

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

Кафедра тепловых двигателей и энергетических установок

**Журавлев Сергей Александрович**

**«Компьютерные технологии в науке и производстве»**

Конспект лекций  
по дисциплине «Компьютерные технологии в науке и производстве»  
для студентов ВлГУ,  
обучающихся по направлению 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

**Владимир - 2015 г.**

Лекционные занятия являются формой группового, теоретического обучения на основе заранее подготовленного материала, охватывающего основные темы изучаемого курса. Во время проведения занятий студенты получают информацию о ключевых понятиях, лежащих в основе изучаемого материала. Благодаря непосредственному взаимодействию с преподавателем во время занятий у студентов есть возможность углубленного изучения тем и вопросов, понимание которых вызывает определенные затруднения. Информация о научных и практических работах, посвященных теме лекции, дает дополнительную возможность углубленного самостоятельного изучения излагаемого материала.

### Темы лекций

№ лекции	Тема лекции	Вопросы лекции
1	Введение.	1. Основные понятия информационных технологий: технология, процесс, информация, виды обеспечений, 2. Этапы научной и инженерной работы, производственного процесса и инструменты компьютерных технологий.
2	Компьютерные сети	1. Основные понятия: клиент, сервер, типы серверов, ресурсы. 2. Классификация компьютерных сетей 3. Сеть Интернет 4. Основные системы и понятия сети Internet 5. IP-адресация в сети Интернет
3	Поиск информации в компьютерных сетях	1. Интернет браузеры 2. Поисковые системы 3. Рекомендации по поиску информации в Интернет 4. Использование результатов информационного поиска
4	Выполнение расчетов и математическое моделирование	1. Программы для выполнения вычислений. 2. Программы для численных расчетов. 3. Программы для математического и имитационного моделирования.
5	Проведение экспериментальных исследований, обработка экспериментальных данных	1. Автоматизация измерений. 2. Программы сбора и обработки данных. 3. Планирование эксперимента и анализа экспериментальных данных.

## **Тема 1. Введение.**

При изучении данной темы рекомендуется пользоваться пособиями [1, 7, 8].

### **Понятие компьютерной технологии**

Технология (от греческих "techne" - мастерство, искусство и "logos" - понятие, учение) определяется как совокупность знаний о способах и средствах осуществления процессов, при которых происходит качественное изменение объекта.

В ином понимании технология - это совокупность процессов, приемов обработки или переработки материалов, применяемых в каком-либо деле, мастерстве, искусстве, а также научное описание способов производства, совокупность знаний о способах и средствах осуществления процессов, при которых происходит качественное изменение объекта.

Методология любой технологии включает в себя: декомпозицию производственного процесса на отдельные взаимосвязанные и подчиненные составляющие (стадии, этапы, фазы, операции); реализацию определенной последовательности выполнения операций, фаз, этапов и стадий производственного процесса в соответствии с целью технологии; технологическую документацию, формализующую выполнение всех составляющих процесса.

Под процессом следует понимать определенную совокупность действий, направленных на достижение поставленной цели. Процесс должен определяться выбранной человеком стратегией и реализовываться с помощью совокупности различных средств и методов.

Термин информация (от латинского "informatio" - разъяснение, изложение) первоначально обозначает сведения, передаваемые от одного человека к другому устно, письменно или посредством каких-либо условных сигналов или с использованием каких-либо технических средств.

С середины XX века понятие информации стало общенаучным. Этим понятием стали обозначать любые сведения, передаваемые: от человека к человеку, от человека к автоматическому устройству, от одного автоматического устройства к другому, от одной клетки живого вещества к другой, от одного организма к другому, от одной организации к другой и т. п.

Существует также иная трактовка понятия: информация - это сведения о состоянии каких-либо объектов, их предыстории и программах их дальнейшего существования, хранимые в их памяти, или видоизменяемые ими для достижения заданных или задаваемых целей, или передаваемыми другим объектам.

## **Составляющие информационных технологий**

Информационная технология это понятие более общее, чем компьютерная технология, является наиболее важной составляющей процесса использования информационных ресурсов общества. К настоящему времени она прошла несколько эволюционных этапов, смена которых определялась главным образом развитием научно-технического прогресса, появлением новых технических средств переработки информации. В современном обществе основным техническим средством технологии переработки информации служит персональный компьютер, который существенно повлиял как на концепцию построения и использования технологических процессов, так и на качество результирующей информации. Внедрение персонального компьютера в информационную сферу и применение телекоммуникационных средств связи определили новый этап развития информационной технологии и, как следствие, изменение ее названия за счет присоединения одного из синонимов: "новая", "компьютерная" или "современная".

Новая информационная технология — информационная технология с "дружественным" интерфейсом работы пользователя, использующая персональные компьютеры и телекоммуникационные средства. Прилагательное "компьютерная" подчеркивает, что основным техническим средством ее реализации является компьютер.

Основные принципы новой (компьютерной) информационной технологии:

- интерактивный (диалоговый) режим работы с компьютером;
- интегрированность (стыковка, взаимосвязь) с другими программными продуктами;
- гибкость процесса изменения как данных, так и постановок задач.

### **Виды обеспечений**

Информационная технология базируется и зависит от технического, программного, информационного, методического и организационного обеспечения.

Техническое (аппаратное) обеспечение - это персональный компьютер, оргтехника, линии связи, оборудование сетей. Вид информационной технологии, зависящий от технической оснащенности (ручной, автоматизированный, удаленный) влияет на сбор, обработку и передачу информации. Развитие вычислительной техники не стоит на месте. Становясь более мощными, персональные компьютеры одновременно становятся менее дорогими и, следовательно, доступными для широкого круга пользователей. Компьютеры оснащаются встроенными коммуникационными возможностями, скоростными модемами, большими объемами памяти, сканерами, устройствами распознавания голоса и рукописного текста.

Программное обеспечение, находящееся в прямой зависимости от технического и информационного обеспечения, реализует функции накопления, обработки, анализа, хранения, интерфейса с компьютером.

Информационное обеспечение - совокупность данных, представленных в определенной форме для компьютерной обработки.

Организационное и методическое обеспечение представляют собой комплекс мероприятий, направленных на функционирование компьютера и программного обеспечения для получения искомого результата – методика и организация работы, т.е. определенный порядок действий.

### **Этапы работы (научной и инженерной) и инструменты компьютерных технологий.**

<b>1. Этапы научной работы.</b>	<b>Инструменты компьютерных технологий</b>
1.1. Поиск информации по заданной теме.	- Интернет обозреватели – Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Safari, Opera  - Интернет-поисковики – Google, Яндекс, Рамблер
1.2. Математическое моделирование.	- MS Excel, Open Office Calc - Matlab
1.3. Выполнение расчетов.	- MS Excel, Open Office Calc - Mathcad - Расчетные программы - ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, SolidWorks Simulation и т.д.
1.4. Проведение экспериментальных исследований.	- Аппаратные средства сбора данных: - платы АЦП / ЦАП – ОБЕН, National Instruments; - датчики. - Программы сбора и обработки данных, автоматизации эксперимента: - Lab View. - Системы сбора данных: - ОБЕН, National Instruments. - Планирование эксперимента: - STATISTICA
1.5. Обработка и анализ экспериментальных данных.	- MS Excel, Open Office Calc - STATISTICA
1.6. Выполнение схем, графиков	- MS Excel, Open Office Calc

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MS Visio, CorelDRAW, Open Office Draw;</li> <li>- КОМПАС;</li> <li>- AutoCAD;</li> <li>- SolidWorks;</li> <li>- ProEngineer;</li> <li>и т.д.</li> </ul>
1.7. Составление отчетов и презентаций.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MS Word, Open Office Writer;</li> <li>- Open Office Math (редактор формул)</li> <li>- MS PowerPoint, Open Office Impress;</li> <li>- Mathcad (подготовка интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением)</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>1. Этапы работы, или задачи, решаемые инженером-конструктором.</b></p> <p><b>инженер</b> – связующее звено между наукой и производством</p>	
2.1. Поиск информации.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Интернет обозреватели – Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Safari, Opera</li> <li>- Интернет-поисковики – Google, Яндекс, Рамблер</li> </ul>
2.2. Выполнение расчетов.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MS Excel, Open Office Calc</li> <li>- Mathcad</li> <li>- Расчетные программы - ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, SolidWorks Simulation и т.д.</li> </ul>
2.3. Разработка конструкторской документации.	<p>CAD системы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MS Visio, CorelDRAW, Open Office Draw</li> <li>- КОМПАС;</li> <li>- AutoCAD;</li> <li>- SolidWorks;</li> <li>- SolidEdge;</li> <li>- ProEngineer;</li> <li>- Unigraphics</li> <li>и т.д.</li> </ul>
2.4. Проведение экспериментальных исследований.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Аппаратные средства сбора данных: <ul style="list-style-type: none"> <li>- платы АЦП / ЦАП – ОБЕН, National Instruments;</li> <li>- датчики.</li> </ul> </li> <li>- Программы сбора и обработки данных: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lab View.</li> </ul> </li> <li>- Системы сбора данных: <ul style="list-style-type: none"> <li>- ОБЕН, National Instruments.</li> </ul> </li> <li>- Планирование эксперимента: <ul style="list-style-type: none"> <li>- STATISTICA</li> </ul> </li> </ul>

2.5. Обработка и анализ экспериментальных данных.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MS Excel, Open Office Calc</li> <li>- STATISTICA</li> </ul>
2.6. Составление отчетов и презентаций.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MS Word, Open Office Writer;</li> <li>- Open Office Math (редактор формул)</li> <li>- MS PowerPoint, Open Office Impress;</li> <li>- Mathcad (подготовка интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением)</li> </ul>
<b>3. Производство.</b>	
3.1. Обработка материалов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Токарные, фрезерные и т.д. станки с ЧПУ, обрабатывающие центры.</li> <li>2. Лазерная и плазменная резка листовых материалов.</li> <li>3. Технология быстрого прототипирования – 3D принтеры.</li> <li>4. 3D сканеры.</li> </ol>
3.2. Сборочные операции	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Автоматические линии изготовления и сборки изделий.</li> </ol>
3.3. Испытания	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Аппаратные средства сбора данных: <ul style="list-style-type: none"> <li>- платы АЦП / ЦАП – ОВЕН, National Instruments;</li> <li>- датчики.</li> </ul> </li> <li>- Программы сбора и обработки данных: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lab View.</li> </ul> </li> <li>- Системы сбора данных: <ul style="list-style-type: none"> <li>- ОВЕН, National Instruments.</li> </ul> </li> </ul>

<p>3.4. Управление производственным процессом</p>	<p>- <b>MES</b> (от англ. <i>manufacturing execution system</i>, система управления производственными процессами) — специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства. MES-системы относятся к классу систем управления уровня цеха, но могут использоваться и для интегрированного управления производством на предприятии в целом.</p> <p>- <b>PDM-система</b> (англ. <i>Product Data Management</i> — система управления данными об изделии) — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. PDM-системы являются неотъемлемой частью PLM-систем.</p> <p>- <b>PLM-система</b> (англ. <i>product lifecycle management</i>) — прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- WindChill (от PTC, разработчик ProEngineer);</li> <li>- от Siemens;</li> <li>- ЛОЦМАН:PLM (от компании АСКОНА, разработчик КОМПАСа);</li> </ul>
---	---

## Тема 2. Компьютерные сети.

При изучении данной темы рекомендуется пользоваться пособиями [1, 7, 8].

### Основные понятия.

**Компьютерная сеть** (вычислительная сеть, сеть передачи данных) — система связи компьютеров или вычислительного оборудования (серверы, маршрутизаторы и другое оборудование). Для передачи данных могут быть использованы различные физические явления, как правило — различные виды электрических сигналов, световых сигналов или электромагнитного излучения.

**Компьютерная сеть** — это совместное подключение нескольких отдельных компьютеров к единому каналу передачи данных. Основное назначение вычислительной сети состоит в совместном использовании ресурсов и осуществление быстрой связи как внутри организации, так и за ее пределами.

