информационных и коммуникационных ресурсов, содержащее колоссальные объемы данных. Можно выделить три направления использования Интернета для научной работы: источник информации; средство обмена информацией; место размещения личной информации. Электронные ресурсы «работают» в 50-70 раз активнее, чем печатные. Адрес ресурса называется Uniform Resource Locator (Унифицированный указатель ресурса). Сокращенно его называют URL-адрес [1, 3].

**Рекомендуемые базы данных:**

- <http://lib.sevsu.ru/> - библиотека СевГУ;
- <https://www.scopus.com/> - база Scopus;
- база Web of Science;
- <https://cyberleninka.ru/> - научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <https://elibrary.ru> – научная электронная библиотека eLIBRARY.RU;
- <https://patents.google.com/> - патентный поиск средствами Google;
- <https://patentscope.wipo.int/search> - патентный поиск на сайте Всемирной организации интеллектуальной собственности;
- [http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS\\_Ru](http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru) - патентный поиск на сайте ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности».

Умение быстро найти литературу по нужному вопросу, правильно оформить список использованных источников к докладу, статье, курсовому и дипломному проекту, диссертации необходимо не только научному работнику, но и студенту ВУЗа. Это умение, иными словами, элементарная библиографическая грамотность приобретает с каждым годом все большее значение.

Приступая к работе над темой, нужно выяснить, в какой степени она изучена, в каких публикациях отражена. Для этого надо определить [3]:

1. Какие публикации нужны: обзоры, монографии, статьи, патенты, неопубликованные материалы.
2. Язык публикаций.
3. Хронологические рамки публикаций.
4. Каталоги, картотеки и библиографические источники для просмотра.
5. Какие источники профессиональной информации можно использовать в Интернете.

Следующий этап поиска – это просмотр библиографических изданий.

## 2.6. Порядок выполнения работы

- 1) произвести поиск и выполнить анализ НТИ на заданную тему в соответствии с вариантом (таблица 2.1);
- 2) используя различные виды источников: монографии, отечественную и зарубежную научную периодику, патенты на изобретения, оценить их на релевантность и актуальность;
- 3) для отобранных не менее 10 источников составить библиографическое описание в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 и включить его в отчет;
- 4) оформить отчет о проделанной работе.

Таблица 2.1 – Варианты тем для поиска и анализа НТИ

| Вариант | Тема исследования (желательно по теме ВКР магистра)                                           |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Повышение точности мелкогазмерных отверстий при сверлении труднообрабатываемых материалов     |
| 2       | Прогрессивные методы металлообработки в современном судостроении                              |
| 3       | Обеспечение качества поверхностей при плоском шлифовании деталей из твердых сплавов           |
| 4       | Обеспечение качества поверхностей при круглом шлифовании деталей из быстрорежущих сталей      |
| 5       | Повышение качества поверхностей при фрезеровании деталей из цветных сплавов                   |
| 6       | Повышение виброустойчивости металлорежущих станков при работе в условиях плавающих мастерских |
| 7       | Повышение надежности токарных станков с ЧПУ                                                   |
| 8       | Современные способы внутренней резьбообработки в титановых сплавах                            |
| 9       | Повышение качества поверхностей при точении деталей из слоистых пластиков                     |
| 10      | Повышение качества наружных резьбовых поверхностей при накатывании на резьбонакатных станках  |

## 2.7. Содержание отчета

- Оценка различных видов источников на релевантность и актуальность.
- Составленное библиографическое описание в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 для отобранных не менее 10 источников по теме.
- Выводы по результатам выполненной работы.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Обоснуйте важность этапа поиска научно-технической информации для научного исследования.
- 2) Охарактеризовать виды НТИ – первичную и вторичную.
- 3) Перечислите основные виды научных изданий.
- 4) Что понимают под релевантностью НТИ?
- 5) Что подразумевается под достоверностью и актуальностью НТИ?

## **Рекомендуемая литература к практическому занятию**

1. Организация научных исследований. Понятие научно-технической информации, ее источники и виды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://bookwu.net/book\\_organizaciya-nauchnyh-issledovanij\\_801/4\\_ponyatie-nauchno-tehnicheskoy-informacii-ee-istochniki-i-vidy](http://bookwu.net/book_organizaciya-nauchnyh-issledovanij_801/4_ponyatie-nauchno-tehnicheskoy-informacii-ee-istochniki-i-vidy) (Дата обращения: 27.11.2017 г.)
2. Основные виды научных источников информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://infourok.ru/po\\_discipline\\_osnovy\\_uchebno-issledovatel'skoy\\_deyatelnosti\\_osnovnye\\_vidy\\_nauchnyh\\_istocnikov-140787.htm](https://infourok.ru/po_discipline_osnovy_uchebno-issledovatel'skoy_deyatelnosti_osnovnye_vidy_nauchnyh_istocnikov-140787.htm) (Дата обращения: 28.11.2017 г.)
3. Источники научно-технической информации: поиск научно-технической литературы, библиография [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/3987412/> (Дата обращения: 29.11.2017 г.)
4. Кузнецов И.Н. Информация: сбор, защита, анализ. – Учебник по информационно-аналитической работе. – М.: ООО «Издательство Яуза». – 2014.

### **Практическое занятие 3.**

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЭТАПОВ ПОДГОТОВКИ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Цель занятия:** составление и описание этапов подготовки и планирования научных исследований по тематике ВКР магистра.

### **3.1. Общие сведения**

В научных исследованиях значительная роль принадлежит экспериментальным исследованиям. Эксперименты являются *арбитром достоверности и точности теоретических положений* с одной стороны, а с другой стороны, в ряде случаев, они позволяют изучить и описать некоторые исследуемые явления и процессы, не поддающиеся теоретическому представлению. Но это возможно только тогда, когда соблюдается корректность и чистота эксперимента. Важнейшую роль в экспериментах играет их метрологическое обеспечение. Основой метрологического обеспечения являются используемые в эксперименте средства измерений, организация, планирование и выполнение измерений. Выполнение измерений предусматривает не только процедуру самого измерения, но и выполнение процедур до и после его проведения. Процесс измерения можно разделить на три основных этапа: подготовка и планирование; проведение; обработка и анализ полученных данных.

### **3.2. Описание этапа подготовки и планирования**

На этапе подготовки и планирования экспериментальных исследований необходимо выполнить:

- анализ исследуемого объекта с определением его характеристик, условий функционирования (существования), начальных, конечных, а если имеют место и переходных, представление ее физической и математической модели в общем виде;
- цель измерений, которая предопределяет необходимую точность, массив наблюдений и выбор средств измерений;
- зависимости между величинами и виды их измерений (прямые, косвенные, совместные, совокупные);
- условия измерений (температура, вибрации, физические излучения, давление, влажность и т. д.) и их влияние на точность и достоверность результатов;
- назначение допустимых погрешностей при измерении физических величин, выбор способов наблюдений и оценки погрешностей данных.

### **3.3. Описание этапа проведения измерений**

На этапе проведения измерений необходимо выполнить:

- выбор методик измерения отдельных величин;

- обоснованный выбор средств измерений по их: исполнению (нормальное, взрывозащищенное, взбрызгазащищенное, влагопылезащищенное и др.); метрологической обеспеченности (оценка погрешности средства измерения, как критерия точности); технико-экономической целесообразности (целевая функция, частный случай, наименьшая стоимость);

- выбор способов компенсации погрешностей непосредственно в процессе измерения (замещения, противопоставления, компенсаций по знаку, повторные измерения).

