*Техническое творчество*

**Тема 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ (8 ЧАСА)**

**Лекция 3.3. Теоретическая основа технического моделирования. Модель и прототип. Теория подобия. Виды подобия: полное и частичное.**

Теоретическая основа технического моделирования

Выше уже отмечалось, что техническое моделирование состоит в замене изучения интересующего человека явления или объекта в натуре изучением аналогичного явления или объекта на модели меньшего или большего масштаба. Основной его смысл заключается в том, чтобы по результатам опытов с моделями можно было давать необходимые ответы о характере эффектов и различных величинах, связанных с явлением в натурных условиях.

В большинстве случаев техническое моделирование в творчестве школьников основано на воспроизведении физически подобных явлений. Изучение того или иного натурного явления, заинтересовавшего учащихся (например, движение настоящих самолетов, ракет, кораблей, автомобилей и др.), заменяется изучением физически подобных явлений на соответствующих моделях, что осуществлять реальнее и удобнее, поскольку имеется возможность многократно повторять опыт, изменяя условия его проведения. Способы определения физического подобия многообразны. Мы воспользуемся определением, предложенным академиком Л.И.Седовым, как наиболее приемлемым и удобным для дальнейшего рассмотрения вопросов технического моделирования:

«Два явления подобны; если по заданным характеристикам одного можно получить характеристики другого простым пересчетом, который аналогичен переходу от одной системы единиц измерения к другой системе» (Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1967. – С. 57).

Для осуществления такого пересчета необходимо знать «переходные масштабы». Численные характеристики для двух различных, но подобных явлений Л.И.Седов предлагает рассматривать как численные характеристики одного и того же явления, выраженные в двух различных системах единиц измерения, учитывая при этом, что для всякой совокупности подобных явлений все безразмерные характеристики (безразмерные комбинации из размерных величин) имеют одинаковое численное значение. Причем обратное заключение также справедливо, т. е. если все безразмерные характеристики для двух движений одинаковы, то движения подобны. «Совокупность механически подобных движений и определяет собой режим движения» (Седов Л.И., с.58),— подчеркивает Л. И. Седов.

Согласно данным науки, в основе процесса технического моделирования лежит теория подобия. Известно, что эта теория изучает отношения между моделью и натурой в случаях, когда та и другая принадлежат к одной и той же форме движения, в частности — к механическому движению. Подобными считаются такие предметы и явления, у которых все характеризующие их однородные физические величины находятся для любой точки пространства в одинаковом отношении. В этом случае подобие называется полным. Во многих случаях (а в техническом творчестве школьников — в большинстве) подобие бывает соблюдено не для всех величин, а лишь для некоторых. Тогда его называют частичным подобием. Говоря о модели и о натуре, прежде всего подразумевают их геометрическое подобие, т. е. пропорциональность всех линейных размеров модели и натуры и равенство их соответствующих углов.

Очень важно, чтобы при ознакомлении с основами теории подобия юные техники уяснили себе сущность понятия масштаба модели (коэффициента подобия), познакомились с видами масштабов. Масштабом модели теория подобия считает отношение сходственных параметров модели и натуры линейного масштаба:

K*l* = *l*1 / *l*

где *l*1, *l* — линейный размер соответственно модели и натуры (например, длина модели судна и длина самого судна).

Подобие может быть приближенным или частичным, имеющем место в моделировании, когда некоторые масштабы (сил, скоростей, плотностей и др.) этому условию удовлетворяют, а другие — нет.

**Модель и прототип.**

Постройка модели-копии начинается с выбора прототипа для копирования. Но прежде чем выбрать прототип, следует ознакомиться с правилами проведения соревнований и техническими требованиями к этому классу моделей. Нужно наметить для себя цель, то есть определить, к чему следует стремиться в результате всего комплекса работы по изготовлению модели и участия в соревнованиях. Очевидно, что, впервые участвуя в соревнованиях, не следует ставить цель обязательно занять первое место.