## **Основные понятия, которые используются в вычислительных сетях.**

**Клиент** – компьютер, подключенный к вычислительной сети.

**Сервер (server)** – компьютер, предоставляющий свои ресурсы клиентам сети.

Различают следующие виды серверов:

**файловый сервер** предназначен для хранения и предоставления файлов, с которыми работают пользователи;

**сервер баз данных** обеспечивает доступ клиентам к общим базам данных;

**сервер приложений** служит для предоставления пользователям прикладных программ;

**сервер печати** обеспечивает печать на общем печатном устройстве со всех рабочих мест;

**Web-сервер** обеспечивает предоставление информации через сеть Internet;

**почтовый сервер** обеспечивает циркуляцию электронной почты, как внутри организации, так и во внешней сети.

**Ресурсы** – диски, файлы, принтеры, модемы и другие элементы, используемые при работе в сети.

## **Классификация компьютерных сетей**

**По территориальной распространенности сети делятся на:**

**Локальные вычислительные сети** ЛВС (LAN, Local Area Network) — локальные вычислительные сети, имеющие замкнутую инфраструктуру до выхода на поставщиков услуг. Абоненты ЛВС сосредоточены на расстоянии 10 - 15 км. Такие сети объединяют компьютеры, размещенные внутри одного здания или в нескольких рядом расположенных зданиях. Локальные сети являются сетями закрытого типа, доступ к ним разрешён только ограниченному кругу пользователей, для которых работа в такой сети непосредственно связана с их профессиональной деятельностью.

**Региональные сети**, абоненты которых сосредоточены на расстоянии 10 - 100 км. К таким сетям относятся районные, городские и областные сети.

**Глобальные сети** WAN (Wide Area Network), сосредоточенные на расстоянии 1000 и более километров. К таким сетям относятся сети, объединяющие города, области, районы, страны. Глобальные сети являются открытыми и ориентированы на обслуживание любых пользователей. Наиболее известные среди них - Internet, Fido, Sprint, Relcom.

### **По архитектуре сети делятся на:**

- Клиент-сервер
- Одноранговая сеть (децентрализованная или пиринговая сеть)

### **По типу среды передачи сети делятся на:**

- проводные (телефонный провод, коаксиальный кабель, волоконно-оптический кабель);
- беспроводные (передачей информации по радиоволнам в определенном частотном диапазоне).

## **Глобальная сеть Интернет**

Внешне Интернет похож на телефонную или телеграфную сеть. Однако способ соединения несколько иной.

При звонке по телефону, получается жесткое физическое соединение двух именованных точек (например, А и Б) в пространстве. Его главное неудобство – ваш телефон привязан к розетке. Если вы возьмете свой аппарат и включите в розетку на другом проводе, к вам никто не сможет дозвониться, т.к. другая розетка – это уже не точка А (а С, например).

Отличие сети Интернет состоит в том, что сообщение кодируется компьютером в серию электрических сигналов и помечается специальными **кодами получателя и отправителя**, в итоге формируется как бы электронное письмо (**пакет**) с прямым и обратным адресом. С компьютера письмо поступает на сервер, сервер сверяет адрес получателя со специальной адресной таблицей и, определив ближайший к нему сервер по пути в нужную сторону, посылает письмо туда. Эта процедура повторяется до тех пор, пока пакет не достигнет адресата. Компьютеры получателя и отправителя физически могут находиться где угодно. В сети Интернет они определяются IP-адресами.

Поэтому Интернет не соединяет абонентов сплошным электрическим проводом, он кодирует сообщения в пакеты и передает их от станции к станции. Такой способ соединения называется **логическим**. Он конечно медленнее, чем физический способ соединения при передаче телефонного сигнала, но все равно пакет доходит в другую точку мира за доли секунды.

У логического способа связи есть неоспоримые преимущества. Например, маршрут письма может пройти по любым соединениям, которые оказались свободны. Например, если на какой-то линии произошла неполадка или сильная загрузка сети, то два абонента живущие на одном континенте могут общаться через другой, не подозревая об этом.

В настоящее время в сети Internet используются практически все известные линии связи от низкоскоростных телефонных линий до высокоскоростных цифровых спутниковых и оптоволоконных каналов. Операционные системы, используемые в сети Internet, также отличаются разнообразием. Большинство компьютеров сети Internet работают под ОС семейства Unix.

Главное свойство Internet состоит в том, что если в сеть подключается новый абонент, то ему становится доступна информация всей сети. И, наоборот, всем остальным абонентам Internet становится доступна информация и ресурсы его компьютера.

Особенность сети Internet заключается в том, что фактически Internet, как глобальная мировая компьютерная сеть, не имеет своего владельца, т.е. она ни кому не принадлежит. Хотя отдельные вычислительные сети, которые подключены к Internet, имеют своих конкретных владельцев.

Internet основывается на идее существования множества независимых сетей произвольной архитектуры. Это возможно благодаря применению, так называемого, **принципа открытости сетевой архитектуры**. Он заключается в том, что Internet не предъявляет каких-либо специфических требований к подключаемым компьютерным сетям. Потребитель сам определяет вид собственной сети и метод ее технической реализации. Т.е. он может выбрать любую конфигурацию сети и любое программное обеспечение. Благодаря этому, практически все сети, которые функционируют в мире, можно свободно подключать к Internet.

### **Основные системы и понятия сети Internet**

Всемирная сеть Internet состоит из нескольких систем, которые могут функционировать как вместе, так и независимо друг от друга. Рассмотрим подробно эти системы.

**World Wide Web** (WWW - дословно переводится как всемирная паутина) - это глобальная гипертекстовая система документов, связанных электронными ссылками.

WWW позволяет перемещаться между различными документами, используя гиперссылки, причем географическое расположение компьютеров, на которых хранится информация, не имеет значения.

**Гиперссылка** - это электронная ссылка в документе, связывающая его с другим документом.

Для просмотра гипертекстовых документов используются специальные программы – браузеры. **Браузер** - это интеллектуальная программа, которая сама определяет вид

просматриваемого гипертекста. Поэтому в зависимости от различных условий один и тот же гипертекстовый документ в браузере может выглядеть по-разному.

**Электронная почта** (E-mail) - система электронных сообщений между компьютерами.

При работе с электронной почтой у каждого абонента должен быть свой уникальный почтовый адрес, например, `master@primer.ru`. Запись почтового адреса состоит из следующих элементов:

*master* - имя абонента;

@ - определитель почтового адреса в Internet;

*primer.ru* - имя сервера, на котором располагается "почтовый ящик" пользователя.

**FTP** (File Transfer Protocol - протокол передачи файлов) – система, позволяющая копировать на компьютер файлы с любого другого компьютера, подключенного к Internet. FTP-серверы представляют собой как бы каталоги, содержащие тысячи файлов с разнообразной информацией, включая программы, звуковые файлы, рисунки, видеоизображения и т.д.

**TCP/IP** (Transmission Control Protocol/Internet Protocol - протокол управления передачей/Межсетевой протокол) - обеспечивает доставку по адресу, так называемых, сетевых пакетов.

Смысл сетевого пакета состоит в том, что любое сообщение, передаваемое по сети Internet, делится на пакеты, т.е. на несколько отдельных сообщений. Затем эти пакеты передаются по сети нужному адресату. Причем каждый пакет может передаваться по своему собственному пути, не совпадающему с путями других пакетов. В конечном пункте назначения эти пакеты собираются в исходное сообщение. Если какой-то пакет потерялся по дороге, то происходит повторная передача этого пакета, а не целиком всего сообщения.

Описанное действие называется пакетной коммутацией в сети. Благодаря использованию пакетной коммутации достигается высокая надежность функционирования сети Internet. Так как если на какой-то информационной магистрали произойдет сбой или ее выход из строя, то отправленные пакеты все равно достигнут своей цели. Они просто обойдут неисправные участки сети по другому пути.

**HTTP** (HyperText Transport Protocol) – протокол передачи гипертекста. Определяет способ передачи гипертекстовых страниц во всемирной паутине от сервера к программе просмотра браузера.

**IP Address** – адрес, которым идентифицируется компьютер в сети Internet. Обычно записывается как четыре числа, разделенных точками, например, 199.88.254.137. Это

число может постоянно числиться за компьютером, или автоматически присваиваться каждый раз, при подключении к Internet. Например, серверы крупных организаций имеют постоянный адрес в Internet. Если же компьютер подключается к Internet с помощью телефонной линии и модема, то ему, как правило, каждый раз при подключении присваивается новый адрес.

**DNS** (Domain Name System) – это система доменных имен, которая представляет собой распределенную по Internet совокупность таблиц, отображающих числовые IP-адреса компьютеров в понятном для пользователя виде. Другими словами, DNS преобразует числовой адрес компьютера в текстовую форму (или просто имя). Например, адрес вида 199.88.254.137 в системе доменных имен может отображаться как infl.info

В Internet существуют специальные программы - **серверы имен** (name servers), которые содержат в форме таблиц числовые IP-адреса компьютеров, символьные адреса и дополнительную информацию. Когда пользователь указывает текстовый адрес интересующего компьютера, то эта информация поступает на сервер имен. Сервер преобразует имя компьютера в числовой IP-адрес. А затем уже происходит поиск компьютера в сети по его IP-адресу.

**URL** (Uniform Resource Location - единый указатель ресурсов) - обеспечивает единообразное описание размещения ресурсов в Internet.

Общий вид адреса ресурса в сети выглядит следующим образом:

**протокол://сервер/путь/имя\_файла**

**HTML** (HyperText Mark-Up Language - язык разметки гипертекста) - это форматированный язык, который описывает, как будет выглядеть страница с гипертекстом, при ее просмотре в браузере. HTML-документ представляет собой текст, для которого указаны специальные коды - **теги**. Эти коды определяют, как должен выглядеть документ в окне браузера. Когда браузер открывает HTML-документ (т.е. документ в виде гипертекста), он "читает" теги. И в зависимости от тегов браузер представляет документ именно так, как он выглядит на экране.

## **IP-адресация в сети Интернет**

Чтобы компьютеры, подключенные к сети Интернет, могли связываться друг с другом и отправлять друг другу пакеты, они должны иметь уникальные адреса. В Интернете используется так называемая IP-адресация, при которой каждому узлу в сети назначается свой уникальный IP-адрес. Узлом сети является не обязательно компьютер, им может быть и какое-либо сетевое устройство.

IP-адреса бывают 4-й и, более новой, 6-й версии. Сейчас в основном используется 4-я версия, однако сеть Интернет постепенно переводится на 6-ю версию IP-адресации. В 4-й версии IP-адрес каждого компьютера представляет собой 32-битовое число. Это 4 байта. Значение каждого байта выражают в десятичной системе счисления числом от 0 до 255. Значения байтов отделяют друг от друга точкой. Таким образом, получается адрес вроде такого: 192.168.180.34.

В этом адресе закодированы номер сети, которой принадлежит компьютер, и номер самого компьютера. Начальные биты 32-битового числа отводятся на номер сети, а последние — на номер компьютера. Количество битов для номеров сети и компьютера может быть различным. Для определения того, сколько битов отводится на сеть, используется так называемая маска.

Маска, также как и IP-адрес, представляет собой 32-битовое число. Его первые биты устанавливаются в единицы, а последние в нули. Количество битов, установленных в 1, определяют, сколько битов в IP-адресе отводится на номер сети.

Маска вида 255.255.255.0 говорит о том, что в IP-адресе первые 24 бита (3 байта) установлены в 1. Первые 3 байта IP-адреса обозначают номер сети, а последний 1 байт кодирует номер компьютера в ней. Если данная маска используется, например, к адресу 192.168.180.34, то в нем 192.168.180 — указывает на номер сети, а 34 — на номер компьютера.

Наименьший и наибольший IP-адреса сети не используются для обозначения конкретных узлов. Наименьший используется для обозначения адреса всей сети (для примера выше это будет 192.168.180.0), а наибольший — для передачи пакетов всем компьютерам сети, а не одному узлу (например, 192.168.180.255). Такая передача пакетов называется широковещательной рассылкой.

Существуют специальные IP-адреса, которые не используются в глобальной сети Интернет, а используются для локальных сетей.

Адресация по 4-й версии накладывает ограничения на возможное количество подключаемых компьютеров и сетей. Эти проблемы решает 6-я версия IP-адресации. Количество битов в адресе 6-й версии уже 128, то есть в 4 раза больше, чем в 4-й. В 128 битах 16 байтов. Адрес составляют по 2 байта, записанных в шестнадцатеричной системе счисления. Всего таких чисел получается 8. Друг от друга числа отделяют двоеточиями.

