

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрический транспорт

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

Дисциплина:

"Моделирование устройств электрической тяги"

Комаров В.Г.

Лекция 1

03.09.2026 г.

Введение

Моделирование – замещение исследуемого объекта (оригинала) его условным образом, описанием или другим объектом (моделью) и познание свойств оригинала путем исследования свойств модели. При моделировании свойства одного объекта переносятся (отображаются) на другой таким образом, чтобы взаимосвязь свойств модели и объекта была бы аналогичной. С моделями и моделированием мы сталкиваемся в нашей жизни каждый день. В детстве нас окружают игрушки – машинки, куклы, кубики и т.д. - модели, повторяющие отдельные свойства реально существующих предметов. Играя, ребенок получает важные знания о них. В процессе мышления человек оперирует образами объектов окружающего мира, которые являются разновидностями моделей – когнитивными (мысленными) моделями. В широком смысле произведения живописи, скульптуры и литературы можно также считать моделями реальных объектов. Вообще в живой природе всегда присутствует модель, которая несет в себе актуальную информацию об окружающем мире и позволяет выживать и развиваться растениям, организмам и другим объектам живой природы, соотнося свои действия с осознанной или заложенной целью. Главной целью живой природы является выживание и развитие.

Основная задача теории моделирования заключается в том, чтобы вооружить исследователей технологией создания адекватных моделей, которые достаточно точно и полно фиксируют интересующие свойства оригиналов, проще или быстрее поддаются исследованию и допускают перенесение его результатов на оригиналы.

Трудно переоценить роль моделирования в научных изысканиях, инженерном творчестве и, вообще, в жизни человека. Разработка и познание любого объекта или системы сводится по существу, к созданию их адекватной модели.

Общие положения теории моделирования.

Теория моделирования представляет собой взаимосвязанную совокупность положений, определений, методов и средств создания и изучения моделей. Эти положения, определения, методы и средства, как и сами модели, являются предметом теории моделирования.

Теория моделирования оперирует реальными объектами в виде образов отображающих эти объекты как совокупности параметров и характеристик. Множество параметров объекта отражает его внутреннее содержание – структуру и принципы функционирования. Характеристики объекта – это его внешние свойства, которые важны при взаимодействии с другими объектами. Характеристики объекта находятся в функциональной зависимости от его параметров.

Реальная польза от модели может быть получена лишь при выполнении двух главных условий:

- модель должна быть адекватной оригиналу в том смысле, что должна с достаточной точностью отображать актуальные свойства оригинала;
- модель должна обеспечивать информационный интерфейс (сенсорику) с актуальными физическими процессами оригинала.

Модель может быть инстинктивной (неосознанной), что присуще всей живой природе, или осознанной, что присуще человеку. В любом случае модель это результат предшествующего накопленного опыта.

Модель объекта – это вещественное или абстрактное отображения оригинала. В теории моделирования используются преимущественно абстрактные модели – описания объекта исследования на некотором языке. Абстрактность модели проявляется в том, что компонентами модели являются не физические элементы, а понятия, в качестве которых наиболее широко используются математические. Абстрактная модель, представленная на языке математических отношений, называется математической моделью. Модель, удовлетворяющая требованиям по составу характеристик, параметров, точности и вероятности воспроизведения характеристик по всей области определения, называется адекватной оригиналу.

Современное научное знание исходит из принципов детерминизма о единстве и неразрывной связи всех явлений и законов природы, действующих на всех уровнях сложности природных систем. Оказывается, одними и теми же по форме уравнениями описываются различные по своей природе явления. Это называется изоморфизмом уравнений. Зная математический формализм основных законов, мы можем перенести его на любой удобный для нас носитель, построив, таким образом, модель практически любого интересующего нас объекта, явления или процесса. Изучение модели позволяет лучше разобраться в природе моделируемого явления. Поэтому моделирование можно считать одним из главных инструментов науки.