### **3.4. Описание этапа обработки и анализа полученных данных**

На этапе обработки и анализа полученных данных необходимо определить:

- форму представления результатов экспериментального исследования (таблицы, аналоговые кривые, графики, смешанные отображения, эмпирические формулы);

- алгоритмы и способы обработки экспериментальных данных (методы математической статистики и теории вероятности, распределения, критерии тесноты связи и достоверности аппроксимации, методы выравнивания графических зависимостей, компьютерную обработку);

- отчетные формы представления результатов исследования и экономические оценки.

### **3.5. Последовательность выполнения работы**

1. При проведении активного эксперимента важнейшим элементом является планирование исследования, которое существенным образом влияет как на точность и достоверность, так и стоимость полученного результата. Поэтому в первую очередь должен быть обоснован объем эксперимента (число наблюдений  $N$ ). С увеличением  $N$  точность и достоверность возрастают, но при этом экспоненциально возрастают и затраты на эксперимент. Экспериментатор стоит перед дилеммой – где остановиться в выборе объема эксперимента.

2. Поскольку отдельные наблюдения в эксперименте являются случайными, то и исследуемый процесс в целом может рассматриваться как случайный. Поэтому применимы для обработки данных наблюдений методы теории вероятности. Вероятностные распределения табулированы соответствующими таблицами, из которых при заданных доверительных вероятностях можно принять обоснованное число наблюдений в эксперименте. Исходя из этого объем эксперимента, стоимость его также будет обоснованной. Экспериментатору не следует гнаться за незначительным повышением точности результата при несоизмеримо высокой его стоимости.

3. Составить и описать этап подготовки и планирования экспериментальных исследований для заданного объекта по тематике ВКР магистра.

### **Примеры.**

1. Экспериментатор выполняет обработку данных пассивного эксперимента (статистические данные литературных источников, отчетов, журналов). Он руководствуется намерением повысить достоверность аппроксимации экспериментальных данных за счет увеличения их объема (количества). При этом трудоемкость обработки данных несколько увеличивается, а значит и несколько повышается стоимость эксперимента. С одной стороны это оправдано тем, что разброс данных, вызванный неучтенными причинами при исследовании одного и того же процесса, компенсируется увеличением объема информации, а с другой стороны не столь значительным ростом затрат. В этом случае может быть оправдано увеличение объема эксперимента.

2. Проводятся испытания атомной бомбы в реальных условиях или условиях приближенных к реальным, с целью определения величины радиуса поражающего действия. При заданной доверительной вероятности, например  $P = 0,95$  или 95 % и коэффициенте доверия  $t = 4,30$ , из таблиц находим, что число испытаний (взрывов)  $N = 3$ , а при  $P = 0,99$  и  $t = 4,03$ ,  $N = 6$ . В этом случае достоверность устанавливаемой зависимости совсем незначительно повышается с 95 % до 99 %, а объем эксперимента увеличивается в два раза с 3 до 6 взрывов. Если считать с тем, что каждый взрыв сопровождается значительными затратами на производство атомной бомбы и ущербом связанным с уничтожением живого и растительного мира в зоне поражения и затратами на восстановление окружающей природной среды, то очевидно, что целесообразности увеличения объема эксперимента нет.

### **3.6. Содержание отчета**

- Основные этапы проведения исследования.
- Список этапов подготовки и планирования экспериментальных исследований для заданного объекта по тематике ВКР магистра.
- Выводы по результатам планирования.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое научный поиск? Формы научного труда. Особенность научного поиска прикладных исследований.
2. Общая характеристика выбора темы научного исследования.
3. Критерии целесообразности выбора темы научного исследования.
4. Поясните основные этапы научного исследования

## Практическое занятие 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА В МАШИНОСТРОЕНИИ

**Цель работы:** получение навыков планирования инженерного эксперимента и составления его протокола.

### 4.1. Общие сведения о методике эксперимента

Методика эксперимента – это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследований.

К составляющим методики относятся:

- цель и задачи эксперимента;
- объекты исследования;
- варьирующие факторы и шаг их изменения;
- объем эксперимента и число опытов;
- методы испытаний (анализа) оценочных показателей;
- распределение работы между исполнителями, сроки выполнения и представления её результатов;
- методы обработки экспериментальных данных;
- форма представления отчета по эксперименту и др.

От выбранной методики зависят качество, продолжительность, стоимость эксперимента. Допущенные в методике ошибки, например, неверно выбранный шаг измерения варьирующих факторов или недостаточная точность измерительной аппаратуры могут полностью обесценить выполненную работу.

Большое число варьирующих факторов приводит к резкому усложнению эксперимента. Например, если проводить эксперимент, меняя  $m$  раз каждый из  $n$  факторов, то суммарное число опытов составит

$$N = m^n .$$

Например, при  $m = 5$  и  $n = 4$ , получаем  $N = 5^4 = 3125$  опытов.

В таких случаях используют теорию подобия, позволяющую уменьшить число переменных за счет введения т.н. чисел подобия – безразмерных комбинаций варьирующих факторов.

Примерная структура протокола эксперимента:

- дата проведения эксперимента (или отдельного опыта);
- номер и цель эксперимента (или отдельного опыта);
- описание постановки эксперимента (или отдельного опыта);
- результаты эксперимента (или отдельного опыта), которые заносятся в таблицы с дальнейшим представлением их данных в виде графиков, диаграмм;
- заключение, выводы и рекомендации.

В качестве примера на рис.4.1, 4.2 приведены фрагменты протоколов испытаний.