Основная проблема при переходе с 4-й на 6-ю версию IP-адресации связана с оборудованием. Большинство ранее выпущенных устройств не поддерживает IPv6 (6-ю версию).

IP-адреса бывают статическими и динамическими. В первом случае IP-адрес назначается узлу сети и не может быть присвоен другому узлу. Динамический адрес назначается при подключении компьютера к сети, при следующем подключении адрес может быть уже другим.

**Тема 3.** Поиск информации в компьютерных сетях.

При изучении данной темы рекомендуется пользоваться пособиями [1, 7, 8].

### **Интернет браузеры**

**Веб-обозревателъ, обозревателъ, браўзер** или **браўзэр** (от англ. Web browser, МФА; устар. брoўзер) — прикладное программное обеспечение для просмотра веб-страниц; содержания веб-документов, компьютерных файлов и их каталогов; управления веб-приложениями; а также для решения других задач. В глобальной сети браузеры используют для запроса, обработки, манипулирования и отображения содержания веб-сайтов. Многие современные браузеры также могут использоваться для обмена файлами с серверами ftp, а также для непосредственного просмотра содержания файлов многих графических форматов (gif, jpeg, png, svg), аудио-видео форматов (mp3, mpeg), текстовых форматов (pdf, djvu) и других файлов.

Функциональные возможности браузеров постоянно расширяются и улучшаются благодаря конкуренции между их разработчиками и высоким темпом развития и внедрения информационных технологий. Несмотря на то, что браузеры разных изготовителей базируются на разных технологических решениях, большинство современных браузеров придерживается международных стандартов и рекомендаций W3C в области обработки и отображения данных. Стандартизация позволяет добиться предсказуемости в визуальном представлении информации конечному пользователю независимо от технологии, которая использована для ее отображения в браузере. Со времени начала применения браузеров во Всемирной паутине в начале 1990-х годов, из простого средства просмотра текстовой информации браузер превратился в комплексное прикладное программное обеспечение для обработки данных и обеспечения интерфейса между информационными ресурсами и человеком. В последние годы многие разработчики браузеров сосредоточили свои усилия на повышении удобства пользовательского интерфейса браузеров для их использования в аппаратных устройствах, в которых применяются сенсорные экраны.

#### Самые популярные браузеры:

1. Internet Explorer;
2. Mozilla Firefox;

3. Google Chrome;
4. Safari;
5. Opera.

Браузеры распространяются, как правило, бесплатно. Потребителям браузер может быть поставлен в форме самостоятельного (автономного) приложения или в составе комплектного программного обеспечения. Например, браузер Internet Explorer поставляется в составе операционной системы Microsoft Windows); Mozilla Firefox — отдельно или в составе дистрибутивов Linux; Safari — в составе операционной системы Mac OS X и в качестве самостоятельного приложения для Microsoft Windows; Google Chrome, Opera и другие браузеры — как самостоятельные программы во множестве вариантов для различных операционных сред.

### **Поисковые системы**

Браузер обеспечивает работу пользователя с интернетом. Для поиска информации в сети используются поисковые системы.

**Поисковая система** (англ. search engine) — это компьютерная система, предназначенная для поиска информации.

Поисковая система — программно-аппаратный комплекс с веб-интерфейсом, предоставляющий возможность поиска информации в интернете.

Большинство поисковых систем ищут информацию на сайтах Всемирной паутины, но существуют также системы, способные искать файлы на FTP-серверах, товары в интернет-магазинах, а также информацию в группах новостей Usenet.

Для поиска информации с помощью поисковой системы пользователь формулирует поисковый запрос. По запросу пользователя поисковая система генерирует страницу результатов поиска. Такая поисковая выдача может сочетать различные типы файлов, например: веб-страницы, изображения, аудиофайлы. Некоторые поисковые системы также извлекают данные из баз данных и каталогов ресурсов в Интернете.

В архитектуру поисковой системы включены: поисковый робот, сканирующий сайты сети Интернет, индексатор, обеспечивающий быстрый поиск, и поисковик — графический интерфейс для работы пользователя.

По состоянию на 2014 год самой популярной поисковой системой в мире является Google, однако есть страны, где пользователи отдали предпочтение другим поисковикам. Так, например, в России Яндекс обгоняет Google больше, чем на 10 %.

Цель поисковой системы заключается в том, чтобы находить документы, содержащие либо ключевые слова, либо слова как-либо связанные с ключевыми словами.

Поисковая система тем лучше, чем больше документов, релевантных запросу пользователя, она будет возвращать. Результаты поиска могут становиться хуже из-за особенностей алгоритмов (например, «Пузырь фильтров») и вследствие человеческого фактора.

### **Персональные результаты и «Пузыри фильтров».**

Многие поисковые системы, такие как Google и Bing, используют алгоритмы выборочного угадывания того, какую информацию пользователь хотел бы увидеть, основываясь на его прошлых действиях в системе. В результате, веб-сайты показывают только ту информацию, которая согласуется с прошлыми интересами пользователя. Этот эффект получил название «пузырь фильтров». Всё это ведёт к тому, что пользователи получают намного меньше противоречащей своей точке зрения информации и становятся интеллектуально изолированными в своём собственном «информационном пузыре».

**Основные составляющие поисковой системы:** поисковый робот, индексатор, поисковик. Обычно системы работают поэтапно - сначала поисковый робот получает контент, затем индексатор генерирует доступный для поиска индекс, и наконец, поисковик обеспечивает функциональность для поиска индексируемых данных. Чтобы обновить поисковую систему, этот цикл индексации выполняется повторно.

Поисковые системы работают, храня информацию о многих веб-страницах, которые они получают из HTML страниц. Поисковый робот или «краулер» — программа, которая автоматически проходит по всем ссылкам, найденным на странице, и выделяет их. Краулер, основываясь на ссылках или исходя из заранее заданного списка адресов, осуществляет поиск новых документов, ещё не известных поисковой системе. Владелец сайта может исключить определённые страницы при помощи robots.txt, используя который можно запретить индексацию файлов, страниц или каталогов сайта, т.е. поиск на странице сайта.

Поисковая система анализирует содержание каждой страницы для дальнейшего индексирования. Слова могут быть извлечены из заголовков, текста страницы или специальных полей — метатегов. Индексатор — это модуль, который анализирует страницу, предварительно разбив её на части, применяя собственные лексические и морфологические алгоритмы. Все элементы веб-страницы вычлняются и анализируются отдельно. Данные о веб-страницах хранятся в индексной базе данных для использования в последующих запросах. Индекс позволяет быстро находить информацию по запросу пользователя. Ряд поисковых систем, подобных Google, хранят исходную страницу целиком или её часть, так называемый кэш, а также различную информацию о веб-странице. Другие системы, подобные системе AltaVista, хранят каждое слово каждой

найденной страницы. Использование кэша помогает ускорить извлечение информации с уже посещённых страниц.

Поисковик работает с выходными файлами, полученными от индексатора. Поисковик принимает пользовательские запросы, обрабатывает их при помощи индекса и возвращает результаты поиска.

Когда пользователь вводит запрос в поисковую систему (обычно при помощи ключевых слов), система проверяет свой индекс и выдаёт список наиболее подходящих веб-страниц (отсортированный по какому-либо критерию), обычно с краткой аннотацией, содержащей заголовок документа и иногда части текста. Поисковый индекс строится по специальной методике на основе информации, извлечённой из веб-страниц.

### **Настройка поиска**

С 2007 года поисковик Google позволяет искать с учётом времени создания искомых документов (вызов меню «Инструменты поиска» и указание временного диапазона). Большинство поисковых систем поддерживает использование в запросах булевых операторов И, ИЛИ, НЕ, что позволяет уточнить или расширить список искомых ключевых слов. При этом система будет искать слова или фразы точно так, как было введено. В некоторых поисковых системах есть возможность приближённого поиска, в этом случае пользователи расширяют область поиска, указывая расстояние до ключевых слов. Есть также концептуальный поиск, при котором используется статистический анализ употребления искомых слов и фраз в текстах веб-страниц. Эти системы позволяют составлять запросы на естественном языке. Примером такой поисковой системы является сайт ask.com.

При настройке поиска есть возможность выбирать типы искомых файлов – текстовые документы различных форматов, изображение, видео и т.д.

Также можно установить различное количество отображаемых результатов поиска на странице – 10, 50, 100.

**Полезность поисковой системы** зависит от релевантности найденных ею страниц. Хотя миллионы веб-страниц и могут включать некое слово или фразу, но одни из них могут быть более релевантны, популярны или авторитетны, чем другие. Большинство поисковых систем использует методы ранжирования, чтобы вывести в начало списка «лучшие» результаты. Поисковые системы решают, какие страницы более релевантны, и в каком порядке должны быть показаны результаты, по-разному.

**По методам поиска и обслуживания разделяют четыре типа поисковых систем:**

- системы, использующие поисковых роботов. Состоят из трёх частей: краулер («бот», «робот» или «паук»), индекс и программное обеспечение поисковой системы. Краулер нужен для обхода сети и создания списков веб-страниц. Индекс — большой архив копий веб-страниц. Цель программного обеспечения — оценивать результаты поиска. Благодаря тому, что поисковый робот в этом механизме постоянно исследует сеть, информация в большей степени актуальна. Большинство современных поисковых систем являются системами данного типа.

- системы, управляемые человеком (каталоги ресурсов). Эти поисковые системы получают списки веб-страниц. Каталог содержит адрес, заголовок и краткое описание сайта. Каталог ресурсов ищет результаты только из описаний страницы, представленных ему веб-мастерами. Достоинство каталогов в том, что все ресурсы проверяются вручную, следовательно, и качество контента будет лучше по сравнению с результатами, полученными системой первого типа автоматически. Но есть и недостаток — обновление данных каталогов выполняется вручную и может существенно отставать от реального положения дел. Ранжирование страниц не может мгновенно меняться. В качестве примеров таких систем можно привести каталог Yahoo[en], dmoz и Galaxy.

- гибридные системы. Такие поисковые системы, как Yahoo, Google, MSN, сочетают в себе функции систем, использующие поисковых роботов, и систем, управляемых человеком.

- мета-системы. Метапоисковые системы объединяют и ранжируют результаты сразу нескольких поисковиков. Эти поисковые системы были полезны, когда у каждой поисковой системы был уникальный индекс, и поисковые системы были менее «умными». Поскольку сейчас поиск намного улучшился, потребность в них уменьшилась.

### **Рекомендации по поиску информации в Интернет**

В результате информационного поиска по заданной теме должны быть найдены ответы на следующие вопросы:

- история появления и развитие объекта исследования вплоть до настоящего времени;
- кто разработчики и исследователи, какие фирмы (компании);
- классификация объекта исследования по различным признакам;
- современный уровень развития объекта исследования, технология изготовления, применяемые материалы;
- имеющиеся недостатки в объекте исследования.

Основными источниками научной и технической информации являются – статьи в научных журналах (печатные, интернет издания), книги, диссертации, авторефераты, патенты, публикации на страницах специализированных организаций, стандарты (ГОСТы, ТУ и т.д.). Не стоит пользоваться непроверенной информацией, представленной на форумах и сайтах, за достоверность которой никто не несет ответственности.

При поиске информации в печатных изданиях (статьи, журналы, книги, авторефераты и т.д.), переведенных в электронный вид, целесообразно настроить поиск так, чтобы в результатах присутствовали текстовые файлы форматов *doc.* и *pdf.*, что существенно сократит время на просмотр результатов поиска и выбора полезной информации.

Целесообразно выполнять поиск научной информации на иностранном языке - английский, немецком, поскольку зарубежные научные исследования отличаются новизной, актуальностью и применением современных методов и средств исследования.

Помимо поиска в сети интернет, целесообразно выполнять поиск на конкретных профильных сайтах, к которым можно отнести:

1. Интернет энциклопедии (Он-лайн энциклопедии):

- Open Encyclopedia Project;
- Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия;
- Википедия;
- Энциклопедия «Кругосвет»;
- Рубрикон;
- Пензенская энциклопедия.

Самая популярная среди них - Свободная энциклопедия «Википедия». «Википедия» на русском языке — часть многоязычного проекта, целью которого является создание полной энциклопедии на всех языках. Википедия не имеет ни центрального редакционного совета, ни главного редактора. Она пишется, поддерживается и почти полностью управляется добровольцами. В связи с этим, к размещенной в ней информацией нужно относиться с осторожностью. Всего в Википедии 1 202 086 статей и 4 208 364 страницы. Для сравнения, 3-е издание Большой Советской Энциклопедии издание содержит всего 95 279 статей. Обычно, на английском языке статьи содержат больше информации, чем на русском. Также, для поиска информации большую ценность представляет список ссылок, приведенный в конце каждой статьи.