Явления, описываемые изоморфными уравнениями, могут быть подобными. Это значит, что между ними может быть установлено взаимно однозначное соответствие, позволяющее распространять выводы, полученные при изучении одного явления, на другое явление. Это позволяет обобщать наши знания о реальном мире. Первые строгие научные формулировки условий подобия и уточнение этого понятия применительно к механическому движению были даны И. Ньютоном в конце XVII века. Именно его принято считать основателем теории подобия – направления науки, служащего основой для моделирования.

В XX веке помимо физического подобия между объектами одинаковой природы стали исследоваться и разного рода математические аналогии между явлениями разной природы. Таким образом, математическое моделирование, которое сначала основывалось на моделях-аналогах, перешло к структурным моделям, в которых отсутствует аналогия с изучаемым процессом. Вместо этого в структурных моделях воспроизводятся математические операции, соответствующие решению системы уравнений, описывающих изучаемый процесс. В свою очередь, такой переход в теории моделирования подготовил новый этап, связанный с использованием цифровых электронно-вычислительных машин.

Вследствие универсальности, гибкости и дешевизны математических моделей компьютерное моделирование выигрывает в сравнении с физическим. Тем не менее физический эксперимент не может быть полностью заменен математическим. Любое моделирование всегда предполагает определенные допущения, которые могут привести к ошибочным выводам. Особенно характерно это для математического моделирования. Существенно ускоряя и удешевляя исследовательские работы, серьезное математическое моделирование должно заканчиваться экспериментальной проверкой полученных результатов.

Поэтому методология теории подобия, изначально разрабатываемая для случаев физического моделирования, до сих пор не теряет своей актуальности.

Особенности научного метода познания

Под аналогиями (подобием) понимается тождественность форм различных по сути явлений. В основе аналогий лежит единство природы, а потому одни и те же законы определяют характер самых различных на первый взгляд явлений.

Именно на аналогиях построена способность человека познавать мир. Так, периодическая повторяемость некоторых событий дает человеку ощущение предсказуемости, порождая стереотип – элементарную мысленную конструкцию, на которую человек может опереться как на нечто знакомое, некую аксиому, принимаемую без доказательства. Стереотип нельзя разложить на элементарные составляющие, его нельзя понять, его можно только принять на веру как данность. Если при изучении явления человек обнаруживает в нем присутствие некоторой реальности, которую можно соотнести с каким-то стереотипом, то рождается ощущение знакомости. Данное явление уже не кажется чем-то непредсказуемым. В этом состоит суть понимания. Понять явление – значит соотнести его с одним или несколькими стереотипами. Стереотип – это явление субъективного мира человека, являющееся отражением некой особенности объективной реальности – архетипа, существующего независимо от познающего субъекта. Внешняя, формальная сторона этой особенности (феномен), определяющая ее повторяемость, предсказуемость, а также возможность локализовать, выделить ее из окружающей реальности как нечто относительно законченное, целостное, может быть отражена в стереотипе достаточно полно. Однако внутренняя суть, природа этой особенности (ноумен) в стереотипе не присутствует. Поэтому можно сказать, что стереотип – это чистая форма, лишенная содержания. Формальная природа стереотипа, отсутствие в нем внутреннего содержания, позволяет соотносить его с формой различных по сути явлений окружающей реальности. При этом человек способен отмечать общность их форм. Таким образом человек создает абстракции, то есть особые стереотипы, содержащие в себе результат обобщения отдельных формальных сторон различных явлений, объединенных по принципу аналогии, подобия в едином понятии.

Познавая мир, человек строит познавательный базис в форме системы абстракций, составляющей основу его мировоззренческой платформы. В дальнейшем любое новое явление соотносится с этой системой.

Обычно любое изначально целостное и неразложимое явление природы соотносится в человеческом мышлении не с одним, а с целым комплексом абстракций, каждая из которых соответствует лишь какой-то особенности данного явления. Такой метод работы мыслительного аппарата человека называется анализом. В процессе анализа человек раскладывает в своем мышлении единое явление на составляющие по принципу подобия каждой из них с аналогичными составляющими (сторонами, особенностями) других явлений.

