

## Лекция №9

**Тема: Моделирование в научном и техническом творчестве.**

**Цель лекции:** ознакомить методами моделирования в научном и техническом творчестве.

**1. Физическое подобие и моделирование.**

**2. Аналоговое подобие и моделирование.**

**3. Математическое цифровое подобие и моделирование.**

**Основные понятия:** физическая модель, физическое подобие, аналоговое подобие, условия подобия, математическое цифровое подобие, погрешности приближенного моделирования.

### 1. Физическое подобие и моделирование

Физическая модель (например, энергосистемы) представляет собой миниатюрную копию физически реальной системы. Для всякой модели всегда четко формулируется круг задач, который будет решаться с ее помощью. Это выявляет те части системы, которые должны быть воспроизведены на модели с наибольшей полнотой и точностью, требуемыми теорией подобия (условия соблюдения критериев подобия) и практической необходимостью.

Для проведения такого исследования необходимо создать модель, имеющую параметры, при которых критерии подобия модели одинаковы с соответствующими критериями подобия оригинала. Возможны также случаи, когда модель специально не сооружается, а вместо нее применяются какие-либо подходящие установки, обеспечивающие при эксперименте получение процессов, близких к оригинальным. Затем выбираются наиболее существенные у данного процесса критерии подобия, для чего предварительно оцениваются параметры, входящие в эти критерии. Известные критерии позволяют выбрать масштабы, при которых учитываются как постановка задачи, так и возможности оборудования.

Неудачный выбор масштабов может привести к тому, что параметры оборудования модели будут отличаться от расчетных. Поэтому каждому исследованию на модели должна предшествовать тщательная проверка всех ее параметров.

Перед проведением эксперимента следует предварительно проверить работу оборудования модели по отдельным ее частям. И только после того, как получена полная уверенность, что все элементы модели в отдельности подобны соответствующим элементам оригинала, можно собрать модель в целом, соблюдая граничные условия при соединении ее отдельных элементов.

Подготовленная таким образом модель дает возможность провести эксперименты, получить достоверные данные и обработать их в критериальных зависимостях.

### 2. Аналоговое подобие и моделирование

Если явления в двух сопоставляемых системах имеют различную физическую природу, но некоторые наиболее интересные для данного исследования процессы, происходящие в двух системах, описываются формально одинаковыми дифференциальными уравнениями, то можно сказать, что одна система является *прямой моделью-аналогом* другой (структурное моделирование является разновидностью аналогового моделирования, при котором дифференциальные уравнения, описывающие физический процесс, представляются отдельными элементами). Применение прямых моделей-аналогов ограничено, поскольку не для всех задач можно выявить аналогию и подобрать модель. В этом отношении структурные модели, поэлементно моделирующие отдельные математические операции, более универсальны и обеспечивают большую точность. Примером электрических моделей прямой аналогии являются расчетные модели постоянного тока, использующие постоянный ток в качестве аналога переменного тока.

При этом электрическая схема системы переменного тока воспроизводится с помощью активных сопротивлений, а ЭДС генераторов электростанций - с помощью источников постоянного тока. Расчетные модели переменного тока частично (для установившегося режима) оказываются физическими моделями, а частично аналоговыми (для переходного режима). Исследуемые схемы представляются комплексными сопротивлениями и ЭДС с соответствующим сдвигом фаз. Расчет переходного процесса сложной системы представляет значительные трудности и требует для своего выполнения много времени. Стремление упростить эту работу привело, с одной стороны, к созданию специализированных аналоговых моделей, а с другой - к широкому использованию для исследования таких процессов типовых (универсальных) структурных аналоговых моделей (аналоговые вычислительные машины типов МН-7, МН-18 АВК-2 и др.). При таком моделировании масштабы  $m_j$ , обеспечивающие подобие на АВМ, являются в общем случае размерными величинами, связывающими параметры системы с машинными переменными - напряжениями на входах и выходах решающих блоков. Число этих переменных может превышать число уравнений моделируемого процесса, так как между машинными переменными могут существовать некоторые дополнительные зависимости, которые в явном виде отсутствуют в исходных уравнениях.

Условия подобия получаются на основе первой теоремы подобия и связывают коэффициенты  $a_i$  с масштабами  $m_j$  и коэффициентами передачи решающих блоков.