2. Электронные библиотеки и сайты обычных библиотек.

- <http://elibrary.ru/> - eLIBRARY.RU - крупнейшая в России электронная библиотека научных публикаций, обладающая богатыми возможностями поиска и получения

информации. Подписчикам eLIBRARY.RU доступны полнотекстовые версии около 4000 иностранных и 3900 отечественных научных журналов, рефераты публикаций почти 20 тысяч журналов, а также описания полутора миллионов зарубежных и российских диссертаций.

- <http://ellib.gpntb.ru/> - научная электронная библиотека ГПНТБ России (Государственная публичная научно-техническая библиотека России). Зарегистрировавшись на сайте Научной электронной библиотеки ГПНТБ России, вы получаете доступ к полному содержанию номеров журнала «Научные и технические библиотеки». Одновременно Вы регистрируетесь и на сервере системы защищенного просмотра документов DefView, используя которую, Вы сможете в дальнейшем работать в режиме удаленного доступа с электронными документами из тематических коллекций ГПНТБ России.

- <http://www.twirpx.com/> - Twirpx – электронная библиотека, пополняемая пользователями сайта, на этом ресурсе большое количество технической и художественной литературы, в основном это сканированные копии книг.

Существуют и другие электронные библиотеки, которые можно найти в поисковике, например, по запросу: «технические и научные электронные библиотеки».

### 3. Специализированные сайты.

- <http://www.sae.org/> - Официальный сайт «Сообщества автомобильных инженеров» (англ. Society of Automotive Engineers, SAE) — источник технической информации и опыта, используемого в разработке, производстве, обслуживании и управлении транспортных средств для использования на земле или море, в воздухе или космосе. На сайте можно найти большое количество научных зарубежных статей и книг с аннотациями, сами статьи и книги – платные.

- <http://www.findpatent.ru/> - на сайте доступны для свободного просмотра патенты и изобретения, зарегистрированных в РФ и СССР с 1928 года.

- сайты организаций, занимающихся научно-исследовательской деятельностью, а также университетов.

## **Использование результатов информационного поиска**

Информационный поиск является важнейшей частью научного исследования, поскольку позволяет изучить современный уровень развития науки и достигнутые на данный момент результаты по данному направлению. Весь объем информации, полученный в результате поиска, требует глубокого анализа с тем, чтобы выявить

перспективные направления дальнейшей работы, а также не пойти заведомо тупиковым путем и тем самым сэкономить время, ресурсы и силы.

Результаты информационного поиска составляют первую главу научной работы, а также имеют отражение в списке литературы, который дается в конце работы и позволяет судить о качестве выполнения работы в целом и глубины проработки отдельных вопросов.

В научной и инженерной работе результаты информационного поиска могут быть оформлены в виде презентации для доклада результатов работы аудитории, в виде научно-технического отчета, а также отчета о патентных исследованиях в соответствии с ГОСТ Р 15.011 – 96.

**Тема 4.** Выполнение расчетов и математическое моделирование.

При изучении данной темы рекомендуется пользоваться пособиями [2, 3, 4, 5, 8, 10].

#### **Программы для выполнения расчетов**

- Табличные процессора - MS Excel, Open Office Calc
- Системы компьютерной алгебры – Mathcad, Mathematica, Maxima (свободная система компьютерной алгебры)

Табличные процессоры (MS Excel, Open Office Calc). Электронными таблицами (табличными процессорами) называются пакеты прикладных программ, предназначенные для проведения расчетов на компьютере в табличной форме.

Документом (т.е. объектом обработки) Excel является файл с произвольным именем и расширением .XLS. В терминах Excel такой файл называется рабочей книгой (Workbook). В каждом файле XLS может размещаться от 1 до 255 электронных таблиц, каждая из которых называется рабочим листом (Sheet).

При использовании электронной таблицы экран компьютера представляется большой таблицей, состоящей из ячеек, организованных прямоугольной координатной сеткой. Колонки обозначены буквами (A...Z, AA...AZ, и т.п.), а ряды - числами (1...65536).

Адрес ячейки определяется ее местоположением в таблице. Ячейка задается своими координатами, в которых на первом месте стоит буква, обозначающая колонку, а на втором - число, обозначающее ряд. Например, A1 - ячейка в левом верхнем углу, D5 - ячейка на пересечении 4-го столбца и 5-й строки.

Ячейка, в которую в данный момент вводятся данные, называется активной. Она маркируется табличным курсором (выделяется цветом). В каждый момент времени активной может быть только одна ячейка, она всегда выводится на индикацию.

Современные табличные процессоры обеспечивают:

- ввод, хранение и корректировку большого количества данных;
- автоматическое проведение вычислений при изменении исходных данных;
- дружественный интерфейс (средства диалога человека и компьютера);
- наглядность и естественную форму документов, представляемых пользователю на экране;
- эффективную систему документирования информации;
- графическую интерпретацию данных в виде диаграмм;
- элементы для рисования;
- вывод на печать профессионально оформленных отчетов;
- вставку отчетной информации, подготовленной с помощью электронных таблиц, в другие документы.

Все эти возможности позволяют пользователю успешно решать задачи, требующие обработки больших массивов информации, не владея при этом специальными знаниями в области программирования.

Возможность использования формул и функций является одним из важнейших свойств программы обработки электронных таблиц. Вычисления задаются формулами. Текст формулы, которая вводится в ячейку таблицы, должен начинаться со знака равенства =, чтобы программа Excel могла отличить формулу от текста. После знака равенства в ячейку записывается математическое выражение, содержащее аргументы, арифметические операции и функции. В качестве аргументов в формуле обычно используются числа и адреса ячеек.

Последовательность выполнения действий в арифметических выражениях. При вычислении значения арифметического выражения операции выполняются слева направо с соблюдением трех уровней приоритета: сначала выполняется возведение в степень, затем умножение и деление, затем сложение и вычитание. Последовательность выполнения операций можно изменить с помощью круглых скобок. При наличии скобок сначала вычисляются значения выражений, записанных внутри скобок низшего уровня (в самых внутренних скобках), и т. д.

Формула может содержать ссылки на ячейки, которые расположены на другом рабочем листе или даже в таблице другого файла. Однажды введенная формула может быть в любое время модифицирована. Встроенный Мастер функций помогает пользователю найти ошибку или неправильную ссылку в большой таблице. Кроме этого программа Excel позволяет работать со сложными формулами, содержащими несколько операций. Для наглядности можно включить текстовый режим, тогда программа Excel будет выводить в ячейку не результат вычисления формулы, а собственно формулу.

Мастер функций. Поскольку некоторые формулы и их комбинации встречаются очень часто, то программа Excel предлагает более 400 заранее запрограммированных формул, которые называются функциями. Все функции разделены по категориям, чтобы в них было проще ориентироваться. Встроенный Мастер функций помогает на всех этапах работы правильно применять функции. Он позволяет построить и вычислить большинство функций за два шага. В программе имеется упорядоченный по алфавиту полный список всех функций, в котором можно легко найти функцию, если известно ее имя; в противном случае следует производить поиск по категориям.

Многие функции различаются очень незначительно, поэтому при поиске по категориям полезно воспользоваться краткими описаниями функций, которые предлагает Мастер функций.

Функция оперирует некоторыми данными, которые называются ее аргументами. Аргумент функции может занимать одну ячейку или размещаться в целой группе ячеек. Мастер функций оказывает помощь в задании любых типов аргументов. Выделите ту ячейку, в которой должен появиться результат вычислений. Затем щелчком по пиктограмме Мастер функций (fx). В Мастере функций существуют следующие категории функций – **финансовые, дата и время, математические, статистические, ссылки и массивы, работа с базой данных, текстовые, логические, проверка свойств и значений.**

Для учебной, научной и инженерной работы табличные процессоры могут успешно использоваться:

- как средства обработки экспериментальных данных;
- для преобразования большого массива данных по формулам;
- приближенного интегрирования и дифференцирования функций, представленных в табличном виде;
- при вычислениях длинных выражений Excel удобнее калькулятора, тем, что легко править ошибки во введенной формуле или изменять часть формулы;
- в Excel удобно решать уравнения с одним неизвестным при помощи функции "подбора параметра": указывается ячейка (результат вычисления выражения), указывается какое значение она должна принять, указывается ячейка (с переменной) значение которой нужно подобрать и программа сама подберет такое значение переменной, чтобы результат выражения стал равен заданному значению.
- несложно решать системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ);
- можно решать задачи оптимизации (линейного, целочисленного программирования).

Численное дифференцирование в Excel. Приближенными методами производная функции в заданной точке может быть вычислена с использованием конечных разностей, выражение имеет вид:

$$F'(x) = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{F(x_{k+1}) - F(x_k)}{x_{k+1} - x_k} \quad (1)$$

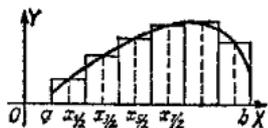
Функция вводится в табличном виде в Excel. Значения X – с один столбец (например, в столбец A), а значения Y в другой (столбец B), тогда для вычисления производной в столбец C записывается выражение (1), где F(x) с индексом k – значение в ячейке B1, а с индексом k+1 в следующей ячейке, т.е. B2. Аналогично значение x – с индексом k – в ячейке A1, а с индексом k+1 – в A2.

Численное интегрирование в Excel. Для численного интегрирования функции одной переменной применяют методы:

- прямоугольников – функция заменяется набором прямоугольников

Метод прямоугольников:

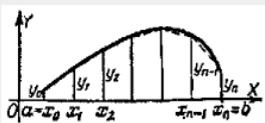
$$\int_a^b f(x) dx \approx h \sum_{i=1}^n f(x_i), \quad h = \frac{b-a}{n}, \quad x_0 = a - \frac{h}{2}, \quad x_i = x_{i-1} + h, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$



- трапеций – функция заменяется набором трапеций

Метод трапеций:

$$\int_a^b f(x) dx \approx h \left( \frac{f(a) + f(b)}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) \right), \quad h = \frac{b-a}{n}, \quad x_0 = a, \quad x_i = x_{i-1} + h, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$



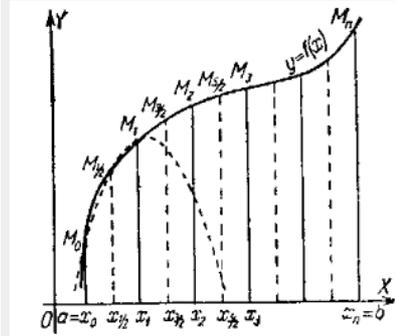
- Симпсона – функция заменяется набором парабол.

Метод Симпсона:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \left( f(a) + f(b) + 4 \sum_{i=1}^n f(x_{2i-1}) + 2 \sum_{i=1}^n f(x_{2i}) \right),$$

где:

$$h = \frac{b-a}{2n}, \quad x_0 = a, \quad x_i = x_{i-1} + h, \quad i = 1, 2, \dots, 2n.$$



Все эти методы заключаются выполняются по следующим образом:

1. Интервал (отрезок) интегрирования разбивается на  $n$  равных более мелких отрезков.
2. На каждом отрезке (из  $n$ ) исходная функция (её график) заменяется соответственно:
  - горизонтальной прямой (метод прямоугольников)
  - наклонной прямой (метод трапеций)
  - параболой (метод Симпсона)
3. Вычисляется площадь полученной фигуры, которая приблизительно равна площади под графиком функции, т.е. искомому интегралу.

Также, в табличном процессоре удобно создавать расчетный формуляр, например, расчет вала редуктора на прочность при изгибе и кручении. В одних ячейках задаются исходные данные, а в других, записываются расчетные формулы. При изменении исходных данных достаточно изменить значения в соответствующих ячейках, и результат расчета изменится автоматически.

**Системы компьютерной алгебры** - Mathcad, Mathematica, Maxima. Программа Maxima является свободной, остальные коммерческие.

Mathcad – программа, относящаяся к системам компьютерной алгебры, ориентирована на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается легкостью использования и удобством применения для коллективной работы.