Но одного анализа для понимания явления оказывается недостаточно. Второй ступенью познания является синтез. Из выделенных в процессе анализа абстракций человек строит мысленные конструкции, которые в основных аспектах подобны реальным явлениям. Таким образом человек создает мысленные модели (образы). Эти модели дополняют мировоззренческую платформу человека, становясь отправной точкой для дальнейшей познавательной деятельности. Модель повторяет лишь наиболее существенные стороны моделируемого явления и не учитывает (абстрагируется от) второстепенных. Поэтому приведенный алгоритм процесса познания несет в себе вероятность нарушения адекватности моделей, однако во многом разгружает мыслительный аппарат, позволяя добиться четкого понимания некоторых конкретных механизмов реальных явлений. В то же время в модели не находят отражение такие стороны явлений, которые человек либо посчитал несущественными, либо упустил из внимания, например, потому что в его стереотипной базе не нашлось соответствующих аналогов. То есть в модели находит отражение только часть природы

явления. Кроме того, в ней могут присутствовать и лишние элементы, соответствия которым отсутствуют в оригинале, что еще более огрубляет модель. Пренебрежение тонкими, слабо проявленными особенностями реального явления рождает иллюзию локальности, изолированности данного явления от своего окружения. В результате в понимании человека формируется так называемая множественная картина мира, суть которой в том, что мир представляется как нечто, состоящее из множества явлений, событий, объектов. Эти объекты кажутся обособленными друг от друга, обладающими собственными характеристиками (например, размерами, массой, энергией и т.п.), определенным образом взаимодействующими с другими обособленными явлениями. Вообще говоря, это заблуждение. Согласно принципу единства Вселенной все явления мира информационно связаны друг с другом, то есть представляют собой некое энергоинформационное единство. Мир с очевидной множественностью представляет собой нечто органичное, целостное и неделимое. Таким образом, научный метод познания опирается на стереотипное огрубленное отражение объективной реальности, о чем нельзя забывать при интерпретации результатов научных исследований. Человеку свойственно абсолютизировать свои модели. Однако только природа является критерием истины, подтверждая или опровергая то или иное утверждение. Поэтому любые теоретические результаты должны быть подтверждены в эксперименте. При этом даже экспериментально проверенное знание не является истиной в последней инстанции и может быть опровергнуто или откорректировано в последующих исследованиях при других условиях.

Основные понятия теории моделирования

Объект и субъект.

Окружающий человека мир един и неделим. Вычленив объекты из реальности путем наделения их определенными свойствами (благодаря нашим органам чувств и когнитивным способностям) мы превращаем эти объекты (оригиналы) в другие объекты (модели), то есть объект-модель - это наш способ договориться о том, что мы хотим различать в реальности, как атомарные единицы реальности.

Человека окружают объекты, существующие помимо человека, которые человек может воспринимать своими ощущениями. Человек непрерывно связан с окружающими его объектами, от них он получает ощущения, соответствующие или не соответствующие его цели. Во взаимодействии с объектами человек достигает своих целей. Во взаимодействии с ними становится понятно достиг он целей или нет.

Того кто обладает сознанием и ощущениями и способен осознавать цель, будем называть субъектом. Таким образом любой человек — субъект.

Наблюдая за процессами в модели или за ее поведением, субъект делает выводы о процессах в объекте и его поведении.

Таким образом, модель представляет собой систему, исследование которой служит средством получения информации об объекте.

Качество и его проявление.

Качество — это совокупность существенных признаков, свойств, особенностей, отличающих предмет или явление от других и придающих ему определённую определенность. Именно качество определяет существование предмета как особой сущности, отличной от других, и детерминирует его свойства, проявляющиеся в отношениях с другими предметами.

Свойство - сторона проявления качества.

Любой объект обладает качеством - неотделимой от бытия существования определенности. Изменение качества сопровождается уничтожением объекта или превращением в другой объект. Изменение объекта повлечет за собой изменение качества.

Человек никогда не может полностью ощутить качество объекта. Качество - нечто присущее объекту самому по себе, вне зависимости от наличия или отсутствия субъекта. Субъект ощущает объект только во взаимодействии с ним.

Для субъекта качество проявляется некими сторонами - свойствами.