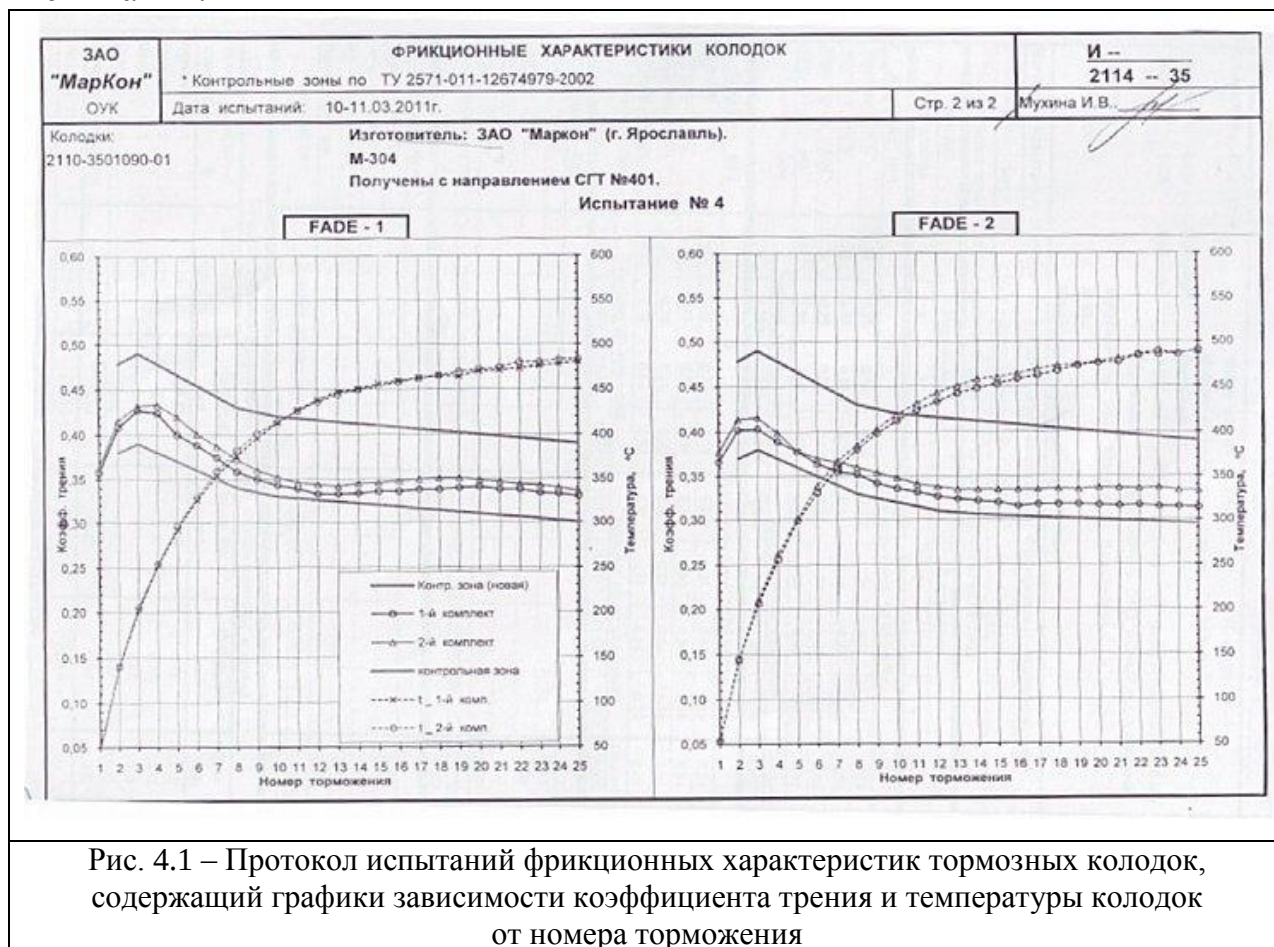
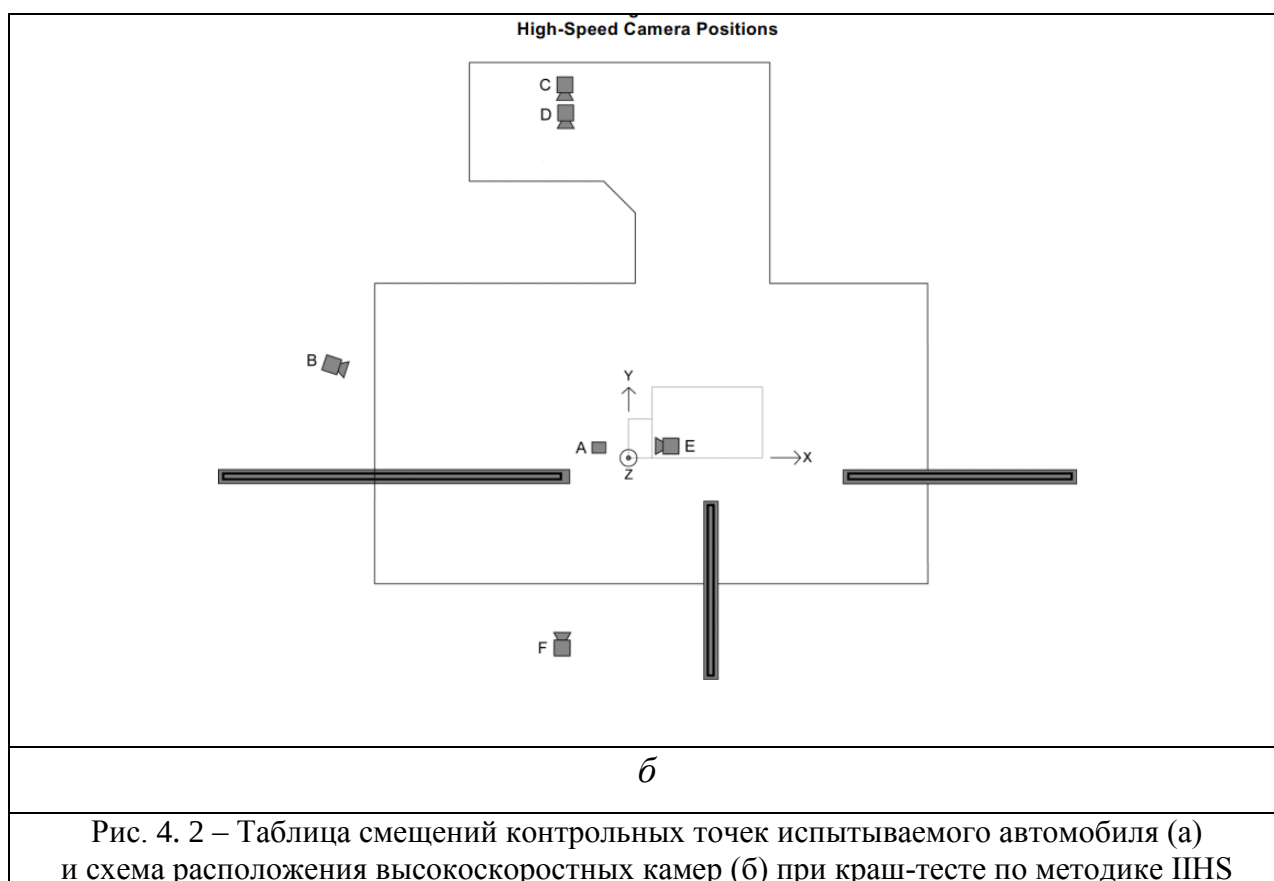


Table 1  
 Crash Hall High-Speed Cameras – Coordinates, Focal Points, and Settings

|                   | A        | B            | C         | D           | E       | F               |
|-------------------|----------|--------------|-----------|-------------|---------|-----------------|
| Camera Position   | Overhead | Rear Oblique | Wide Left | Medium Left | Barrier | Passenger Tight |
| Coordinate X (cm) | -33      | -2031        | -159      | -157        | 189     | -70             |
| Coordinate Y (cm) | 10       | 517          | 1410      | 1369        | 70      | -1543           |
| Coordinate Z (cm) | 910      | 152          | 150       | 118         | 285     | 135             |
| Focal length (mm) | 35       | 200          | 50        | 100         | 50      | 135             |

a



## 4.2. Последовательность выполнения работы

1. Изучить общие требования к методике эксперимента;
2. Выбрать индивидуальное задание и составить для него форму протокола эксперимента;
3. Сделать выводы по результатам

В качестве индивидуального задания нужно выбрать цель эксперимента в соответствии с таблицей 4.1, разработать его методику и форму протокола.

Таблица 4.1 – Варианты для индивидуального задания

| № варианта | Цель эксперимента                                                                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | Выявить зависимость стойкости инструмента (резца) от материала обрабатываемой детали      |
| 2          | Выявить зависимость стойкости инструмента (сверла) от материала обрабатываемой детали     |
| 3          | Выявить зависимость стойкости инструмента (фрезы) от материала обрабатываемой детали      |
| 4          | Выявить зависимость стойкости инструмента (метчика) от материала обрабатываемой детали    |
| 5          | Выявить зависимость стойкости инструмента (резца) от материала рабочей части инструмента  |
| 6          | Выявить зависимость стойкости инструмента (сверла) от материала рабочей части инструмента |

| № варианта | Цель эксперимента                                                                          |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7          | Выявить зависимость стойкости инструмента (фрезы) от материала рабочей части инструмента   |
| 8          | Выявить зависимость стойкости инструмента (метчика) от материала рабочей части инструмента |
| 9          | Выявить зависимость производительности обработки от скорости резания при сверлении.        |
| 10         | Выявить зависимость производительности обработки от скорости резания при точении.          |

### 4.3. Содержание отчета

- Название и цель работы.
- Составленная форма протокола экспериментальных исследований в рамках темы ВКР магистра.
- Выводы по результатам работы.