Mathcad содержит сотни операторов и встроенных функций для решения различных технических задач. Программа позволяет выполнять численные и символьные

вычисления, производить операции со скалярными величинами, векторами и матрицами, автоматически переводить одни единицы измерения в другие.

Среди возможностей Mathcad можно выделить:

- Решение дифференциальных уравнений, в том числе и численными методами
- Построение двумерных и трёхмерных графиков функций (в разных системах координат, контурные, векторные и т. д.)
- Использование греческого алфавита как в уравнениях, так и в тексте
- Выполнение вычислений в символьном режиме
- Выполнение операций с векторами и матрицами
- Символьное решение систем уравнений
- Аппроксимация кривых
- Выполнение подпрограмм
- Поиск корней многочленов и функций
- Проведение статистических расчётов и работа с распределением вероятностей
- Поиск собственных чисел и векторов
- Вычисления с единицами измерения
- Интеграция с САПР-системами, использование результатов вычислений в качестве управляющих параметров

С помощью Mathcad инженеры могут документировать все вычисления в процессе их проведения.

### **Программы для численного моделирования**

Программы:

- ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, SolidWorks Simulation, FlowVision, FlowWorks, Fluent и т.д.
- OpenFOAM

Численное моделирование в науке и производстве используется для выполнения различных расчетов. Основные расчеты, выполняемые в энергомашиностроении:

1. Расчеты на прочность.
2. Расчеты течения жидкости и газа.
3. Расчеты теплопередачи в твердых телах, жидкостях и газах.
4. Многодисциплинарные задачи – сочетание в одной задаче нескольких типов расчетов, например, течение жидкости или газа с теплопередачей и т.д.

Все эти расчеты выполняются с помощью специализированных компьютерных программ, имеющих общее название САПР (средства автоматизации проектирования). САПР делятся на следующие виды:

**CAD системы** – (computer-aided design) – программы для проектирования, т.е. создания деталей, сборок, оформления КД (конструкторской документации). Сейчас подавляющее большинство CAD систем – 3-х мерные.

**CAE системы** – (computer-aided engineering) – программы для расчетов в основном численными методами и в основном методом МКЭ.

**CAM системы** - (computer-aided machining) – приложения для автоматической генерации управляющего кода для станков с ЧПУ (для выполнения механообработки деталей). За основу берется 3-х мерная геометрия, подготовленная в какой-либо CAD системе. Часто CAM система является частью CAD системы.

Программы для численного моделирования относятся к CAE системам.

Расчеты на прочность практически во всех программах выполняются с помощью метода конечных элементов. Программы для расчета течения жидкостей и газов основаны на методе конечных объемов. Отличие состоит в способе описания движения рассчитываемой среды (жидкости, газа или твердого тела):

- метод конечных объемов основан на методе Лагранжа;
- метод конечных объемов основан на методе Эйлера.

В методе Лагранжа описывается движение отдельно взятых точек среды, при этом, расчетная сетка движется и деформируется вместе с телом. В методе Эйлера задаются скорости движения частиц в каждой точке пространства, при этом расчетная сетка неподвижна, и не связана с телом (средой), а тело (среда) движется сквозь сетку и определяются скорости движения в ячейках сетки.

CAE программы можно условно разделить по областям применения – для инженерных расчетов и для исследовательских задач.

- для инженерных расчетов используют такие программы как *Pro/Mechanica* (модуль программы *Pro/Engineer*), *Solid Works Simulation* (модуль программы *Solid Works*) и *ANSYS Workbench* (поддерживает связь с программой *Pro/Engineer*, т.е. позволяет автоматически переводить геометрию модели в модуль расчета). Для задач газовой динамики используются программы – *FlowWorks* (модуль программы *Solid Works*), *EFD.Pro* (модуль программы *Pro/Engineer*). С их помощью можно выполнять несложные расчеты на прочность и решать задачи газовой динамики.

Преимущества	Недостатки
--------------	------------

<p>1. Встроены в программы 3-х мерного моделирования, что позволяет быстро готовить расчетную модель. Также благодаря этому в некоторых из них есть возможность выполнять автоматическую оптимизацию детали, например, задавая размеры детали, которые можно изменять в установленных пределах, программа подберет такие их значения, чтобы обеспечить минимальную массу детали, но так чтобы максимальные напряжения не превышали заданной величины.</p> <p>2. Имеют интуитивно понятный интерфейс.</p>	<p>1. Ограничен набор типов конечных элементов.</p> <p>2. Ограничен набор моделей поведения материала – для задач прочности, и моделей течения – в задачах газовой динамики.</p> <p>3. Нет возможности решать многодисциплинарные задачи, например, одновременно прочность и движение жидкости.</p>
--	---

Несмотря на ограниченность возможностей перечисленных программ, их тем не менее достаточно для задач, которые встают перед инженером-конструктором – расчет на прочность валов, корпусных деталей различной сложности, кронштейнов крепления, расчет гидравлического сопротивления элементов трубопровода, расчет характеристик насосов и вентиляторов, и т.д. Такие программы хорошо подойдут для выполнения расчетов в исследовательских разделах дипломных и магистерских работ.

- для более серьезных исследовательских задач прочности - ANSYS, ABAQUS, MSC NASTRAN, *OpenFOAM* и т.д. Позволяют выполнять расчеты на прочность повышенной сложности. Для задач газовой динамики используются программы – *FlowVision*, *Fluent*, и т.д.

Преимущества	Недостатки
<p>1. Имеют большое количество типов конечных элементов (КЭ)</p> <p>2. Имеют большое количество моделей поведения материалов (с упрочнением, с разрушением и т.д.) и моделей течения (многофазные течения, горение и т.д.)</p> <p>3. Позволяют решать многодисциплинарные задачи.</p> <p>4. Позволяют решать сложные задачи с</p>	<p>1. Подготовка модели для расчета занимает много времени.</p> <p>2. Не всегда понятный интерфейс, сложный для освоения.</p>

динамическим нагружением и большими деформациями (удар).	
--	--

Деление расчетных программ на эти категории **достаточно условно**, т.к. в настоящее время, программы для инженерных расчетов (приложения к различным CAD системам) все более увеличивают свой функционал, например, в *ANSYS Workbench* есть возможность рассчитывать сложные динамические задачи с большими деформациями материала, например, падение на жесткое основание сварной рамы, в результате можно увидеть весь процесс деформирования.

### **Программы для математического и имитационного моделирования**

Программы:

- Matlab, Matlab Simulink
- Scilab (читается Сайлэб)

По Ляпунову, математическое моделирование — это опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель), находящаяся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом, способная замещать его в определенных отношениях и дающая при её исследовании, в конечном счете, информацию о самом моделируемом объекте.

Модели различаются по способу представления объекта: **структурные** и **функциональные**.

**Структурные модели** представляют объект как систему со своим устройством и механизмом функционирования. **Функциональные модели** не используют таких представлений, и отражают только внешне воспринимаемое поведение (функционирование) объекта – входы, выходы, а что скрыто внутри неизвестно, поэтому их называют также моделями «чёрного ящика». Возможны также комбинированные типы моделей (сочетают в себе структурные и функциональные элементы), которые иногда называют моделями «серого ящика».

**Имитационное моделирование (ситуационное моделирование)** — метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику.

Имитационное моделирование — это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).

Имитационное моделирование — это частный случай математического моделирования. Существует класс объектов, для которых по различным причинам не разработаны аналитические модели, либо не разработаны методы решения полученной модели. В этом случае аналитическая модель заменяется имитатором или имитационной моделью.

Имитационным моделированием иногда называют получение частных численных решений сформулированной задачи на основе аналитических решений или с помощью численных методов.

Имитационная модель — логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта.

Математические модели делятся на модели с **сосредоточенными параметрами**, модели с **распределенными параметрами**.

#### **Математические модели с сосредоточенными параметрами.**

Обычно с помощью таких моделей описывают динамику систем, состоящих из дискретных элементов. С математической стороны - это системы обыкновенных линейных или нелинейных дифференциальных уравнений.

Математические модели с сосредоточенными параметрами широко применяются для описания систем, состоящих из дискретных объектов или совокупностей идентичных объектов. Например, модель радиатора системы охлаждения двигателя, описываемая уравнением зависимости средней температуры охлаждающей жидкости в нем в зависимости от расхода ОЖ, скорости воздуха перед радиатором, и температуры ОЖ и воздуха на входе в радиатор – является моделью с сосредоточенными параметрами, т.к. в ней не учитывается реальное распределение температуры ОЖ в объеме радиатора. В таких моделях, все параметры задаются средней величиной (средняя температура ОЖ в радиаторе, средняя температура воздуха на входе в радиатор, средний коэффициент теплоотдачи в радиаторе, средняя скорость воздуха перед радиатором и т.д.).

#### **Математические модели с распределенными параметрами.**

Моделями этого типа описываются процессы диффузии, теплопроводности, распространения волн различной природы и т. п. Эти процессы могут быть не только

физической природы. Математические модели с распределенными параметрами широко распространены в биологии, физиологии и других науках. Чаще всего в качестве основы математической модели применяют уравнения математической физики, в том числе и нелинейные.

Например, модель радиатора системы охлаждения двигателя, где учитывается **неравномерное распределение** величин в пространстве – является **моделью с распределенными параметрами**. Такая модель может быть реализована при расчете теплоотдачи в радиаторе в программах численного расчета течения жидкости и газа.

**MATLAB** (сокращение от англ. «*Matrix Laboratory*»), в русском языке произносится как **Матлаб**) — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноименный язык программирования, используемый в этом пакете. **MATLAB** используют более 1 000 000 инженерных и научных работников. В отличие от MS Excel, где есть возможность выполнения арифметических операций, в Matlab можно достаточно просто решать дифференциальные уравнения численными методами с помощью встроенных решателей.

Когда создана математическая модель какого-либо динамического процесса (для исследования этого процесса во времени), т.е. составлена система дифференциальных уравнений, встает вопрос – как их решить и найти, таким образом, функции времени интересующих нас величин. Решить систему этих уравнений можно попытаться аналитически, но зачастую если это и возможно, то слишком сложно. Аналитические решения обычно существуют для некоторых ограниченных и упрощенных случаев данной задачи. Альтернативой является численное решение с использованием компьютерных программ, например Matlab Simulink.

Особенностью этой системы, отличающую ее от других подобных ей (Maple, MathCAD, Mathematica), является то, что в ней все операции выполняются над векторами (матрицами) или наборами векторов этим обеспечивается высокая скорость и точность вычислений.

Работа в программе основана на языке программирования Matlab. Язык **MATLAB** является высокоуровневым интерпретируемым языком программирования, включающим основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

Программы, написанные на **MATLAB**, бывают двух типов — функции и скрипты. Функции имеют входные и выходные аргументы, а также собственное рабочее пространство для хранения промежуточных результатов вычислений и переменных.

Скрипты же используют общее рабочее пространство. Как скрипты, так и функции не компилируются в машинный код и сохраняются в виде текстовых файлов.

MATLAB предоставляет пользователю большое количество (несколько сотен) функций для анализа данных, покрывающие практически все области математики, в частности:

- Матрицы и линейная алгебра — алгебра матриц, линейные уравнения, собственные значения и вектора, сингулярности, факторизация матриц и другие.

- Многочлены и интерполяция — корни многочленов, операции над многочленами и их дифференцирование, интерполяция и экстраполяция кривых и другие.

- Математическая статистика и анализ данных — статистические функции, статистическая регрессия, цифровая фильтрация, быстрое преобразование Фурье и другие.

- Обработка данных — набор специальных функций, включая построение графиков, оптимизацию, поиск нулей, численное интегрирование (в квадратурах) и другие.

- Дифференциальные уравнения — решение дифференциальных и дифференциально-алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений с запаздыванием, уравнений с ограничениями, уравнений в частных производных и другие.

- Разреженные матрицы — специальный класс данных пакета MATLAB, использующийся в специализированных приложениях.

- Целочисленная арифметика — выполнение операций целочисленной арифметики в среде MATLAB.

Для MATLAB имеется возможность создавать специальные наборы инструментов (англ. *toolbox*), расширяющие его функциональность. Наборы инструментов представляют собой коллекции функций, написанных на языке MATLAB для решения определённого класса задач. Компания Mathworks поставляет наборы инструментов, которые используются во многих областях, например, цифровая обработка сигналов, изображений и данных; системы управления; сбор и анализ экспериментальных данных; визуализация и представление данных; научные и математические пакеты; нейронные сети; нечеткая логика и т.д.