При выборе прототипа или, точнее сказать, чертежа оригинала для копирования начинающие моделисты чаще всего руководствуются тем, какой самолет им больше понравился с первого взгляда. И, как правило, таким самолетом оказывается истребитель. Это, вероятно, вызвано тем, что в истребителе воплощены одновременно и изящество внешних форм, и стремительность полета. Но здесь кроется первая ошибка в выборе прототипа.

Что же должно служить критерием для выбора прототипа? Рассмотрим несколько основных положений, руководствуясь которыми можно более реально подойти к решению этой проблемы.

Первое - опыт и технические возможности. Под этим надо понимать опыт моделиста в постройке летающих моделей самолетов, опыт пилотирования их, имеющиеся возможности использовать станочное оборудование для изготовления отдельных деталей, наличие материалов, двигателя, радиоаппаратуры.

Второе - наличие документации по выбранному прототипу. Недостаточно иметь чертеж общего вида в трех проекциях. Необходимы еще и дополнительные чертежи, схемы и фотографии не только общего вида прототипа, но и его отдельных деталей и агрегатов. Чем подробнее чертеж и больше фотографий, тем точнее изготовленная модель.

Третье - оценка прототипа с точки зрения возможностей реализации летных характеристик. Здесь следует иметь в виду, что всякая модель ограничена определенными техническими требованиями к данному классу, которые необходимо учитывать, рассчитывая размеры модели, ее массу, тип и мощность двигателя. Вначале целесообразно сделать прикидочный расчет возможностей модели.

Для большинства моделистов можно рекомендовать довольно распространенный способ расчета с использованием статистики. Так, примерные размеры модели, потребный двигатель, радиоаппаратуру (для радиомоделей) можно определить по выборкам из периодической литературы по авиамоделизму. Из журналов выписывают данные этих моделей по размерам, массе, мощности и объему двигателя (двигателей) и, сравнив с выбранным прототипом, решают, в каком масштабе строить модель, чтобы уложиться в какие-то средние данные.

Моделисты могут воспользоваться опубликованными чертежами модели какого-либо самолета. Это облегчит их работу, так как чертеж модели уже апробирован. Но здесь есть одна особенность - чертеж модели самолета дает возможность судить о конструкции, но он не является документом для оценки модели на соревнованиях.

Четвертое - оценка выбранного прототипа с точки зрения сложности изготовления. Здесь еще раз выявляется и уточняется первое положение. Если начинающий моделист берется за изготовление модели-копии истребителя, бомбардировщика или даже современного спортивного самолета, имеющих сложную конструкцию, начиненных всевозможной механизацией (убирающееся шасси, закрылки, предкрылки, вооружение и т. п.), можно с уверенностью сказать, что не только не будет все это хорошо изготовлено, но и летные возможности не будут полностью реализованы.

Поэтому моделисту, впервые приступающему к постройке модели-копии, необходимо выбрать прототип более простой конструкции, без механизации и с летными характеристиками, близкими к характеристикам учебных и спортивных самолетов.

Моделистам, имеющим опыт постройки хотя бы не масштабных моделей, можно браться за изготовление и более сложных моделей. Однако и им необходимо учитывать еще одно - пятое положение: наличие механизации на выбранном прототипе и возможность ее реализации на модели. В данном случае на чертеже прототипа или в других представляемых документах должны быть чертежи или схемы механизации. Если, к примеру, выбранный прототип имеет убирающееся шасси, то необходимо иметь чертеж системы уборки шасси и всех ее механизмов. В идеале хорошо иметь на модели такую же систему, как и у прототипа, но не всегда это возможно реализовать ввиду слишком малых размеров деталей. Поэтому часто от принципа отходят. Вместо, скажем, гидравлической системы уборки шасси на прототипе делают электрическую на модели, сохраняя все внешние видимые конструктивные элементы. Таким образом можно поступить и с другими элементами механизации (щитки, работа вооружения и т.п.).