#### Вопросы для самоконтроля

1. В каком виде могут быть представлены результаты эксперимента?
2. Какие сведения должен содержать протокол эксперимента?
3. Как влияет число факторов на сложность эксперимента?

## Практическое занятие 5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Цель работы:** ознакомление с особенностями математического моделирования и освоение алгоритма его применения при решении исследовательских задач.

### 51. Общая характеристика моделирования

Моделирование есть замена изучения интересующего нас явления в натуре изучением аналогичного явления на модели меньшего или большего масштаба, обычно в специальных лабораторных условиях. Основным смыслом моделирования заключается в том, что по результатам опытов с моделями можно дать необходимые ответы о характере эффектов, связанных с явлениями в натуральных условиях.

Модели бывают материальные и идеальные.

**Материальная модель** воспроизводит натуральный объект меньшего или большего масштаба и служит для отражения структуры, характера протекания и сущности изучаемого процесса (явления, объекта).

**Идеальная модель** мысленно воссоздается исследователем с помощью логических, математических, физических и других правил.

В научно-техническом творчестве часто пользуются терминами **математическая модель** и **физическая модель**, понимая под **математическим моделированием** исследование процесса (явления, объекта), в основном, путем построения и анализа математического аппарата, широко привлекая в последнее время ЭВМ, а под **физическим моделированием** – воспроизведение процесса (явления, объекта) на модели с сохранением его физической природы.

Чаще всего эти две формы моделирования используются совместно при исследовании одного и того же процесса или явления. Большое будущее принадлежит математическому моделированию, так как исследователь может проводить эксперимент не только с реально существующими объектами, но и с системами, процессами, явлениями, которые создает воображение конструктора, экспериментатора.

Иногда трудно или совсем не удастся построить математические и физические модели при исследовании некоторых объектов. Это связано с непреодолимыми математическими трудностями, т. е. с отсутствием математического аппарата. Тогда прибегают к **экспериментальным методам** исследования и построению моделей (эмпирических формул), полученных на базе экспериментальных данных. Эмпирические модели подчас более точно описывают исследуемый объект, нежели теоретические модели. Но они имеют существенный недостаток – пригодны только в конкретных условиях и в заданных пределах измерения параметров исследуемого объекта.

## 5.2. Суть математического моделирования

*Математическое* моделирование или *аналитическое* моделирование, *математические* методы или *аналитические* методы в исследованиях это примерно одно и то же, не считая некоторых процедурно-математических особенностей. Математическое моделирование в машиностроении, приборостроении, метрологии, экологии и других областях научных исследований используются достаточно широко.

Отношение между моделью и объектом исследования при математическом моделировании основано на тождестве математических форм различным законам природы. Так, в механическом движении (например, узле прибора пружинных весов) уравнение для отклонения (растяжения) пружины показывает, что сумма всех внешних сил, действующих на пружину равна силе инерции (при условии, что пружина находится в начальный момент в покое). Процесс этого состояния может быть описан дифференциальным уравнением второго порядка

$$m \frac{d^2 x}{d\tau^2} + \lambda \frac{dx}{d\tau} + kx = F(\tau), \quad (5.1)$$

где  $m \frac{d^2 x}{d\tau^2}$  – массовая сила;

$\lambda \frac{dx}{d\tau}$  – скоростная сила (сила реакции);

$kx$  – сила жесткости;

$F(\tau)$  – сила инерции;

Физическая основа этого уравнения – закон Ньютона и принцип Д’Аламбера.

Принцип Д’Аламбера заключается в том, что если к активным силам, действующим на точки механической системы и реакциям связи, прибавить силы инерции, то получится уравновешенная система сил. Это есть основной принцип динамики.

Решение практических задач математическими методами последовательно осуществляется путем математической формулировки задачи, разработки математической модели, выбора метода проведения исследования полученной модели, анализа полученного математического результата. При этом используются любые математические формы, наиболее удовлетворяющие описанию исследуемого объекта (явления, процесса). Такими формами могут быть дифференциальные и интегральные уравнения, матрицы, выражения теории вероятности, выражения физических законов и др.

*Математическая формулировка задачи* обычно представляется в виде чисел, геометрических образов (изображений), функций, систем уравнений (алгебраических, дифференциальных, интегральных и др.). Описание объекта (явления, процесса, ситуации) может быть представлено с помощью дискрет-

ной, непрерывной, детерминированной, стохастической, или другой математической формы.

*Математическая модель* представляет собой систему математических соотношений: формул, функций, уравнений, систем уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса. На этапе выбора математической модели при помощи анализа данных поискового эксперимента устанавливаются: линейность или нелинейность, динамичность или статичность, стационарность или нестационарность, а также степень детерминированности исследуемого объекта, процесса.

*Линейность* устанавливается по характеру статической характеристики исследуемого процесса, например  $y=f(x)$  или  $y=f(\tau)$ . Если между входным сигналом  $x$  (параметр) или  $\tau$  (время) и выходной характеристикой  $y$  (под  $y$  понимается изменение выходного сигнала, например во времени) имеется линейная зависимость, как показано на рис. 5.1, а, то математическая модель линейная и представляет собой уравнение прямой

$$y = a + bx \text{ или } y = a - b\tau, \quad (5.2)$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты.

*Нелинейность* статической характеристики, например, как показана на рис. 5.1, б, свидетельствует о том, что должна быть принята нелинейная математическая модель, описываемая уравнением параболы второй степени или уравнением кубической параболы:

$$\begin{aligned} y &= a + bx + cx^2 \\ y &= a + b\tau + c\tau^2 + d\tau^3. \end{aligned} \quad (5.3)$$

Нелинейность статической характеристики в более сложном виде, как показано на рисунке 2.1, в, может быть описана полиномом

$$y = a + bx + cx^2 \cdots f\tau^n \quad (5.4)$$

или более сложными выражениями.

*Статичность и динамичность объекта* устанавливается по поведению его характерных показателей. Применительно к детерминированной системе, если среднее арифметическое значение выходного сигнала  $\bar{y}$  на разных интервалах времени не выходит за установленные пределы, определенные точностью измерения, то это свидетельствует о статичности объекта, а если выходит за установленные пределы – о его *динамичности*.

Применительно к вероятностным системам, если изменчивость уровня их относительной организации не превышает допустимые пределы, то система определяется как *статическая*, если превышает – как *динамическая*.

*Стационарность и не стационарность* определяются аналогично по среднеквадратичному отклонению  $\sigma$  минимального значения среднего арифметического

$$\bar{y}_1(\tau_{\min}) + \Delta y \text{ и } \bar{y}_2(\tau_{\min}) - \Delta y,$$

где  $\Delta y$  – погрешность измерения (точность методики измерения).