MATLAB имеет блочную структуру (каждый блок создавался под конкретные задачи). Среди них есть комплект инструментов, который предназначен для математического моделирования процессов в динамических системах. Ядром его является система математического моделирования Simulink, а также инструментальные средства оценки качества моделирования Simulink Performance Tools. Simulink имеет связь с MS Excel (при установке модуля Excel Link), что позволяет запуская макросы в Excel

импортировать в Simulink исходные данные, а затем загружать результат после выполнения расчета.

**Simulink** – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов (элементы или операции, соединенные линиями связи), строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы.

Интерактивная среда Simulink, позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени. Т.е. при работе с программой Simulink не нужно знать язык программирования MATLAB, вся модель строится путем добавления имеющихся в библиотеке функций, связывая их входы и выходы в нужной последовательности. При этом не нужно беспокоиться о том, что где-то неправильно записана какая-то команда, а затем искать все эти ошибки. Каждая команда – это блок, преобразующий входной сигнал в выходной. Стрелки, соединяющие блоки друг с другом символизируют направление передачи сигнала. **Здесь под сигналом понимается значение величины в зависимости от времени.**

Комбинируя блоки из библиотеки Simulink можно строить всевозможные имитационные модели различных процессов. Подробность описания какого-то устройства или явления зависит от назначения модели и может быть различной. Например, модель ДВС в Simulink может быть:

- очень подробной, описывающей процессы впуска, сжатия, сгорания и расширения, где входными параметрами будут положение дросселя и крутящий момент нагрузки, а выходным – частота вращения вала двигателя;

- упрощенной, когда внутренние процессы, происходящие в двигателе не моделируются, а зависимость частоты вращения от положения дросселя и крутящего момента нагрузки задается в виде таблицы, полученной на основании эксперимента на моторном стенде.

Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду MATLAB, что позволяет использовать встроенные математические алгоритмы, мощные средства обработки данных и научную графику.

Ключевые особенности Simulink:

- Интерактивная графическая среда для построения блок-диаграмм

- Расширяемая библиотека готовых блоков
- Удобные средства построение многоуровневых иерархических многокомпонентных моделей
- Средства интеграции готовых C/C++, FORTRAN, ADA и MATLAB-алгоритмов в модель, взаимодействие с внешними программами для моделирования
- Взаимодействие с MS Excel – можно загружать исходные данные из MS Excel и загружать в него результаты расчета
- Современные средства решения дифференциальных уравнений для непрерывных, дискретных, линейных и нелинейных объектов (в т.ч. с гистерезисом и разрывами)
- Имитационное моделирование нестационарных систем с помощью решателей с переменным и постоянным шагом или методом управляемого из MATLAB пакетного моделирования
- Удобная интерактивная визуализация выходных сигналов, средства настройки и задания входных воздействий
- Средства отладки и анализа моделей
- Полная интеграция с MATLAB, включая численные методы, визуализацию, анализ данных и графические интерфейсы

Simulink может быть использован, например, для отработки алгоритма управления ДВС. Средствами Simulink создается модель ДВС и алгоритм управления. Два эти блока работают совместно, при этом анализируются различные режимы работы программы управления, и устраняются найденные ошибки. Такой способ отладки сокращенно называется *SIL (software-in-the-loop)*, что переводится дословно «программа в контуре», поскольку программа управления работает с программой, моделирующей объект управления и происходит обмен данными).

Важное место в процессе создания технической системы занимает полунатурное, или макетное моделирование с элементами реальной аппаратуры. Например, готовый контроллер двигателя подключается к ПК с моделью ДВС в Simulink по схеме *hardware-in-the-loop* («аппаратура в контуре», т.е. аппаратная часть или контроллер, работает в контуре с программой, моделирующей объект управления, происходит обмен данными между ЭБУ и моделью ДВС) или сокращенно HIL. Блок управления работает совместно с моделью ДВС. Базовым средством для такого моделирования является система *Real-Time Workshop*, а также генератор кодов *Real-Time Workshop Embedded Coder* на языке C. С использованием инструмента *Real-Time Workshop* моделирование совместной работы ЭБУ и модели двигателя может происходить в режиме реального времени. К этому комплекту

также можно отнести пакет программ моделирования измерительных устройств *Instrument Control Toolbox*, набор блоков для моделирования пультов управления и приборных досок *Dial & Gauges Blockset*. С использованием этих инструментов можно создать программу для сбора данных на стенде, а также управления исполнительными устройствами и сигналами (положение дроссельной заслонки и т.д.). Аналогично функциям программы LabView.

Таким образом, в качестве направлений применения пакета MatlabSimulink для специалистов в области двигателестроения, можно выделить:

1. Реализацию математических моделей для расчета двигателя в виде **моделей с сосредоточенными параметрами**:

- расчет цикла – бензиновый, дизель, цикл Стирлинга, Аткинсона и т.д.
- циклы двигателей с изменяемыми фазами;
- динамический расчет двигателя;
- расчет безударного профиля кулачка;
- моделировать различные системы двигателя, и двигатель в целом;
- моделировать работу двигателя с различными потребителями – генератор, автомобильная трансмиссия, гибридная силовая установка;

Основное преимущество использования MatlabSimulink для этой цели – это открытый код программы, что позволяет легко дополнять модель новыми элементами вплоть до построения полной модели ДВС.

Исходные данные и зависимости могут быть получены в ходе натурных экспериментов на лабораторных стендах или в ходе численного 3D и 2D моделирования.

2. Создание программы управления двигателем, которая «зашивается» в контроллер, а также разработка и отладка блока управления.

С целью создания алгоритмов управления и блоков, MatlabSimulink широко применяется ведущими зарубежными (Ricardo) и отечественными (ЭЛКАР) компаниями. Программа управления двигателем в современном контроллере имеет тысячи строк кода, поэтому выполнить работу по программированию без применения специальных программ за приемлемый срок невозможно. На базе программы MatlabSimulink компания ЭЛКАР разработала систему создания кода для контроллера высокого качества, т.е. не требующего дополнительной переработки программистом.

Основное преимущество использования MatlabSimulink для этой цели - **вся работа, вплоть до программирования блока управления, выполняет непосредственно специалист по двигателям**, что существенно сокращает время на разработку и снижает количество ошибок.

**Необходимые элементы моделирования**, которые нужно выполнить после построения модели – это **калибровка и верификация** модели.

**Калибровка** – это настройка имитационной модели под конкретный объект, например, модель ДВС – структура модели и описываемые закономерности одинаковые для всех двигателей одного типа (бензиновые, дизели), но все двигатели имеют разную номинальную мощность, частоту вращения, ВСХ и т.д. Данные для калибровки, могут быть получены либо расчетным путем (исходя из геометрических размеров элементов, физических свойств материалов), либо путем проведения натуральных экспериментов.

**Верификация** – это проверка адекватности имитационной модели, т.е. соответствие модели своему объекту. Верификация проводится путем сравнения результатов моделирования с натурным экспериментом, или в некоторых случаях с результатами численного расчета. Модель адекватна реальному процессу, если некоторые характеристики процесса, полученные на компьютере, совпадают с экспериментальными с заданной степенью точности.

В общем, по сравнению с натурным экспериментом, **математическое моделирование имеет следующие преимущества:**

- экономичность (сбережение ресурсов реальной системы);
- возможность моделирования гипотетических, т.е. не реализованных в природе объектов;
- возможность реализации режимов, опасных или трудновоспроизводимых в природе (критический режим ядерного реактора, работа системы противоракетной обороны);
  - возможность изменения масштаба времени;
  - легкость многоаспектного анализа;
  - большая прогностическая сила вследствие возможности выявления общих закономерностей;
- высокая повторяемость результатов из-за отсутствия случайных и систематических погрешностей, что бывает труднодостижимо при натуральных экспериментах.

«Идеология» моделирования в Simulink.

Порядок работы в Simulink следующий:

- в начале составляется математическая модель исследуемого процесса в общем виде;
- определяются исходные данные (константы, начальные условия) – способы задания исходных данных – создание константы в рабочей области (в памяти), М-файл, mat-файл;
- составление математической модели в Simulink;
- решение уравнений динамики для исследуемого процесса осуществляется численным методом, при этом выбирается решатель, шаг по времени, время моделирования и т.д.;
- сохранение и просмотр результатов – результатом здесь является изменение величины интересующего параметра (температуры, давление, мощность, момент, КПД и т.д. все что угодно) от времени в течение моделирования.

Все блоки обработки сигналов доступны в библиотеке.

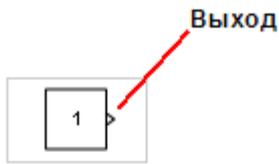
На рис. 1.2 выделена библиотека системы SIMULINK (в левой части окна) и показаны ее разделы (в правой части окна). Библиотека системы SIMULINK содержит следующие разделы:

- Continuous – блоки аналоговых элементов;
- Discontinuous – блоки нелинейных элементов;
- Discrete – блоки дискретных элементов;
- Look-Up Tables – блоки таблиц;
- Math Operations – блоки элементов, определяющих математические операции;
- Model Verification – блоки проверки свойств сигналов;
- Model-Wide Utilities – раздел дополнительных утилит;
- Ports&Subsystems – порты и подсистемы;
- Signal Attributes – блоки задания свойств сигналов;
- Signal Routing – блоки маршрутизации сигналов;
- Sinks – блоки приема и отображения сигналов;
- Sources – блоки источников сигнала;
- User-Defined Function – функции, определяемые пользователем.

Все существующие в Simulink блоки можно разделить на 3 основные типа:

1. Источники (*Source*) – задают значение величины от времени, имеют только выход. С этих блоков начинается любая модель, они генерируют начальный сигнал, который затем преобразуется в последующих блоках модели.

Пример:



- константа, на выходе в любой момент времени заданная величина;



- время, на выходе величина, равная текущему моменту времени хода решения.

2. Стоки (*Sink*) – которые являются окончанием модели, их назначение – зафиксировать результат моделирования и представить его в виде графика, числа, записать в файл и т.д., имеют только вход.

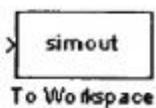
Пример:



- блок «дисплей» отображает значение величины в процессе расчета, после окончания расчета остается последнее вычисленное значение.



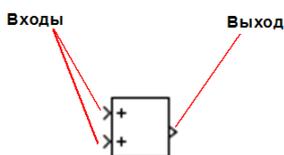
- блок «индикатор», по окончании расчета отображает зависимость величины на его входе от времени.



- блок записи данных, поступающих на его вход, в рабочую область MATLAB. Рабочая область – это выделенный объем памяти, где хранятся значения переменных, и результаты расчета.

3. Функции (блоки), преобразующие входной сигнал в выходной, имеют вход и выход.

Пример:



- блок сложения двух величин.

При создании новой модели в Simulink создается новый файл с расширением .mdl и открывается окно с полем для построения модели. Модель строится перетаскиванием из библиотеки в окно модели блоков и соединением их линиями связи.

Двойным нажатием на блоке в окне модели, открывается окно с настройками блока, которые можно изменять.

После того как из блоков создана модель, необходимо настроить параметры моделирования в панели Simulation/Parameters. Здесь задается:

- временной интервал моделирования - начальное и конечное время;
- выбираются параметры решателя – фиксированный или переменный шаг, метод решения и т.д.
- обмен данными с рабочей областью MATLAB.

Когда параметры настроены, запускается процесс решения кнопкой Start.

MATLAB и Simulink – это коммерческие программы.

Scilab (читается Сайлэб) — пакет прикладных математических программ, предоставляющий открытое окружение для инженерных (технических) и научных расчётов. Это самая полная общедоступная (бесплатная) альтернатива MATLAB.