Качество существует у объекта всегда, а свойства могут проявляться, а могут не проявляться. Причем свойства зависят от способа взаимодействия объекта и субъекта. Свойства могут проявляться и в ходе взаимодействия объектов друг с другом.

Число свойств каждого объекта - огромно. Может быть и так, что какая либо сторона качества, то есть свойство объекта, не проявится ни разу за время существования объекта.

Сущности объектов.

Сущность — это то, что является основным, неизменным и существенным для объекта или явления. Она включает в себя такие свойства предмета, без которых он не может существовать, и определяет все прочие его свойства. Этим сущность отличается от изменчивых состояний предмета.

На современном уровне познания мира сущностями являются поле, вещество, энергия и информация. В мире нет пустого пространства. Пространство и время определено полем, связывающим вещество, энергию и информацию воедино.

Материя (от лат. materia «вещество») — в классическом значении всё вещественное, имеющее массу, протяжённость, локализацию в пространстве, проявляющее корпускулярные свойства. В материалистической философской традиции категория

«материя» обозначает субстанцию, обладающую статусом первоначала (объективной реальностью) по отношению к сознанию (субъективной реальности).

Физическое поле — форма материи, физическая система, обладающая бесконечным количеством степеней свободы. Динамика физического поля подчиняется динамическим уравнениям (уравнениям движения, называемым в этом случае уравнениями поля или полевыми уравнениями — обычно это дифференциальные уравнения в частных производных). В частности, для электромагнитного поля — это уравнения Максвелла, а для гравитационного поля — уравнения Эйнштейна. В современном представлении квантованные физические поля представляют собой фундаментальное понятие, с помощью которого описываются известные взаимодействия и превращения элементарных частиц. Согласно концепции поля, частицы, участвующие в каком-либо взаимодействии (например, электромагнитном или гравитационном), создают в каждой точке окружающего их пространства особое состояние — поле сил, проявляющееся в силовом воздействии на др. частицы, помещаемые в какую-либо точку этого пространства. Первоначально выдвигалась механистическая интерпретация поля как упругих напряжений гипотетической среды — «эфира». Однако наделение «эфира» свойствами упругой среды оказалось в резком противоречии с результатами проведённых позднее опытов.

Энергия (др.-греч. — действие, деятельность, сила, мощь) — единая мера различных форм движения и взаимодействия материи, мера перехода движения материи из одних форм в другие.

Информация (от лат. informatio – разъяснение, осведомление, понимание) - сведения об объектах и явлениях окружающей среды, их параметрах, свойствах и состоянии, которые уменьшают имеющуюся о них степень неопределённости, неполноты знаний. Информация это сведения независимые от формы их представления. Несмотря на широкую распространённость, понятие информации остаётся одним из самых дискуссионных в науке, а термин может иметь различные значения в разных отраслях человеческой деятельности. Информация — это обработанные, систематизированные и структурированные данные. Информация это сообщение или сигнал, совокупность данных, сведения, рассматриваемые в контексте их содержания, структурной организации и динамики. Информация возникает за счёт взаимодействия с объектом, т. е. сенсорики.

Процесс (лат. processus — течение, ход, продвижение). С точки зрения теории организации процесс это повторяемая последовательность действий, направленная на достижение поставленной цели.

Свойства и внешние условия.

Количественное описание свойств.

Некоторые свойства могут быть описаны количественно, то есть проявляться в той или иной мере. Мету количественного описания свойства будем называть параметром.

Параметром не может быть, то что не допускает количественного описания. Параметр — величина, значения которой служат для различения элементов некоторого множества между собой; величина, постоянная в пределах данного явления.

Значения параметров объекта могут изменяться во времени, либо в зависимости от некоторых условий. Любой параметр можно определить только с точностью, которая задается измерительными приборами.

Поскольку свойства объектов проявляются в их взаимодействиях с другими объектами, они зависят не только от качества, но и от внешних условий и субъекта.

Человек взаимодействует с объектами для достижения своих целей, при этом он должен всегда думать, в какие условия он помещает объект (не проявятся ли там какие-нибудь нежелательные свойства объекта). Любой объект хорош только в определенном месте и для определенного субъекта.