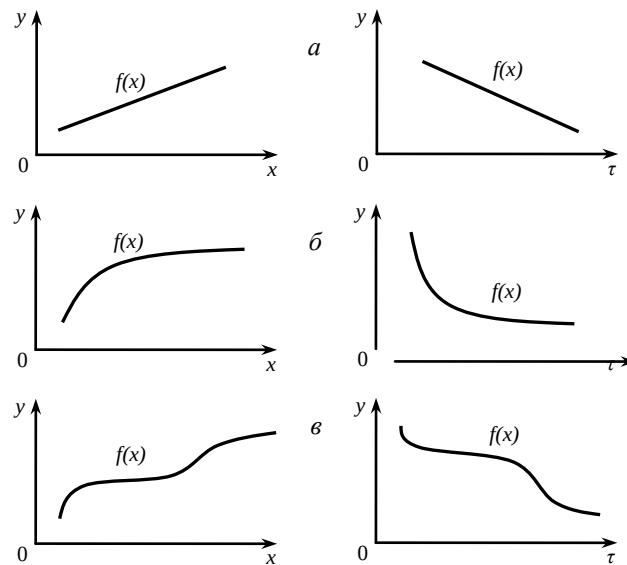


Рис. 5.1 – Характер зависимости статической характеристики:  
*а* – линейной, *б* – нелинейной, *в* – сложной (полиномной)

Граничные значения  $\sigma$  определяются по известным формулам:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{D_1}{n}}; \sigma_2 = \sqrt{\frac{D_2}{n}}, \quad (5.5)$$

где  $D_1, D_2$  – дисперсии, определяемые по формуле

$$D = \left\{ \sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}(\tau_{\min}) \pm \Delta y]^2 \right\} \frac{1}{n-1} \quad (5.6)$$

Если все значения  $\sigma$  укладываются в интервал  $\sigma_1 \dots \sigma_2$ , то объект считается *стационарным*, а если нет – *нестационарным*.

Определение общих, вышеотмеченных характеристик исследуемого объекта позволяет выбрать математический аппарат, на базе которого строится математическая модель. Выбор математического аппарата не является однозначным.

### 5.3. Общий подход к построению математической модели

Построение математической модели требует интуиции и изобретательности, глубокого понимания сути поставленной задачи и математической подготовленности исследователя. Разработка модели облегчается, если используется ЭВМ. Решение задачи по разработке математической модели в общем виде можно сформулировать как последовательность интерактивных процедур: идентификации, оценивания и диагностической проверки.

*Идентификация* – использование теоретических и экспериментальных данных, а также любой другой априорной информации об объекте исследования для выбора класса необходимых математических зависимостей.

*Оценивание* представляет собой эффективное использование имеющихся данных для получения выводов о параметрах, определяющих адекватность исходной модели, т. е. ее соответствие имеющимся экспериментальным данным.

*Диагностическая проверка* включает в себя согласование модели с исходными данными, выявление недостатков и усовершенствование модели. В процессе этой проверки необходимо обнаружить элементы неадекватности модели исследуемому объекту и найти пути рационального ее изменения. Эффективность диагностической проверки определяется обоснованным выбором методов, наиболее чувствительных к возможным отклонениям параметров модели.

Общий подход к созданию математической модели может быть представлен последовательностью этапов, показанных на рис. 5.2.

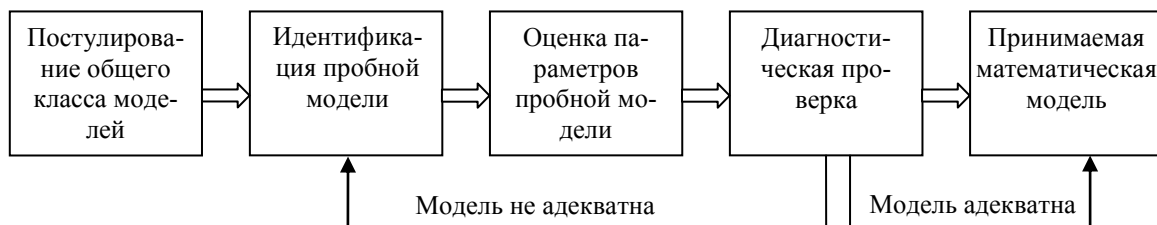


Рис. 5.2 – Схема этапов построения математической модели

Очень часто для построения математических моделей используются дифференциальные уравнения, решение которых выполняется с помощью ЭВМ. Схема построения модели в этом случае представлена на рис. 5.3.

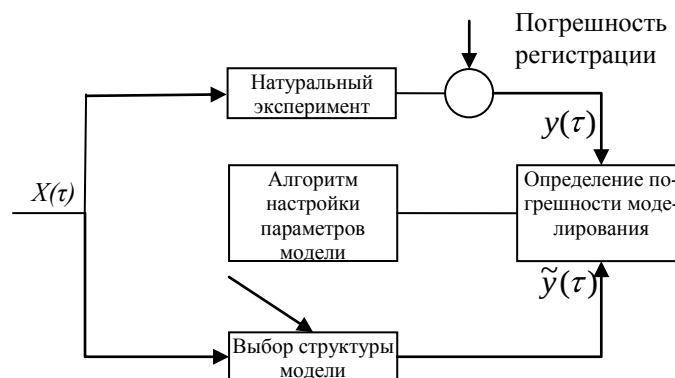


Рис. 5.3 – Схема построения математической модели

Порядок построения модели с использованием ЭВМ упрощается и сводится к следующим этапам:

1. Определение структуры модели (т. е. вида дифференциального уравнения или системы таких уравнений) и выделение известных параметров.
2. Выбор некоторой функции (критерия качества) для оценки степени совпадения реакций модели  $\tilde{y}(\tau)$  и реальной системы  $y(\tau)$  на одно и то же возмущение  $x(\tau)$ .

3. Поиск алгоритма или стратегии для определения параметров, минимизирующих различие реакций модели  $\tilde{y}(\tau)$  и реальной системы  $y(\tau)$  согласно принятому критерию качества.

Если система описывается линейным дифференциальным уравнением или алгебраическим уравнением и имеет один вход и один выход, то задача построения математической модели может быть сведена к идентификации передаточной функции.

#### **5.4. Порядок выполнения работы**

1. Получить задание от руководителя и уточнить его в соответствии с выданным вариантом.

2. Применительно к конкретной модели станка (робота) или устройства выполнить схему этапов построения его математической модели.

3. Выполнить схему построения математической модели заданного объекта с использованием последовательности интерактивных процедур.

#### **5.5. Содержание отчета**

- Наименование и цель работы.
- Схема этапов построения математической модели станка (робота) или устройства.
- Схема этапов построения математической модели заданного объекта с использованием последовательности интерактивных процедур.
- Выводы по результатам выполнения работы.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что представляет собой моделирование в исследованиях? Пояснить виды моделей.

2. Что понимают под математическим моделированием? Этапы математического моделирования.

3. Общая характеристика свойств модели. Пояснить линейность и нелинейность, статичность и динамичность, стационарность и нестационарность исследуемых объектов.

4. Какова последовательность (этапность) процедур построения модели? Пояснить процедуры: идентификация, оценивание, диагностическая проверка.

## Практическое занятие 6.

### ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА И СХЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТА С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ. УРАВНЕНИЕ В ДИФФЕРЕНЦИАЛАХ

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями математического моделирования дифференциального уравнения в дифференциалах и освоить алгоритм его применения при решении исследовательских задач.

#### 6.1. Общие рекомендации по выбору математического аппарата для построения моделей исследования объектов, процессов

Для *детерминированных объектов* может использоваться аппарат линейной и нелинейной алгебры, теории дифференциальных и интегральных уравнений, теории автоматического регулирования.

Для *вероятностных объектов* математическим аппаратом является теория детерминированных и случайных автоматов, теория случайных процессов, теория марковских процессов, методы теории информации, методы теории управления и оптимизации.

Для *квазидетерминированных (вероятностно-детерминированных) объектов* может использоваться теория дифференциальных уравнений с коэффициентами, подчиняющимися определенным законам.