## Примеры

### 1. Численное интегрирование

1.1 Задача: «Расход воды (л/мин) в трубе изменяется по некоторому закону в зависимости от времени. Требуется найти, сколько воды (л) вытекло из трубы за определенное время – с момента времени 0 с до момента времени 20 с»

$$V = \int Q dt$$

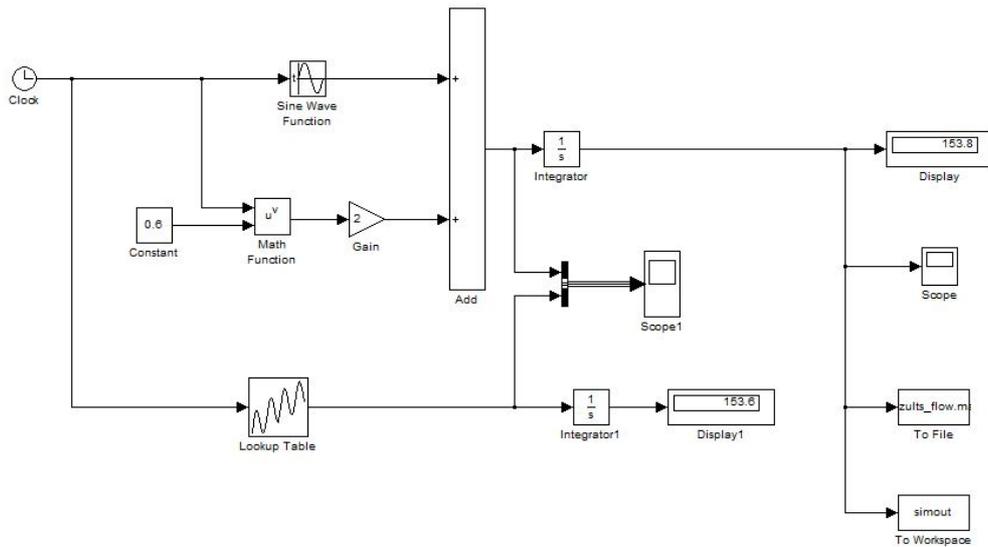
$\int$  – интеграл

$t$  – время, с

$$Q(t) = 5 \cdot \sin t + 2 \cdot t^{0,6}$$

Построить модель в Simulink для решения этой задачи.

Показать, как задаются исходные данные (функция) - в виде формулы, в табличном виде, генератор сигналов произвольной формы.



**Тема 5.** Проведение экспериментальных исследований, обработка экспериментальных данных.

При изучении данной темы рекомендуется пользоваться пособиями [5, 6, 9].

### Автоматизация измерений

Экспериментальное исследование какого-либо процесса в энергомашиностроении, обычно сводится к выполнению измерений физических величин с помощью средств измерений.

Измерения бывают **прямые** и **косвенные**.

**Прямые измерения** - это такие измерения, при которых искомое значение физической величины определяются непосредственно путем сравнения с мерой этой величины.

**Косвенное измерение** - измерение, при котором искомое значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Наиболее важные характеристики, по которым следует выбирать измерительный прибор для конкретных целей, следующие:

- диапазон измерения;

- основная погрешность прибора –  $\delta_{\text{п}} = \frac{\Delta A}{A_N} \times 100\%$ , где  $\Delta A$  - абсолютная погрешность прибора,  $A_N$  – верхний предел измерения прибора;

- постоянная времени прибора (всей измерительной аппаратуры) –  $\tau_{0,63}$ .

Современный уровень развития компьютерных технологий дает широкие возможности автоматизации измерений.

**Автоматизация измерений** - автоматическая запись результатов измерений без участия человека. При этом можно исследовать динамические быстропротекающие процессы.

При автоматизации измерений используется первичный преобразователь (первичный прибор) измеряемой величины или датчик, а также вторичный прибор, воспринимающий сигнал с первичного прибора и преобразующий его в сигнал, который может быть отображен визуально на экране, либо записан в память компьютера (в файл) для последующей обработки.

В процессе экспериментальных исследований в энергомашиностроении, возникает необходимость измерения различных физических величин – масса, объем, расстояние (длина, перемещение), время, сила, момент, расход жидкости и газа, температура, давление и т.д.

При автоматизации экспериментов, для измерения различных физических величин могут использоваться следующие датчики:

Физическая величина	Датчик (имеющий электрический сигнал на выходе)
сила	- тензодатчик
давление	- датчик давления для жидкости или газа: <ul style="list-style-type: none"><li>• тензометрический;</li><li>• пьезорезистивный;</li><li>• емкостный;</li></ul>
температура	- датчики температуры: <ul style="list-style-type: none"><li>• термopара;</li><li>• термосопротивление</li></ul>
крутящий момент	- датчик крутящего момента - тензодатчик
расход жидкости или газа	- расходомер жидкости или газа: <ul style="list-style-type: none"><li>• турбинные расходомеры;</li><li>• ультразвуковые расходомеры;</li><li>• калориметрические;</li><li>• термоанемометры;</li></ul>
линейное положение	- датчики линейного перемещения:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• потенциометрические</li> <li>• магнитные;</li> <li>• индуктивные;</li> <li>• магнитострикционные;</li> <li>• оптические.</li> </ul>
угловое положение, частота вращения	- датчик углового положения <ul style="list-style-type: none"> <li>• магнитные;</li> <li>• оптические;</li> <li>• датчик Холла;</li> <li>• индуктивные</li> </ul>
масса	электронные весы на основе тензодатчиков

Поскольку компьютер воспринимает в основном электрические сигналы (оптические линии связи пока не так распространены), то первичные преобразователи (датчики) должны преобразовывать измеряемую величину в электрические сигналы – ток, напряжение, частота, затем эти сигналы поступают во вторичный прибор. В качестве вторичного прибора может использоваться плата АЦП (аналого-цифровой преобразователь).

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, Analog-to-digital converter, ADC) — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал). Обратное преобразование осуществляется при помощи ЦАП (цифро-аналогового преобразователя).

Обычно, плата АЦП/ЦАП подключается к порту компьютера (*PCI, USB, COM*-порт).

**PCI** (Peripheral component interconnect, дословно — взаимосвязь периферийных компонентов) — шина ввода-вывода для подключения периферийных устройств к материнской плате компьютера.

**USB** (*Universal Serial Bus* — «универсальная последовательная шина») — последовательный интерфейс передачи данных для среднескоростных и низкоскоростных периферийных устройств.

**Последовательный порт** (*serial port, COM-порт, communications port*) — сленговое название интерфейса стандарта RS-232.

Сегодня на рынке имеются платы АЦП как отечественного, так и импортного производства. Некоторые производители плат АЦП:

- L-Card (Россия) – платы АЦП/ЦАП;

- ОВЕН (Россия) – модули ввода аналоговых сигналов, подключается к ПК через адаптер интерфейса RS-485/RS-232 или RS-485/USB. Имеет сертификат средства измерения. Имеются различные модули, предназначенные для ввода аналоговых сигналов (термопреобразователи сопротивления, термопары, унифицированные сигналы напряжения и тока 4-20 мА, 0-20 мА, 0-5 мА, +/-50мВ, 0-1 В), а также сигналов с тензодатчиков;

- Иностранные производители - National Instruments; Analog Devices; Computer Boards; Omega Engineering; Microstar Laboratories – платы АЦП/ЦАП.

### **Основные параметры плат АЦП.**

- **Разрядность**

Разрешение АЦП — минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным АЦП — связано с его разрядностью. В случае единичного измерения без учёта шумов разрешение напрямую определяется разрядностью АЦП.

Разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. В двоичных АЦП измеряется в битах, в троичных АЦП измеряется в тритах. Например, двоичный 8-ми разрядный АЦП, способен выдать 256 дискретных значений (0...255), поскольку  $2^8=256$ , троичный 8-ми разрядный АЦП, способен выдать 6561 дискретное значение, поскольку  $3^8=6561$ .

Разрешение по напряжению равно разности напряжений, соответствующих максимальному и минимальному выходному коду, делённой на количество выходных дискретных значений.

#### **Пример 1**

Диапазон входных значений = от 0 до 10 вольт

Разрядность двоичного АЦП 12 бит:  $2^{12} = 4096$  уровней квантования (количество частей на которое разбивается диапазон входных значений напряжения), или по-другому количество отсчетов платы АЦП.

Разрешение двоичного АЦП по напряжению:  $(10-0)/4096 = 0,00244$  вольт = 2,44 мВ

Разрядность троичного АЦП 12 трит:  $3^{12} = 531 441$  уровней квантования

Разрешение троичного АЦП по напряжению:  $(10-0)/531441 = 0,0188$  мВ = 18,8 мкВ

#### **Пример 2**

Диапазон входных значений = от -10 до +10 вольт

Разрядность двоичного АЦП 14 бит:  $2^{14} = 16384$  уровней квантования

Разрешение двоичного АЦП по напряжению:  $(10-(-10))/16384 = 20/16384 = 0,00122$   
вольт = 1,22 мВ

Разрядность троичного АЦП 14 трит:  $3^{14} = 4\,782\,969$  уровней квантования

Разрешение троичного АЦП по напряжению:  $(10-(-10))/4782969 = 0,00418$  мВ = 4,18 мкВ.

- **Частота дискретизации.**

Аналоговый сигнал является непрерывной функцией времени, в АЦП он преобразуется в последовательность цифровых значений. Следовательно, необходимо определить частоту выборки цифровых значений из аналогового сигнала. Частота, с которой производятся цифровые значения, получила название частота дискретизации АЦП.

Непрерывно меняющийся сигнал подвергается оцифровке (то есть значения сигнала измеряются через интервал времени  $T$  — период дискретизации) и исходный сигнал может быть точно восстановлен из дискретных во времени значений путём интерполяции. Точность восстановления ограничена ошибкой квантования. Однако в соответствии с теоремой Котельникова — Шеннона точное восстановление возможно только если частота дискретизации выше, чем удвоенная максимальная частота в спектре сигнала.

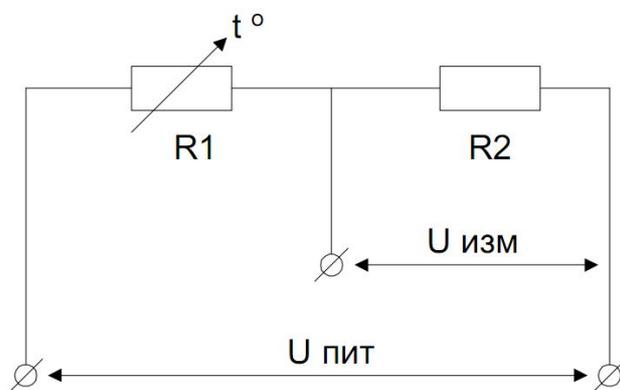
Поскольку реальные АЦП не могут произвести аналого-цифровое преобразование мгновенно, входное аналоговое значение должно удерживаться постоянным по крайней мере от начала до конца процесса преобразования (этот интервал времени называют время преобразования). Эта задача решается путём использования специальной схемы на входе АЦП — устройства выборки-хранения (УВХ). УВХ, как правило, хранит входное напряжение на конденсаторе, который соединён со входом через аналоговый ключ: при замыкании ключа происходит выборка входного сигнала (конденсатор заряжается до входного напряжения), при размыкании — хранение. Многие АЦП, выполненные в виде интегральных микросхем содержат встроенное УВХ.

Рассмотрим для примера, автоматизированное измерение температуры, которое может осуществляться с использованием термопар и термопреобразователей сопротивления в качестве первичного преобразователя. Запись показаний через определенные интервалы времени может осуществляться с помощью ПК, на котором установлена плата АЦП. Универсальные платы ввода-вывода (АЦП/ЦАП) выпускает фирма L-Card.

Рассмотрим автоматизированную систему измерения температуры на базе платы L-Card L-783M. Для большинства плат входным сигналом является напряжение. Диапазон

входного сигнала  $\pm 5\text{В}$ ,  $\pm 2,5\text{В}$ ,  $\pm 1,25\text{В}$ ,  $\pm 0,6\text{В}$  задается при настройке свойств канала измерения. Интервал измерения должен быть выбран достаточно широким, чтобы напряжение с датчика в любой момент времени находилось внутри этого интервала, а с другой стороны, достаточно узким, чтобы максимальное и минимальное измеренное значение напряжения были как можно ближе к его границам для обеспечения максимальной точности. Наиболее просто организовать автоматизированное измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления, т.к. не нужно использовать специальную вторичную аппаратуру как для термопар.

Изменение температуры измеряемой среды преобразуется в изменение сопротивления датчика. Это изменение сопротивления можно преобразовать в изменение напряжения с помощью делителя напряжения, изображенного на рис. 1.



**Рис. 1.** Делитель напряжения для преобразования сигнала датчика в напряжение

$U_{пит}$  – стабилизированное напряжение питания. Целесообразно выбрать  $U_{пит} = 5\text{В}$ , т.к. в этом случае в качестве источника тока можно использовать питание с системного блока ПК.