Соответствие тех или иных свойств целям определяется не только сущностью свойств, но и их количественной мерой.

Поведение объекта - изменение свойств объекта в зависимости от условий.

Характер объекта - совокупность свойств, которые может проявлять объект. Не следует путать характер и качество. Характер фактически – набор способов проявления различных сторон качества.

Объекты (то есть их качества) постоянно изменяются, а вместе с качествами изменяются и их свойства. Процесс - изменение качества объекта во времени. Поскольку качество проявляется субъекту только в свойствах, то процесс проявляется в изменении свойств.

Процесс так же является объектом, поскольку он происходит вне субъекта. Более того, субъект может воспринимать процесс своими ощущениями при условии, что субъект обладает памятью (способностью фиксировать свойства объекта в определенный момент времени и находить разницу в зафиксированных свойствах).

У процесса, как и у любого другого объекта есть свои свойства, например скорость.

Объекты материальны. Материя – несотворимая и неуничтожимая вечная сущность. Материя может проявляться в виде вещества или энергии. Вещество характеризуется массой и протяженностью. При некоторых условиях вещество и энергия могут переходить друг в друга. Постулат о несотворимости и неуничтожимости материи получил название «закона сохранения материи». Из него следует, что объекты нельзя полностью уничтожить, поэтому качества объектов так же нельзя уничтожить, а можно только изменить, но условно изменения можно рассматривать как уничтожение + возрождение.

Качества объекта могут изменяться, однако отражённые в субъектах свойства могут сохраняться или уничтожаться вне зависимости от сохраняемой сущности (материи). Эта сущность должна исчезать и появляться при изменении объекта, а так же должна появляться в субъекте, воспринимающем свойства объекта. Такая несохраняемая сущность, возникающая или исчезающая при изменении объекта, и возникающая в субъекте при восприятии объекта – информация.

В отличие от материи, информация может быть уничтожена, создана, размножена. Информация отображает качество объекта. При отображении этой информации на другие объекты, проявляются свойства. Познание – процесс отображения свойств (перенос информации от объекта к субъекту).

Класс и понятие. Соотношение между классами.

Классификацию можно считать элементарным моделированием, поскольку все остальные модели так или иначе на ней основываются.

Класс - множество объектов, обладающих одинаковым набором некоторых свойств. Понятие – название класса. Свойство объектов класса (свойства класса) делятся на:

- Характерные (изменение которых означает изменение объекта в пределах данного класса). Обладают все объекты класса в той или иной мере.
- Нехарактерные (изменения некоторого свойства не приводят к изменению объекта в пределах данного класса).

Отнесение объектов к тому или иному классу отображает его характерные свойства и позволяет решать экспертную и конструктивную задачи, то есть является одним из способов моделирования. Поскольку объекты одного класса обладают одними и теми же характерными свойствами, то они описываются одними и теми же моделями. То есть отнесение объектов к некоторому классу – отправная точка для создания его модели.

1) Подклассы. Обычно можно выделить часть объектов, обладающих особыми свойствами, которыми при этом не обладают другие объекты этого класса, то есть выделить подкласс. Подкласс можно делить на другие подклассы.

Чем мельче класс, тем меньше объектов в него входит, тем больше свойств каждого члена класса можно предсказать, следовательно, тем более адекватна классификационная модель. Однако, чем мельче класс, тем уже область применимости такой модели. В пределе такое дробление приводит к единичному классу (который содержит только один объект). В этот момент классификация теряет смысл.

2) Надклассы. В объектах разных классов можно найти некие общие свойства и по этим свойствам объединить классы в надклассы, то есть классы высокого уровня.

Объединяя классы в надклассы субъект отсекает специфические свойства каждого класса, поэтому укрупнения класса приводит к снижению количества предсказываемых свойств, следовательно снижается адекватность соответствующей классификационной модели. Зато за счёт обобщения получающиеся модели становятся весьма экономичными и имеют широкие границы применимости.

Возникает иерархия классов.