Для *дискретных и непрерывных объектов* анализ массива информации позволяет установить непрерывность или дискретность исследуемого показателя процесса и объекта в целом. В случае *дискретных объектов* (процессов) используются математические модели теории автоматов, а в случае *непрерывных* – дифференциальные уравнения.

Результаты поискового эксперимента и массив априорной информации позволяют установить схему взаимодействия объекта с внешней средой по соотношению входных и выходных величин.

В принципе возможно установление четырех основных схем взаимодействия (рис. 6.1).

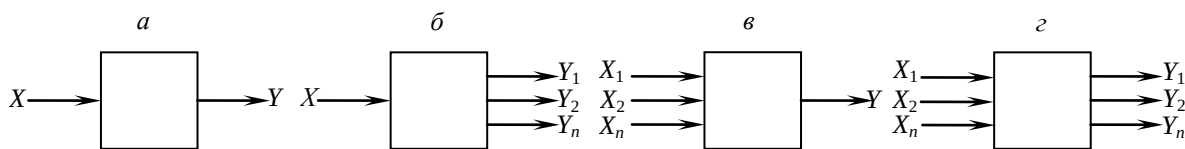


Рис. 6.1 – Схемы взаимодействия объекта с внешней средой:

*a* – одномерно-одномерная; *б* – одномерно-многомерная;  
*в* – многомерно-одномерная; *г* – многомерно-многомерная

*Одномерно-одномерная схема* взаимодействия соответствует случаю, когда на объект воздействует только один входной фактор  $X$  и поведение объекта рассматриваются по одному выходному показателю (сигналу)  $Y$ .

*Одномерно-многомерная схема* – это, когда на объект воздействует один фактор  $X$ , а его поведение оценивается по нескольким показателям  $Y_1, Y_2 \dots Y_n$ .

*Многомерно-одномерная схема* характерна воздействием на объект нескольких факторов  $X_1, X_2 \dots X_n$  и оценкой его поведения по одному показателю  $Y$ .

*Многомерно-многомерная схема* характерна воздействием на объект нескольких факторов  $X_1, X_2 \dots X_n$  и оценкой его поведения по нескольким показателям  $Y_1, Y_2 \dots Y_n$ .

В случае *статического стационарного детерминированного объекта*, то связь входного фактора  $X$  с выходным сигналом (показателем)  $Y$  описывается постоянным коэффициентом  $k$ ,  $Y = kX$ .

Если же объект является *нестандартным*, то указанная на схеме (рис. 6.1, а) связь описывается нелинейной функцией  $Y = f(X)$ , в качестве которой обычно используется полиномом:

$$Y = a + bx + cx^2 + \dots + ex^n. \quad (6.1)$$

В случае схемы (рис. 6.1, в), *статический стационарный детерминированный объект* описывается моделью:

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

при равнозначности внешних воздействий  $X_1, X_2 \dots X_n$ , а при неравнозначности внешних воздействий – моделью

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

где  $a_i$  – постоянный коэффициент;

$m$  – число воздействующих факторов. Для статического нестационарного объекта, при той же схеме (рис. 6.1, в), часто используется модель в виде степенного полинома

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} \sum_{v=1}^{m_3} a_{ijv} x_i x_j x_v + \dots, \quad (6.2)$$

где  $m_1, m_2, m_3 \dots$  – число парных и тройных сочетаний факторов ( $m_2 = C_m^2$ ;  $m_3 = C_m^3$ ).

При *одномерно-многомерной схеме* (рис. 6.1, б), статистически стационарный и нестационарный объекты описываются аналогично одномерной схеме. При этом определяется отдельно математические модели входного фактора  $X$  с каждым выходным сигналом  $Y_i$ .

*Многомерно-многомерное* взаимодействие по схеме (рис. 6.1, г), сводится к многомерно-одномерному и математическая модель объекта принимается аналогично изложенной выше, т. е. с каждым входным  $X_i$  и выходным  $Y$ .

Для нестационарного одномерно-одномерного и одномерно-многомерного взаимодействия модели могут представлять собой решение дифференциальных уравнений. При этом необходимо рассматривать произ-

водные математического ожидания  $\bar{Y}$  по переменному фактору  $X$ . Например, экспоненциальная зависимость может являться решением следующего дифференциального уравнения

$$\frac{d\bar{y}}{dx} + a\bar{y} = ay^{-m} (\bar{y} = 0 \text{ при } x = 0), \quad (6.3)$$

где  $\bar{y}$  – максимальное значение математического ожидания.

Выбор вида модели *динамического* объекта сводится к составлению дифференциальных уравнений, но может быть выбрана модель и в классе алгебраических функций. Однако такой подход является ограниченным, так как возникает перестройка структур алгебраических функций и коэффициентов. Поэтому предпочтение отдается математическим моделям в виде дифференциальных уравнений.

При *одномерно-одномерном* и *одномерно-многомерном* взаимодействии детерминированного объекта с внешней средой, структура дифференциального уравнения определяется по виду выходной характеристики объекта  $Y$ , например, ступенчатого характера.

Наиболее простой выходной характеристикой объекта является линейная (рис. 6.2, *а*).

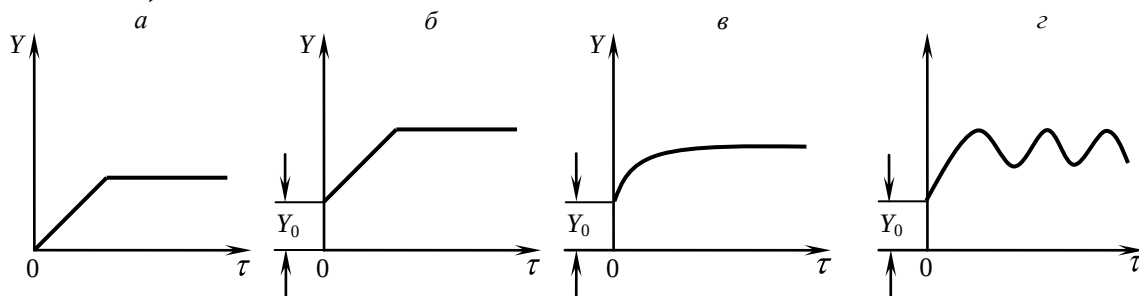


Рис. 6.2 – Характер выходных характеристик объекта:

*а* – линейно-ступенчатый при  $Y_0 = 0$ ; *б* – линейно-ступенчатый при  $Y_0 \neq 0$ ;  
*в* – нелинейно-ступенчатый при  $Y_0 \neq 0$ ; *г* – ступенчато-гармонический при  $Y_0 \neq 0$

Линейное изменение величины  $Y$  описывается решением дифференциального уравнения

$$\frac{dy}{d\tau} = kx \quad \text{при} \quad Y_0 = 0, \quad (6.4)$$

где  $k > 0$  – коэффициент размерности и пропорциональности;

$Y_0$  – начальное значение выходного сигнала;

$\tau$  – время.

Если  $Y_0 \neq 0$  (рис. 6.2, *б*), то форма выходной характеристики объекта аналогично рис. 6.2, *а* и дифференциальное уравнение остается неизменным.

Более сложный вид реакции объекта на ступенчатое входное воздействие (рис. 6.2, *в*) может быть описан полным неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка

$$\frac{dy}{d\tau} + a_0 y = kx \quad \text{при} \quad y(0) = y_0, \quad (6.5)$$

где  $a_0$  – коэффициент дифференциального уравнения.