$U_{изм}$  – измеряемое напряжение, подаваемое на вход платы АЦП.

$R1$  – полупроводниковое термосопротивление.

$R2$  – токоограничивающий резистор. Этот резистор, во-первых, ограничивает величину тока, протекающего через термосопротивления для того чтобы предотвратить его разогрев током, во-вторых, подбором его сопротивления добиваются того, чтобы при измерении температуры измеряемое напряжение  $U_{изм}$  изменялось в пределах, соответствующих выбранной настройке канала измерения.  $U_{изм}$  вычисляется по следующей формуле:

$$U_{изм} = \frac{R2 \cdot U_{пит}}{R1 + R2}, \text{ В} \quad (1)$$

### **Пример:**

В процессе эксперимента необходимо измерять температуру от 0 до 130 °С, сопротивление терморезистора R1 при этом изменяется линейно от 32,56 кОм до 0,2977 кОм, напряжение  $U_{пит}=5В$ ,  $R_2 = 10$  кОм (см. рис. 1). Каждый канал платы АЦП имеет 12 разрядов.

### Требуется:

1. Рассчитать величину измеренного напряжения при 0 °С и при 130 °С.
2. Выбрать интервал настройки канала платы по напряжению для данного диапазона измерений -  $\pm 5В$ ,  $\pm 2,5В$ ,  $\pm 1,25В$ ,  $\pm 0,6В$ .

Поскольку канал платы АЦП имеет 12 разрядов, то весь диапазон измерения по напряжению от  $-XX$  В до  $+XX$  В разбивается на  $2^{12} = 4096$  участков (будем называть их отсчетами платы АЦП и обозначим -  $O_{АЦП}$ ).

3. Рассчитать сколько отсчетов платы АЦП приходится на 1 °С измеренной температуры.

$$O_{АЦП} \text{ (для } 1^\circ\text{C)} = \dots$$

4. Определить погрешность измерения температуры, вносимую платой АЦП, равную половине одного отсчета платы АЦП.

$$\delta = \pm X \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Решение:

1. Величина измеренного платой АЦП напряжения при температуре 0 °С:

$$R_{10} = 32,56 \text{ кОм};$$

$$U_0 = 10 * 5 / (10 + 32,56) = 1,1748 \text{ В};$$

При температуре 130 °С:

$$R_{1130} = 0,2977 \text{ кОм};$$

$$U_{130} = 10 * 5 / (10 + 0,2977) = 4,8554 \text{ В};$$

2. Исходя из полученных значений напряжения при максимальной и минимальной температуре, целесообразно выбрать интервал  $\pm 5В$ .

3. В диапазоне настройки платы  $\pm 5\text{В}$  амплитуда измеренного напряжения составляет (от  $-5\text{ В}$  до  $+5\text{ В}$ ) –  $10\text{ В}$ . Количество отсчетов платы АЦП, приходящиеся на  $1\text{ В}$  напряжения для выбранного диапазона  $\pm 5\text{В}$ :

$$O_{\text{АЦП}} (\text{для } 1\text{В}) = O_{\text{АЦП}} / 10 = 4096 / 10 = 409 \text{ отсчетов на } 1\text{ В};$$

Изменение напряжения при изменении температуры на  $1^\circ\text{C}$  составляет:

$$(U_{130} - U_0) / 130^\circ\text{C} = (4,8554\text{ В} - 1,1748\text{ В}) / 130^\circ\text{C} = 0,0283\text{ В}/^\circ\text{C};$$

Количество отсчетов платы АЦП приходящееся на  $1^\circ\text{C}$  измеренной температуры.

$$O_{\text{АЦП}} (\text{для } 1^\circ\text{C}) = 409 * 0,0283 = 11 \text{ отсчетов на } ^\circ\text{C}.$$

4. Погрешность измерения температуры, вносимая платой АЦП, можно оценить как половину одного отсчета платы АЦП:

$$\delta = \pm 1^\circ\text{C} / 11 * (0,5) = \pm 0,045^\circ\text{C}.$$

Таким образом, погрешность, вносимая в измерение температуры платой АЦП составляет менее  $0,05^\circ\text{C}$ , что гораздо меньше, чем погрешность самого термодатчика (термометра сопротивления).

Аналогичным образом можно подобрать настройки платы АЦП и оценить погрешность при измерении других физических величин.

### **Программы сбора и обработки данных**

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) — это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США).

LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA-системам (SCADA - программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления), но в отличие от них в большей степени ориентирована на решение задач не столько в области АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом), сколько в области АСНИ (Автоматизированная Система Научных Исследований).

Программа LabVIEW называется и является виртуальным прибором (англ. Virtual Instrument) и состоит из двух частей:

- блочной диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора;
- лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора.

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов.

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода-вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, шкалы, информационные табло и т. п. Они используются человеком для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными.

Блочная диаграмма содержит функциональные узлы, являющиеся источниками, приемниками и средствами обработки данных. Также компонентами блочной диаграммы являются терминалы («задние контакты» объектов лицевой панели) и управляющие структуры (являющиеся аналогами таких элементов текстовых языков программирования, как условный оператор «IF», операторы цикла «FOR» и «WHILE» и т. п.). Функциональные узлы и терминалы объединены в единую схему линиями связей.

LabVIEW поддерживает большой спектр оборудования различных производителей и имеет в своём составе (либо позволяет добавлять к базовому пакету) многочисленные библиотеки компонентов:

- для подключения внешнего оборудования по наиболее распространённым интерфейсам и протоколам (RS-232, GPIB-488, TCP/IP и пр.);
- для удалённого управления ходом эксперимента;
- для управления роботами и системами машинного зрения;
- для генерации и цифровой обработки сигналов;
- для применения разнообразных математических методов обработки данных;
- для визуализации данных и результатов их обработки (включая 3D-модели);
- для моделирования сложных систем;
- для хранения информации в базах данных и генерации отчетов.

Специальный компонент LabVIEW Application Builder позволяет создавать LabVIEW-программы, пригодные для выполнения на тех компьютерах, на которых не установлена полная среда разработки. Для работы таких программ требуется бесплатно распространяемый компонент «LabVIEW Runtime Engine» и, при необходимости, драйверы используемых внешних устройств.

**Свободным** аналогом LabVIEW является система OpenSCADA (Украина), которая представляет собой открытую SCADA систему, построенную по принципам модульности, многоплатформенности и масштабируемости. Система OpenSCADA предназначена для: сбора, архивирования, визуализации информации, выдачи управляющих воздействий, а также других родственных операций, характерных для полнофункциональной SCADA системы.

Модули ввода/вывода данных ОВЕН конфигурируются (настраиваются) через ПК с помощью программы «Конфигуратор M110», входящей в комплект поставки модулей.

Также, для сбора, обработки и анализа экспериментальных данных, может использоваться программа *Matlab*.

### **Планирование эксперимента и анализа экспериментальных данных**

**Планирование эксперимента** (experimental design techniques) — комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов. Основная цель планирования эксперимента — достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов.

Планирование эксперимента применяется при поиске оптимальных условий, построении интерполяционных формул, выборе значимых факторов, оценке и уточнении констант теоретических моделей и др.

Методы планирования эксперимента позволяют минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов. Если же по каким-либо причинам число испытаний уже ограничено, то методы дают оценку точности, с которой в этом случае будут получены результаты. Методы учитывают случайный характер рассеяния свойств испытываемых объектов и характеристик используемого оборудования. Они базируются на методах теории вероятности и математической статистики.

Планирование эксперимента включает ряд этапов.

1. Установление цели эксперимента.
2. Уточнение условий проведения эксперимента (имеющееся или доступное оборудование, сроки работ и т. п.). Выбор вида испытаний (нормальные, ускоренные, на стенде, натурные или эксплуатационные и т.д.).
3. Выявление и выбор входных и выходных параметров на основе сбора и анализа предварительной (априорной) информации. Входные параметры (факторы) могут быть детерминированными, то есть регистрируемыми и управляемыми (зависимыми от наблюдателя), и случайными, то есть регистрируемыми, но неуправляемыми. Наряду с ними на состояние исследуемого объекта могут оказывать влияние нерегистрируемые и неуправляемые параметры, которые вносят систематическую или случайную погрешность в результаты измерений. Это — ошибки измерительного оборудования, изменение

свойств исследуемого объекта в период эксперимента, например, из-за старения материала или его износа, воздействие персонала и т. д.

4. Установление потребной точности результатов измерений (выходных параметров), области возможного изменения входных параметров, уточнение видов воздействий.

5. Составление плана и проведение эксперимента — количество и порядок испытаний, способ сбора, хранения и документирования данных.

Порядок испытаний также важен в процессе поисковых исследований: в зависимости от выбранной последовательности действий при экспериментальном поиске оптимального соотношения параметров объекта или какого-то процесса может потребоваться больше или меньше опытов.

6. Статистическая обработка результатов эксперимента, построение математической модели поведения исследуемых характеристик. Необходимость обработки вызвана тем, что выборочный анализ отдельных данных, вне связи с остальными результатами, или же некорректная их обработка могут не только снизить ценность практических рекомендаций, но и привести к ошибочным выводам.

Построение математической модели выполняется в случаях, когда должны быть получены количественные характеристики взаимосвязанных входных и выходных исследуемых параметров. Это — задачи аппроксимации, то есть выбора математической зависимости, наилучшим образом соответствующей экспериментальным данным.

Для оценки степени взаимосвязанности факторов или выходных параметров проводят корреляционный анализ результатов испытаний. В качестве меры взаимосвязанности используют коэффициент корреляции: для независимых или нелинейно зависимых случайных величин он равен или близок к нулю, а его близость к единице свидетельствует о полной взаимосвязанности величин и наличии между ними линейной зависимости.

7. Объяснение полученных результатов и формулирование рекомендаций по их использованию, уточнению методики проведения эксперимента.

Снижение трудоемкости и сокращение сроков испытаний достигается применением автоматизированных экспериментальных комплексов. Такой комплекс включает испытательные стенды с автоматизированной установкой режимов (позволяет имитировать реальные режимы работы), автоматически обрабатывает результаты, ведет статистический анализ и документирует исследования. Но тем не менее, остается высокая доля ответственности инженера в этих исследованиях: четкие поставленные цели

испытаний и правильно принятое решение позволяют точно найти слабое место изделия, сократить затраты на доводку и итерационность процесса проектирования.

Существуют программы для планирования эксперимента.

*STATISTICA Design of Experiments (DOE)* - модуль программы *STATISTICA*, предназначенный для планирования экспериментов. Имеет большой набор процедур для построения и анализа экспериментальных планов, имеется полный набор всех стандартных планов. Также, *STATISTICA* содержит большое количество вычислительных методов для анализа данных, собранных в ходе проведения экспериментов.

Простейшая обработка экспериментальных данных - построение графиков, аппроксимация полиномами и другими простыми функциями, статистическая обработка, может быть выполнена в любом табличном процессоре (MS Excel, Open Office Calc).

#### **а) ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Основы программирования [Электронный ресурс] / Окулов С.М. - М. : БИНОМ, 2012
2. Основы трёхмерного моделирования и визуализации. Ч. 2 [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Р.Г. Хисматов. - Казань : Издательство КНИТУ, 2012.
3. Использование приложения MS Excel для моделирования различных задач [Электронный ресурс] / Кильдишов В.Д. - М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2015.
4. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Н. Клячкин. - М. : Финансы и статистика, 2014
5. LabVIEW: практический курс для инженеров и разработчиков [Электронный ресурс] / Магда Ю.С. - М. : ДМК Пресс, 2012.
6. Simulink 5/6/7 [Электронный ресурс] : Самоучитель / Дьяконов В.П. - М. : ДМК Пресс, 2012.

#### **б) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

7. "Современный самоучитель работы на компьютере [Электронный ресурс] / Юстас Эклер. - М. : ДМК Пресс, 2009. - (Серия "Самоучитель").
8. Введение в современные САПР [Электронный ресурс] : Курс лекций / Малюх В.Н. - М. : ДМК Пресс, 2010
9. Statistica 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. Учебник – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007 г. – 512 с.: ил.
10. Тику Ш. эффективная работа: SolidWorks2004/ – СПб.: Питер,2005.–768 с.: ил.