В результате оценки выбранного прототипа и своих возможностей моделист решает строить модель выбранного прототипа или обращается к оценке другого прототипа. Только после того, как моделист окончательно решит, какой прототип будет взят для моделирования, он приступает к изготовлению рабочего чертежа модели. Работа это очень трудоемкая, порой изготовление рабочего чертежа и шаблонов занимает почти четвертую часть всего времени работы над моделью. Небрежности здесь не должно быть места, так как ошибка в рабочем чертеже неизбежно приводит к ошибке в изготовлении модели, а исправление в уже частично изготовленной модели может оказаться и невозможным. Надо приучить себя к непреложному правилу: чем точнее и подробнее изготовлен рабочий чертеж модели, тем легче и быстрее она будет построена.

**Теория подобия.**

Всякое явление природы представляет собой систему  материальных тел, которая претерпевает определенное изменение состояния,  поскольку в ней протекают различные процессы.

Явлениями, подобными друг другу, называются системы тел, геометрически подобные друг другу, в которых протекают процессы одинаковой природы и в которых одноименные величины, характеризующие явления, относятся между собой как постоянные числа.

Иными словами, можно определить подобие явления так: явление, подобное заданному, может быть получен путем такого его преобразования, когда размер каждой ее величины  изменяется в определенное число раз.

Такое преобразование называется подобным преобразованием  явления.

Понятие подобного преобразования первоначально возникло в геометрии, где таким путем получаются подобные фигуры и тела; отношение любых сходных отрезков в них равно одному и тому же постоянному числу сl, так что можно сказать, что тело, подобное первоначальному получено путем изображения его в ином геометрическом масштабе.

Понятие «механическое подобие» прежде всего включает в себя геометрическое подобие систем, затем – кинематическое подобие: подразумевается, что в любых  сходных точках систем скорости движущихся тел параллельны  и пропорциональны друг другу, т.е. что отношения между их скоростями одинаково во всех точках системы. Если система состоит из отдельных дискретных частиц, то у подобных явлений массы тоже относятся между собой как постоянное число; если же имеет место течение сплошного тела, капельной  или газообразной жидкости, то плотности и коэффициенты вязкости  во всех сходных точках подобных систем имеют постоянное отношение.

Для обеспечения максимальной эффективности (в широком смысле слова) любых экспериментальных исследований эти исследования необходи­мо организовать так, чтобы можно было определить критерии подо­бия и представить полученные результаты критериальной функцио­нальной зависимость. Такой подход позволяет при ограни­ченном числе экспериментов дать оценку хода процесса или поведения системы при разнообразных сочетаниях параметров, их характеризую­щих, и, следовательно, получить ответы на те дополнительные вопро­сы, которые обычно возникают уже после окончания эксперименталь­но-исследовательских и испытательных работ.

Рассмотренные положения, однако, относятся к случаю заведомо подобных процессов, т.е. определяют *необходимые усло­вия существования подобия*. В связи с этим возникает естественный вопрос относительно того, как распознать подобие или специально обеспечить его при построении модели, т. е. вопрос об *условиях*, не только *необходимых*, но и *достаточ­ных для существования подобия*. Такие условия включают в себя наряду с требованием равенства критериев подобия сопоставляемых процессов также и определенные дополнительные тре­бования к условиям однозначности — требования подобия начальных и граничных условий сопоставляемых процессов (а при соблюдении геометрического подобия — и подобия геометрических характеристик соответствующих пространственных областей).

*Первая теорема подобия* утверждает, что для явлений (объектов, процессов), подобных в том или ином смыс­ле, существуют одинаковые критерии подобия — идентичные по форме алгебраической записи и равные численно безразмерные сте­пенные комплексы (произведения или отношения) определенных групп физических факторов, характеризующих эти явления. Формулируя необходимые условия существования подобия (одинаковые критерии подобия у подобных явлений), первая теорема, однако, не указывает способы установления подобия и способы его реализации при построе­нии моделей.