Реакция объекта, соответствующая рис. 6.2,  $z$ , может быть описана полным неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка

$$\frac{d^2 y}{d\tau^2} + a_1 \frac{dy}{d\tau} + a_0 y = kx \quad \text{при} \quad y(0) = y_0. \quad (6.6)$$

Однако здесь возникают сложности с решением неоднородного уравнения второго порядка. В этом случае необходимо привлекать другие методы, например, численные.

Рассмотренные виды математических моделей соответствуют постоянному входному воздействию ( $x = \text{const}$ ). Если же входные воздействия являются некоторой функцией времени  $x = f(\tau)$ , то в приведенных выше дифференциальных уравнениях правые части будут представлять функцию времени  $kf(\tau)$ .

Из изложенного выше материала следует, что при математическом моделировании объектов наиболее универсальным аппаратом является дифференциальные и интегральные уравнения. Следует заметить также, что универсального метода составления дифференциальных уравнений нет, можно лишь использовать некоторые общие подходы. В данном учебном пособии ограничимся только составлением однородных уравнений первого порядка, которые в свою очередь, имеют распространенную область применения.

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

- дифференциальные уравнения в дифференциалах;
- дифференциальные уравнения в производных;
- простейшие интегральные уравнения с преобразованием их в дифференциальные уравнения.

## 6.2. Понятие дифференциального исчисления

*Дифференциальное исчисление* – раздел математики, в котором изучаются производные и дифференциалы функций и их применения к исследованию функций. Оформление дифференциального исчисления в самостоятельную математическую дисциплину связано с именами *И. Ньютона* и *Г. Лейбница*. Они сформулировали основные положения дифференциального исчисления и указали на взаимно-обратный характер операций *дифференцирования* и *интегрирования*. Аппаратом дифференциального исчисления служат центральные понятия *производная* и *дифференциал*.

Понятие *производной* удобно объяснять на решении геометрической задачи построения касательной к плоской кривой в некоторой ее точке  $M$  (рис. 6.3).

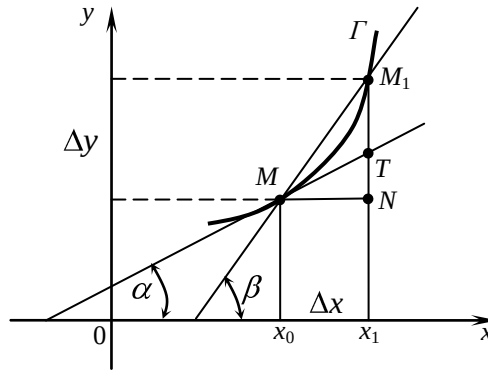


Рис. 6.3 – Геометрическая интерпретация производной

Пусть кривая  $\Gamma$  есть график функции  $y = f(x)$ . Положение касательной будет определено, если найдется ее *угловой коэффициент*, т. е. тангенс угла  $\alpha$ , образованного касательной с осью  $OX$ . Обозначив через  $x_0$  абсциссу точки  $M$ , а через  $x_1 = x_0 + \Delta x$  – абсциссу точки  $M_1$ . Угловой коэффициент секущей  $MM_1$  равен

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{M_1 N}{MN} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x},$$

где  $\Delta y = M_1 N = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$  – приращение функции на отрезке  $(x_0, x_1)$ .

Определяя касательную в точке  $M$  как предельное положение секущей  $MM_1$ , когда  $x_1$  стремится к  $x_0$ , получаем

$$\operatorname{tg} \alpha = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}. \quad (6.7)$$

*Производной функции  $y = f(x)$  в точке  $x$  называется предел, (если он существует) отношения приращения функции к приращению аргумента, когда последнее стремится к нулю так, что*

$$y' = f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}. \quad (6.8)$$

С помощью производной определяется ряд важных понятий естествознания.

Производную функции  $y = f(x)$  обозначают  $f'(x)$ ,  $y'$ ,  $\frac{dy}{dx}$  или  $Df(x)$ . Операцию нахождения производной называют *дифференцированием*. На классе функций, имеющих производную, эта операция линейна.

Если производная  $f'(x)$ , в свою очередь, имеем производную, то ее называют *второй производной* функции  $y = f(x)$  и обозначают  $y''$ ,  $y''(x)$ ,  $\frac{d^2 y}{dx^2}$  (произносят де квадрат игрек по де икс дважды) или  $D^2 f(x)$ . Для прямоли-

нейного движения точки вторая производная характеризует ее *ускорение*. Аналогично определяются и производные более высокого порядка. Производная порядка  $n$  обозначается  $y^n$ ,  $f^n(x)$ ,  $\frac{d^n y}{dx^n}$  или  $D^n(x)$ .

В приложении А дается таблица дифференцирования.

*Дифференциал функции*  $y = f(x)$  обозначается  $dy$  или  $df(x_0)$ . Функция  $y = f(x)$ , область определения которой содержит некоторую окрестность точки  $x_0$ , называется *дифференцируемой* в точке  $x_0$ , если приращение  $\Delta y = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$  можно записать в форме  $\Delta y = A\Delta x + a\Delta x$ , где  $A = A(x_0)$ ,  $a = a(x, x_0) \rightarrow 0$  при  $x \rightarrow x_0$ . В этом и только в этом случае выражение  $A\Delta x$  называется *дифференциалом функции  $f(x)$  в точке  $x_0$* . Геометрически дифференциал (при фиксированном значении  $x_0$  и изменяющемся приращении  $\Delta x$ ) изображает приращение ординаты касательной, т. е. отрезок  $NT$ . Дифференциал  $dy$  представляет собой функцию, как от переменной  $x$ , так и от ее приращения  $\Delta x$ . При фиксированном  $x_0$ ,  $dy$  есть линейная функция от  $\Delta x$  и разность  $\Delta y - dy$  есть бесконечно малая относительно  $\Delta x$ . Для функции  $f(x) \equiv x$  имеем,  $dx = \Delta x$  т. е. дифференциал независимой переменной совпадает с его приращением. Поэтому обычно пишут  $dy = Adx$ . Имеется тесная связь между дифференциалом функции и ее производной и поэтому справедливо равенство  $dy = f'(x_0)dx$ . Правила нахождения дифференциалов непосредственно вытекает из соответствующих правил нахождения производных. Рассматриваются также дифференциалы высших порядков. На практике с помощью дифференциалов часто выполняют приближенные вычисления значения функций, а также оценивают погрешности вычислений. Пусть, например, надо вычислить значение функции  $f(x_1)$  в точке  $x_1$ , если известно значение в точке  $x_0$  и  $f'(x_0)$ . Заменяя приращении функции ее дифференциалом, получают приближенное равенство

$$f(x_1) \approx f(x_0) + df(x_0) = f(x_0) + f'(x_0)(x_1 - x_0).$$

Погрешность этого равенства приближенно равна половине второго дифференциала функции, т. е.

$$\frac{1}{2} d^2 f = \frac{1}{2} f''(x_0)(x_1 - x_0)^2. \quad (6.9)$$

### 6.3. Уравнение в дифференциалах

При составлении дифференциальных уравнений первого порядка удобно применять «метод дифференциалов». Пусть дана функция  $y = f(x)$ . Приращение аргумента  $\Delta x$  вызывает приращение функции  $\Delta y$ , что можно записать  $\Delta y = f(\Delta x)$ . Поскольку область определения функции  $y = f(x)$  содержит не-

которую окрестность точки  $x_0$ , то, как показано в 2.5,  $\Delta y = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$  или в иной форме  $\Delta y = A\Delta x + a\Delta x$ , где  $A\Delta x = dy$ .