Обеспечение аналогичности процесса в модели процессу в оригинале требует установить дифференциальные уравнения, описывающие процесс; составить принципиальную схему для решения задачи на модели, для каждого решающего блока выявить условия подобия и составить рабочую схему соединения (табл.5) элементов, затем набрать рабочую схему на коммутационном поле АВМ, задать начальные условия, осуществить пуск машины и зарегистрировать получаемое решение с помощью электронно-лучевого индикатора, светолучевого осциллографа и т.д.

**Условия подобия при моделировании**

Название блока	Формула операции, выполняемой блоком	Машинное уравнение блока	Условие подобия
Суммирующий	$z = \sum_{i=1}^q n_i x_i$	$x_j = - \sum_{i=1}^q k_{ij} x_i$	$k_{ij} = \frac{m_j a_i}{m_i}$
Интегросуммирующий	$z = \int \sum_{i=1}^q a_i x_i dt$	$x_j = - \int \sum_{i=1}^q k_{ij} \times x_i d\tau$	$k_{ij} = \frac{m_j a_i}{m_i m_t}$
Умножения	$z = x_i x_\mu$	$x_j = k x_i x_\mu$	$m_j = k m_i m_\mu$ $k = \text{const}$ $k = \frac{m_j}{m_i m_\mu}$ $k \neq \text{const}$
Деления	$z = \frac{x_i}{x_\mu}$	$x_j = \frac{x_i}{x_\mu}$	$m_i \neq m_j m_\mu$
Функционального преобразования	$z = f(x)$	$x_j = m_j f\left(\frac{x_i}{m_i}\right)$	—

$k$  — конструктивный коэффициент блока;  $M_j$  — коэффициент усиления;  $k_{ij} = M_j W_{ji}$  — коэффициент передачи по  $i$ -му входу;  $z, x$  — текущие переменные;  $m$  — масштабы

### 3. Математическое цифровое подобие и моделирование

Цифровые ЭВМ, моделирующие различные процессы, применяются в двух основных направлениях. Первое - это моделирование в натуральном времени происходящих процессов, когда данные для вычислений поступают на ЭВМ непосредственно от изучаемой системы или той, которой необходимо управлять. При втором направлении (например, при решении задач проектирования, планирования и прогнозирования) нет надобности в моделировании в темпе действительного процесса, можно эти процессы при моделировании ускорить. Аналогичные задачи возникают и при больших количествах уравнений, отвечающих, например, модели развития большой системы. Здесь также требуется быстроедействие ЭВМ для того, чтобы в обозримые сроки решать поставленные задачи.

ЭВМ не являются моделирующим устройством какого-либо конкретного процесса в том смысле, какой обычно на основе наших привычных представлений вкладывается в понятие модели. Получая данные для анализа, ЭВМ вычисляет какую-либо функцию, перерабатывает, хранит и выдает информацию, создавая формальную модель - алгоритм вычисляемой функции.

Алгоритмы, перерабатывающие информацию, должны иметь общность характера, т.е. отражать ход решения не какой-нибудь отдельной задачи, а целого класса обобщенных подобных задач, общность которых выявлена методами теории подобия и запись алгоритмов проведена в критериях подобия; обладать четкостью и однозначностью указаний по проведению операций на каждом этапе их выполнения, непосредственно и быстро приводить к решению, выдаваемому в удобной для использования форме, т. е. должны обладать результативностью при любой исходной информации и точном соблюдении распоряжений, определяющих вычислительный процесс, выдавать окончательный результат в виде обобщенных зависимостей (соотношений, графиков), позволяющих распространить результаты на группы явлений, подобных данным.

При соблюдении указанных условий ЭВМ вместе с соответствующим алгоритмом может рассматриваться как модель изучаемого процесса, обеспечивающая решение научных и технических задач.

Современную технику все больше и больше начинают интересовать решения, использующие не только математические модели, алгоритм которых предусматривает жесткий программный ход, как это делается в большинстве случаев при применении ЭВМ, но и модели, которые позволили бы подходить к задаче как к эргатической, предусматривающей вмешательство оператора в процесс исследования или управления, что равносильно переходу к более высокому классу задач. При реализации эргатического моделирования требуются изменения в подходах к программированию и в сочетаниях комплексов цифровой и вычислительной техники. Отсюда появляются новые модели - гибридные, сочетающие цифровые ЭВМ и АВМ.