Как и любое другое моделирование, классификация проводится для решения конкретных задач. Классификация базируется на положении, что объекты, обладающие неким необходимым набором сходных свойств, обладают и другими сходными свойствами. Для отнесения к тому или иному классу выбирается один или несколько признаков класса – свойств, которые легко обнаружить и наличие которых сопряжено с наличием других свойств (тех, которые необходимы для решения задач). Поскольку свойства объектов зависят от условий, то при изменении условий классификация может стать неадекватной.

Открытость классов – в какой-то момент может быть обнаружен объект, который по всем признакам можно отнести к данному классу, но который многими характерными свойствами данного класса не обладает.

При классификации часто возникает вопрос «какое из свойств объекта взять в качестве признака класса». Процесс выбора признака состоит в отборе трех объектов при решении вопроса:

1. «Что общего у двух объектов и отличает их от третьего?». Такая сущность называется «Конструктом». Перебирая различные конструкты и примеряя их к объектам, относительно которых ставится задача, выбирают из них признак класса, по которому группа объектов отличается от всех остальных.

Поскольку классификация – модель, а для любых моделей применим принцип дополнительности, классификации тоже дополнительны (один объект можно отнести сразу ко многим классам, причем отнесение объекта к тому или иному классу, как и вообще моделирование, зависит от задачи).

Классификация является качественной характеристикой моделируемого объекта и базируется на теории множеств и формальной логике. Основными значениями переменных при этом являются «ИСТИНА» и «ЛОЖЬ», то есть определяющее выражение может быть либо истинным, либо ложным. Другого не дано.

Простейший уровень модели – модель черного ящика. Эта модель, не рассматривающая внутреннее устройство системы, а описывающая только внешние связи и функции системы.

Поскольку все системы иерархичны, в каждый черный ящик можно углубляться или наоборот компоновать модели из нескольких черных ящиков и таким образом создавать многоуровневые модели.

Основные виды моделей

В соответствии с двумя видами задач моделирования (экспертная и конструктивная) модели подразделяются на два вида:

- **Познавательные** (модель подгоняется под реальный объект (оригинал))
- **Прагматические** (реальный объект (копия) строится по модели или оригиналу)

Модель - единственный имеющийся у человека инструмент познания объектов и их проектирования. Практически каждая наука имеет свой арсенал методов моделирования.

В зависимости от способа реализации все модели объектов можно разделить на два других больших класса: материальные (вещественные и физические) и абстрактные (вербальные и математические):

- **Вещественные** (модели, которые сконструированы и изготовлены человеком вручную или взяты из природы с помощью образцов)
- **Абстрактные** (созданные в форме мысленных образов, существующих лишь в голове исследователя или сформированные в виде формального описания на любом языке)

Подобного же подхода придерживаются специалисты в области математики и кибернетики. Они делят моделирование на две большие группы:

- **Физическое** (модель воспроизводит изучаемый процесс с сохранением изучаемых свойств)
- **Математическое** (модель представляет собой математическое описание объектов моделирования)

Физические модели, которые предполагают, как правило, реальное воплощение тех физических свойств оригинала, которые интересуют исследователя. Физические модели упрощены и меньше оригиналов и обычно называются макетами. Физическое моделирование

иначе называется макетированием. Среди физических моделей наибольшее распространение получили аналоговые модели.

Абстрактные модели представляют собой идеальные конструкции, построенные с помощью сознания путём мышления. Универсальным средством построения абстрактных моделей являются языки. Языки можно разделить на естественные и формальные. Естественные языки возникли эволюционным путём, а формальные рациональным (осознанным). Формальные языки наиболее точны и однозначны. Универсальным формальным языком является математика. Модели построенные на языке математики называются **математическими моделями**. По существу вся математика создана для составления и исследования моделей объектов или процессов.

Создание математической модели преследует две основные цели:

- дать формализованное описание структуры и процесса функционирования системы для однозначности их понимания;

попытаться представить процесс функционирования в виде, допускающем аналитическое исследование системы.