При фиксированном  $x_0$ ,  $dy$  есть линейная функция от  $\Delta x$  и разность  $\Delta y - dy$  есть бесконечно малая относительно  $\Delta x$ . На этом основании малые приращения величин  $\Delta y$  заменяют их дифференциалами  $dy$ , при этом неравномерно протекающие процессы в течение малого промежутка времени  $d\tau$  рассматриваются как равномерные. Рассмотрим метод дифференциалов на геометрическом примере.

### Пример 1.

Требуется определить форму поверхности, по которой нужно отшлифовать зеркало рефлектора, чтобы выходящие из одной точки световые лучи после отражения в зеркале пересекались в другой точке. Задача сводится к нахождению уравнения сечения, поверхности меридианной плоскостью, проходящей через точку  $F_2$ , в которой помещен источник света, и точку  $F_1$ , в которой пересекаются отраженные лучи. Как показано на рис. 6.4

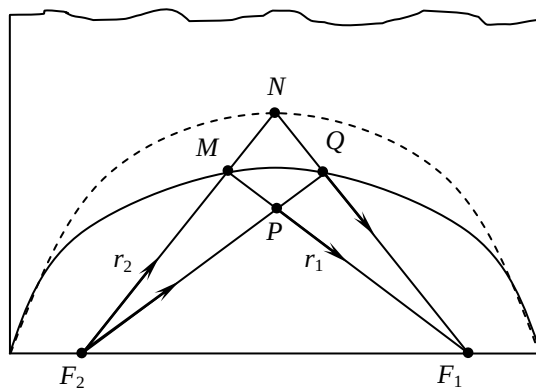


Рис. 6.4 – Схема лучей к составлению дифференциального уравнения сечения зеркальной поверхности рефлектора

Из точек  $F_2$  и  $F_1$  как из центров проведем дуги окружностей с радиусами  $F_1M = r_1$  и  $F_2M = r_2$  соответственно. В силу малости  $MN$ ,  $QN$ ,  $MQ$  будем считать прямолинейными отрезками. Треугольники  $MQN$  и  $MPQ$  прямоугольные и равнобедренные с общей гипотенузой  $MQ$ . Поэтому  $QN = \Delta r_1$  и  $MN = \Delta r_2$ . Эти приращения должны быть сошлифованы по пунктирной линии. Заменяя приращения радиусов-векторов  $r_1$  и  $r_2$  их дифференциалами имеем дифференциальное уравнение  $dr_1 + dr_2 = 0$ . Перепишем его следующим образом  $d(r_1 + r_2) = d0$  и проинтегрируем  $\int d(r_1 + r_2) = \int d0$ . Откуда получим  $r_1 + r_2 = 2a = C$ , где  $C$  постоянная величина. Последнее выражение есть уравнение эллипса. Следовательно, зеркало рефлектора надо шлифовать по поверхности эллипсоида вращения.

## 6.4. Последовательность выполнения работы

1. Получить задание от руководителя и уточнить его в соответствии с выданным вариантом.
2. Применительно к конкретной технологической операции по формированию криволинейной (фасонной) поверхности при обработке на станке с

ЧПУ определить ее форму, составив дифференциальное уравнение с целью построения математической модели управляющих воздействий.

3. Получить и представить уравнение траектории обработки.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое схема взаимодействия объекта с внешней средой? Пояснить четыре основных схемы этого взаимодействия.

2. Какой математический аппарат рекомендуется для объектов исследования в зависимости от их состояний и схем взаимодействия с внешней средой?

3. Дать понятие дифференциального исчисления. Геометрическая интерпретация производной. Таблица производных.

4. Пояснить механизм образования дифференциальных уравнений в дифференциалах.

## Приложение А-6

### Формулы и правила дифференцирования

$$(c)' = 0; (c^n)' = nx^{n-1};$$

$$(a^x)' = a^x \ln a \text{ и } (e^x)' = e^x;$$

$$(\log_a x)' = 1/x \ln a \text{ и } (\ln x)' = 1/x;$$

$$(\sin x)' = \cos x \text{ и } (\cos x)' = -\sin x;$$

$$(\operatorname{tg} x)' = 1/\cos^2 x; (\operatorname{ctg} x)' = -1/\sin^2 x;$$

$$(\arcsin x)' = 1/\sqrt{1-x^2};$$

$$(\operatorname{arctg} x)' = 1/1+x^2;$$

$$[cf(x)]' = cf'(x);$$

$$[f(x)g(x)]' = f'(x)g(x) + f(x)g'(x);$$

$$\left[ \frac{f(x)}{g(x)} \right]' = \frac{f'(x)g(x) - f(x)g'(x)}{g^2(x)}.$$

Если  $Y = f(U)$  и  $U = \varphi(x)$ , т. е.  $Y = f[\varphi(x)]$ ,

то  $dy/dx = (dY/dU) \cdot (dU/dx) = f'(U)\varphi'(x)$ .

Здесь  $C$ ,  $n$  и  $a$  – постоянные,  $a > 0$ . Производная от всякой *элементарной функции* есть снова элементарная функция.

Если производная  $f'(x)$ , в свою очередь, имеет производную, то ее называют *второй производной* функции  $Y = f(x)$  и обозначают  $Y''$ ,  $f''(x)$ ,  $d^2Y/dx^2$ ,  $d^2f/dx^2$  или  $D^2f(x)$ .

Для прямолинейно движущейся точки вторая производная характеризует ее *ускорение*.

Аналогично определяются и производные более высокого (целого) порядка. Производная порядка  $n$  обозначается  $Y^n$ ,  $f^n(x)$ ,  $d^nY/dx^n$ ,  $d^n f/dx^n$  или  $D^n f(x)$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 15.011-96. Государственный стандарт РФ. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения [Электронный ресурс]: // СПС «Консультант+». – М., © 1997–2019.

2. Гражданский кодекс РФ (часть четвертая)" от 18.12.2006 N 230-ФЗ (ред. от 18.07.2019) // СПС «Консультант+». – М., © 1997–2019.

3. Рузавин Г. И. Методология научного познания: учебное пособие для вузов / Рузавин Г. И. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 287 с.: 60х90 1/16. – ISBN 978-5-238-00920-9. – Режим доступа:

<http://znanium.com/catalog/product/881053>

4. Рыжков, И. Б. Основы научных исследований и изобретательства: учеб. пособие / И. Б. Рыжков. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 224 с. – ISBN 978-5-8114-4207-2. – Текст: электронный // ЭБС «Лань»: [сайт]. URL: <https://e.lanbook.com/book/116011>.

5. Севриков В.В. Методология и организация научных исследований: учеб. пособие / В.В. Севриков. – Минск: Мисанта, 2011. – 371 с. ISBN 978-985-441-979-4. – ISBN 978-985-6719-97-6

6. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков. Практикум: Учебное пособие / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рощупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с. – (Серия – Вузовский учебник).

7. Харченко А.О. Патентоведение и изобретательство. Практикум: Учебн. пособие / А.О. Харченко, А.Г. Карлов, А.А. Харченко, К.Н. Осипов. – М.: Центркаталог, 2018. – 112 с. – (Серия - Вузовский учебник).

8. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие для студентов вузов/ А.О. Харченко. – К.: ИД «Профессионал», 2004. – 304 с.

9. Харченко А.О. Металлообрабатывающие станки и оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие / А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 260 с.

# **МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Часть 1

*Методические указания  
к проведению практических занятий*

*Составители:* **Харченко** Александр Олегович, **Братан** Сергей Михайлович,  
**Владецкая** Екатерина Александровна

В авторской редакции

Изд. № 277/2020. Объем 2,75 п.л.  
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»