Требования к точности и достоверность результатов моделирования различны в зависимости от поставленных задач и характера исследований. Исследования, касающиеся проектных разработок, а также оценки и относительного сопоставления вариантов, не требуют высокой точности результатов. Однако точность результатов имеет весьма большое значение, если исследования проводятся применительно к конкретной схеме, а полученные результаты необходимо распространить на ряд оригиналов. При получении на основе моделирования характеристик тех или иных явлений необходимо учитывать факторы, обуславливающие расхождение результатов, поручаемых в моделях и в оригиналах. К этим факторам относятся неточности, обусловленные определением или заданием параметров оригинала, входящих в критерии подобия, и воспроизведением параметров на модели (эти неточности можно свести к некоторым суммарным неточностям воспроизведения критериев подобия); погрешностями измерений при проведении опытов (эти погрешности могут быть уменьшены многократным повторением измерений, выбором приборов надлежащей точности); неполным учетом в модели факторов, заведомо влияющих на главные процессы (осуществление приближенного моделирования вместо точного).

Непостоянство случайно изменяющихся параметров, сходящих в критерии подобия, приводит к тому, что критерии подобия также оказываются подверженными случайным вариациям. Поэтому при оценке достоверности результатов моделирования систем, имеющих такие параметры, необходимо также учитывать влияние случайных факторов.

Точность результатов экспериментальных исследований реальной системы, опытов на физической модели, процедуры моделирования на АВМ и численного решения систем уравнений, описывающих исследуемый процесс, должна оцениваться различно. В первом случае «натура» - рассматривается конкретное явление; во втором «физическая модель» - физически воспроизводятся определенные стороны явления на основе теории подобия стохастически определенных систем; в третьем «АВМ» - воспроизводятся математические закономерности, отраженные в уравнениях описываемого процесса; в четвертом «ЭВМ» - осуществляется численная интерпретация этих закономерностей.

Обычно в практических приложениях оценка достоверности результатов моделирования с учетом погрешностей задания и воспроизведения критериев подобия сводится к двум задачам: к оценке влияния стохастических вариаций критериев подобия и к оценке погрешности реализации приближенного моделирования вместо точного.

Оценка погрешностей моделирования, связанных с неточностью воспроизведения критериев подобия, требует изучения характера связи между исследуемым процессом и количественными отклонениями критериев подобия, представляемой в виде уравнения

$$\pi = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i \bar{\pi}_i + \sum_{i,j=1}^3 b_{ij} \bar{\pi}_i \bar{\pi}_j + \dots$$

где  $\bar{\pi}_i, \bar{\pi}_j$  - кодированное значение критериев. Полученное уравнение показывает степень влияния каждого критерия подобия на величину  $\pi$  и позволяет установить зоны заметной погрешности, которое надо исключить из рассмотрения.

Полученная информация позволяет объективно решить вопрос о необходимой точности воспроизведения критериев подобия, соответствующей степени их влияния на исследуемый процесс.

Погрешности приближенного моделирования выявляются двумя корректирующими друг друга путями. Во-первых, проверкой последовательным моделированием, когда, моделируя одну и ту же систему в разных масштабах, при разных коэффициентах линеаризации и т. п., можно получить представление о возможном искажающем эффекте моделирования. Во-вторых, исследованием уравнений, положенных в основу приближенных критериев подобия, и проведением серий опытов и расчетов с разным сочетанием величин, входящих в приближенные критерии.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается суть физического подобия и моделирования?
2. В каких экспериментальных исследованиях используется аналоговое подобие и моделирование?
3. Охарактеризуйте математическое цифровое подобие и моделирование.
4. Как оценивается точность результатов экспериментальных исследований реальной системы?
5. Назовите пути выявления погрешностей приближенного моделирования.

### **Список литературы:**

1. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. – М.: Либроком. – 2010. – 280 с. <http://www.mtas.ru/upload/library/mni.pdf>
2. Овчаров А.О., Овчарова Т.Н. Методология научного исследования. – М.: ИНФРА-М. – 2019. – 304 с. <https://znanium.com/read?id=327846>
3. Космин В.В. Основы научных исследований. – М.: РИОР. ИНФРА – М. – 2019. – 238 с. <https://znanium.com/read?id=357975>
4. <http://library.atu.kz>
5. <http://methodolog.ru/books.htm>