К формальным языкам относятся также все алгоритмические языки, используемые для программирования вычислительных и управляющих машин (компьютеров). Модели построенные на языках программирования и реализованные (интерпретированные) на вычислительных машинах называются **компьютерными моделями**. Иногда математическая модель описывается уравнениями, которые вытекают из рассмотрения физической сущности моделируемого явления или системы. Однако чаще описание моделируемых объектов и систем носит чисто формальный характер и базируется на том, что многие явления порой самой различной природы описываются уравнениями (алгебраическими, дифференциальными и иными) одного и того же вида. В этом случае говорят о формальных моделях.

Кроме того, явления, системы и их модели могут быть стационарными и динамическими.

Динамические модели характеризуются зависимостью их параметров от времени.

У **стационарных моделей** такой зависимости нет. Естественно, что моделирование динамических явлений гораздо сложнее, чем стационарных.

Основные свойства моделей

Модели обладают рядом свойств, от которых зависит успех их применения. Отметим некоторые из них, наиболее важные.

Адекватность – это степень соответствия модели исследуемому реальному объекту. Она никогда не может быть полной. На практике модель считают адекватной, если она с заданной точностью и вероятностью позволяет достичь целей исследования.

Простота (сложность) также является одной из характеристик модели. Чем большее количество свойств объекта описывает модель, тем более сложной она оказывается. Не всегда чем сложнее модель, тем выше ее адекватность. Надо стремиться найти наиболее простую модель, позволяющую достичь требуемых результатов исследования.

Потенциальность (предсказательность) – способность модели дать новые знания об исследуемом объекте, спрогнозировать его поведение или свойства. На основе изучения математических моделей, описывающих движение планет Солнечной системы с учетом закона всемирного тяготения, теоретически были предсказаны существование и орбиты планет Нептун и Плутон.

Цели моделирования

Моделирование может осуществляться с двумя главными целями:

- для изучения механизма явлений (познавательная цель);
- для создания новых объектов или управления ими (прагматическая цель).

В обоих случаях модель создается для определения и прогноза интересующих характеристик или сигналов объекта.

Основные принципы моделирования

Моделирование базируется на нескольких основополагающих принципах:

Принцип информационной достаточности

При полном отсутствии информации об исследуемом объекте построение его модели невозможно. Существует некоторый уровень априорной информации об объекте, при достижении которой может быть построена его адекватная модель.

Принцип осуществимости

Создаваемая модель должна обеспечивать достижение поставленной цели исследования с достаточной вероятностью, существенно отличающейся от нуля.

Принцип множественности моделей

Данный принцип является ключевым. Речь идет о том, что создаваемая модель должна отражать в первую очередь те свойства реальной системы, которые интересуют исследователя, т. е. являются для него актуальными. Соответственно при использовании любой конкретной модели, познаются лишь некоторые стороны реальности. Для более полного ее исследования необходим ряд моделей, позволяющий с разных сторон и с разной степенью детализации рассмотреть исследуемый объект.

Принцип агрегирования

В большинстве случаев сложную систему можно представить состоящей из агрегатов (подсистем), для адекватного математического описания которых оказываются пригодными некоторые стандартные математические схемы.

Принцип параметризации

Этот принцип означает, что модель строится в виде известной системы, параметры которой неизвестны.

Технология моделирования

Степень реализации перечисленных принципов каждой конкретной модели может быть различной. Это зависит не только от желания исследователя, но и от соблюдения им технологий моделирования. А любая технология подразумевает определенную последовательность действий. В настоящее время самой распространенной технологией моделирования является комплексное моделирование, под которым понимается математическое моделирование с использованием средств вычислительной техники. Соответствующие технологии комплексного моделирования представляют выполнение следующих этапов:

1. Определение цели моделирования.
2. Анализ объекта моделирования (оригинала).
3. Разработка концептуальной модели.
4. Формализация модели.
5. Разработка математической модели.
6. Подготовка исходных данных.
7. Выбор метода моделирования.
8. Выбор средств моделирования.
9. Программная реализация модели.
10. Проверка адекватности и корректировка модели.
11. Планирование модельных экспериментов.
12. Реализация плана модельных экспериментов.
13. Анализ и интерпретация результатов моделирования.