*Вторая теорема подобия* утверждает, что полное уравнение физического процесса, записанное в определённой системе единиц, может быть представлено зависимостью между критериями подобия, т. е. зависимостью, связывающей безразмерные величины, определенным образом полученные из участвующих в процессе параметров. Так же как и первая, вторая теорема подобия основывается на предпосылке, что факт подобия между процессами известен, и устанавливает число критериев подобия и существование однозначной зависимости между ними. При этом выражения для критериев подобия могут быть получены, если известен состав параметров (факторов), участвующих в рассматриваемом процессе, но неизвестно его математическое описание. Теорема эта, однако, также как и первая, не указывает способов выявления подобия между сопоставляемыми процессами и способов реализации подобия при построении моделей.

*Третья теорема подобия*. В наиболее распростра­ненной формулировке третья теорема имеет следующий вид: необхо­димыми и достаточными условиями для создания подобия являются про­порциональность сходственных параметров, входящих в условия одно­значности, и равенство критериев подобия сопоставляемых явлений.

     *Формулировка третьей теоремы подобия* состоит из трёх положений.

*Положение 1.* Создание модели возможно, если критерии подобия (безразмерные комплексы), составленные из величин, характеризующих только ее системные (материальные) параметры, равны соответствующим критериям изучаемой системы-оригинала.

*Положение 2.* В созданной, согласно положению 1, модели осуществление процессов, подобных оригиналу, возможно, если критерии подобия, содержащие только параметры процессов, входящих в условия однозначности и в том числе начальные условия (параметры исходного режима, возмущений и отклонений), в модели и оригинале соответственно одинаковы.

*Положение 3.* Осуществление модели согласно формулировкам 1 и 2 возможно в сколь угодно сложных анизотропных, нелинейных или имеющих вероятностно заданные параметры системах при условии одновременного соблюдения соответствующих дополнительных положениях, сформулированных ниже.

*Дополнительные положения теории подо­бия* фор­мулируются следующим образом:

— *подобие сложных* геометрически подобных и изотропных систем с детерминированно определенными линейными или постоянными па­раметрами, образованных несколькими соответственно подобными по отдельности подсистемами, обеспечивается, если выполняется допол­нительное условие подобия всех сходственных элементов, являющихся общими для этих подсистем;

— *условия подобия* сложных геометрически подобных и изотроп­ных систем с детерминированно определенными линейными и постоян­ными параметрами могут быть распространены на сложные системы с нелинейными или переменными параметрами, заданными детерминиро­ванно, если выполняется дополнительное условие совпадения относи­тельных характеристик сходственных параметров, являющихся  нели­нейными или переменными;

— *условия подобия* детерминированно определенных геометрически подобных изотропных сложных систем могут быть распространены на анизотропные геометрически   подобные сложные системы,   задан­ные детерминированно, если выполняется дополнительное условие обес­печения одинаковой   относительной   анизотропии   в   сопоставляемых системах;

— *условия подобия* детерминированно определенных геометричес­ки подобных анизотропных сложных систем с переменными или нели­нейными параметрами могут быть распространены на геометрически неподобные сложные системы с детерминированно определенными пара­метрами, если выполняется дополнительное условие обеспечения такого нелинейного подобия пространства параметров, при котором сущест­вуют подобные изменения параметров процесса в сходственных точках этого пространства;

— *условия подобия* сложных геометрически неподобных анизотроп­ных систем с детерминированно определенными нелинейными или пе­ременными параметрами могут  быть  распространены, на системы с вероятностно (статистически) определенными параметрами, если вы­полняются дополнительные условия совпадения плотностей вероятно­стей сходственных параметров и пропорциональности их статисти­ческих моментов, степени масштабных коэффициентов при которых совпадают с порядками соответствующих моментов.

**Виды подобия: полное и частичное**

В качестве одного из первых признаков классификации видов моделирования можно выбрать степень полноты модели и разделить модели в соответствии с этим признаком на:

·        полные,

·        неполные

·        приближенные.

*В основе полного* моделирования лежит полное подобие, которое проявляется как во времени, так и в пространстве.

*Для неполного моделирования* характерно неполное подобие модели изучаемому объекту.

*В основе приближенного моделирования* лежит приближенное подобие, при котором некоторые стороны функционирования реального объекта не моделируются совсем.