Эти этапы соответственно предполагают следующие сферы действия:

Предметно-практическая деятельность и опыт
Познавательная модель
Действительность
Сопоставление
Прогноз
Прагматическая модель
Проект
Познавательная модель
Реализация проекта
Последствия
Сопоставление
Цель
Сценарий реализации

Основными требованиями к моделям являются:

- для познавательной модели – соответствие предсказаний действительности
- для прагматической модели – после реализации проекта достигнутые цели должны соответствовать целям, заложенным в проект.
- решение задач с использованием созданных моделей должно занимать как можно меньше времени, энергии, материалов и т.п.

Требования адекватности и экономичности, предъявляемые к одной и той же модели, обычно противоречат друг другу. Поскольку качество любого объекта проявляется во множестве свойств, которые взаимосвязаны между собой, адекватная модель должна отражать как можно больше свойств. Однако, чем больше свойств отражает модель, тем она сложнее, а значит, тем труднее с ней работать (тем она менее экономична). Всегда строят частные модели, отображающие те или иные свойства объекта, существенные для решения той или иной задачи. Для каждой такой модели существует область применимости (тот набор объектов и свойств, которые описываются моделью адекватно). Границы области применимости в общем случае размыты (какие-то предсказания на основе модели вполне соответствуют действительности, какие-то частично, а какие-то не соответствуют вовсе). Если границы применимости модели известны, они обязательно должны быть указаны.

Из того, что применимость любой модели ограничена, следует, что для более полного описания объекта необходимо использовать несколько моделей. Этот принцип, называемый принципом дополнительности, был впервые сформулирован известным физиком Нильсом Бором для электрона. Согласно этому принципу, для полного описания

квантовомеханических явлений необходимо применять два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий, совокупность которых даёт исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных. Например, дополнительными в квантовой механике являются пространственно-временная и энергетически-импульсная модели.

Таким образом, при моделировании отражаются только свойства, существенные для данной задачи. Ранее мы говорили, что свойства имеют информационную природу, поэтому моделирование – не что иное, как отображение информации, существенной для решения данной задачи. Понять, какая информация существенная, а какая нет – отдельная проблема, общего решения которой не существует.

Литература

1. **Советов, Б. Я.**
Моделирование систем : учебник для академического бакалавриата, для вузов по инженерно-техническим направлениям и специальностям / **Б. Я. Советов, С. А. Яковлев, С.-Петерб. гос. электротехнический ун-т.** – 7-е изд. – М. : Юрайт, 2017. – 343 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-9916-3898-2 .
2. **Бенькович, Е. С.**
Практическое моделирование динамических систем / **Е. С. Бенькович, Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков.** – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 464 с. - ISBN 5-941570-99-6 .
3. **Чхартишвили, Г. С.**
Автоматизированное моделирование динамических систем : учебное пособие по курсу "Моделирование" по направлению "Информатика и вычислительная техника" и специальности САПР / **Г. С. Чхартишвили, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ).** – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 132 с. - ISBN 978-5-383-00176-9 .
4. **Морозов, В. К.**
Моделирование информационных и динамических систем : учебное пособие для вузов по направлению "Автоматизация и управление" / **В. К. Морозов, Г. Н. Рогачев.** – М. : Академия, 2011. – 384 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-4221-3 .
5. **Митрофанов, В. Е.**
Структурное моделирование динамических систем. Сборник лабораторных работ : методическое пособие по курсу "Моделирование систем" по направлению "Автоматизация и управление" / **В. Е. Митрофанов, М. В. Пихлецкий**– М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 40 с. – URL: http://elibrary.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1671 .
6. Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов по направлению 511200 "Математика. Прикладная математика" / **В. Н. Ашихмин, и др.** – М. : Логос, 2007. – 440 с. – (Новая унив. б-ка) . - ISBN 978-5-9870403-7-0 .
7. **Курбатов, П. А.**
Математическое моделирование электромеханических систем электрических аппаратов : учебное пособие по курсам "Математическое моделирование электротехнических объектов", "Моделирование электромагнитных полей", "Механизмы электрических аппаратов" по специальности "Электрические и электронные аппараты" / **П. А. Курбатов,** – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 110 с. - ISBN 978-5-383-00092-2 .