

## **Структура сложной системы**

Специалисты по проектированию и эксплуатации сложных систем имеют дело с системами управления различных уровней, обладающими общим свойством — стремлением достичь некоторой цели.

Система  $S$  — целенаправленное множество взаимосвязанных элементов любой природы.

Внешняя среда  $E$  — множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием.

В зависимости от цели могут рассматриваться разные соотношения между системой  $S$  и внешней средой  $E$ , и могут иметь место различные взаимодействия системы с внешней средой.

Системный подход — это элемент учения об общих законах развития природы и одно из выражений диалектического учения.

При системном подходе к моделированию систем необходимо прежде всего четко определить цель моделирования. Поскольку невозможно полностью смоделировать реально функционирующую систему (систему-оригинал, или первую систему), создается модель (система-модель, или вторая система) под поставленную проблему. Таким образом, применительно к вопросам моделирования цель возникает из требуемых задач моделирования, что позволяет подойти к выбору критерия и оценить, какие элементы войдут в создаваемую модель  $M$ . Поэтому необходимо иметь критерий отбора отдельных элементов в создаваемую модель.

Важным для системного подхода является определение структуры системы — совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие. Структура системы может изучаться извне с точки зрения состава отдельных подсистем и отношений между ними, а также изнутри, когда анализируются отдельные свойства, позволяющие системе достигать заданной цели, т. е. когда изучаются функции системы. В соответствии с этим наметился ряд подходов к исследованию структуры системы с ее свойствами, к которым следует прежде всего отнести структурный и функциональный.

*При структурном подходе* выявляются состав выделенных элементов системы  $S$  и связи между ними. Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о структуре системы. Последняя в зависимости от цели исследования может быть описана на разных уровнях рассмотрения. Наиболее общее описание структуры — это топологическое описание, позволяющее определить в самых общих понятиях составные части системы и хорошо формализуемое на базе теории графов.

*При функциональном подходе* рассматриваются отдельные функции, т. е. алгоритмы поведения системы, и реализуется функциональный подход, оценивающий функции, которые выполняет система, причем под функцией понимается свойство, приводящее к достижению цели. Поскольку функция отображает свойство, а свойство отображает взаимодействие системы  $S$  с внешней средой  $E$ , то свойства могут быть выражены в виде либо некоторых характеристик элементов  $S_{i(j)}$  и подсистем  $S_i$ , системы, либо системы  $S$  в целом.

При наличии некоторого эталона сравнения можно ввести количественные и качественные характеристики систем.

**Для количественной характеристики** вводятся числа, выражающие отношения между данной характеристикой и эталоном.

**Качественные характеристики** системы находятся, например, с помощью метода экспертных оценок.

Проявление функций системы во времени  $S(t)$ , т. е. функционирование системы, означает переход системы из одного состояния в другое, т. е. движение в пространстве состояний  $Z$ . При эксплуатации системы  $S$  весьма важно качество ее функционирования, определяемое показателем эффективности и являющееся значением критерия оценки эффективности. Существуют различные подходы к выбору критериев оценки эффективности. Система  $S$  может оцениваться либо совокупностью частных критериев, либо некоторым общим интегральным критерием.

Создаваемая модель  $M$  с точки зрения системного подхода также является системой, т. е.  $S' = S'(M)$ , и может рассматриваться по отношению к внешней среде  $E$ .

### Классический подход при построения моделей

Подход к изучению взаимосвязей между отдельными частями модели предусматривает рассмотрение их как отражение связей между отдельными подсистемами объекта. Такой (классический) подход может быть использован при создании достаточно простых моделей.

Процесс синтеза модели  $M$  на основе классического (индуктивного) подхода представлен на рис. 1(а). Реальный

объект, подлежащий моделированию, разбивается на отдельные подсистемы, т. е. выбираются исходные данные  $D$  для подходов моделирования и ставятся цели  $C$ , отображающие отдельные стороны процесса моделирования.

По отдельной совокупности исходных данных  $D$  ставится цель моделирования отдельной стороны функционирования системы, на базе этой цели формируется некоторая компонента  $K$  будущей модели. Совокупность компонент объединяется в модель  $M$ .

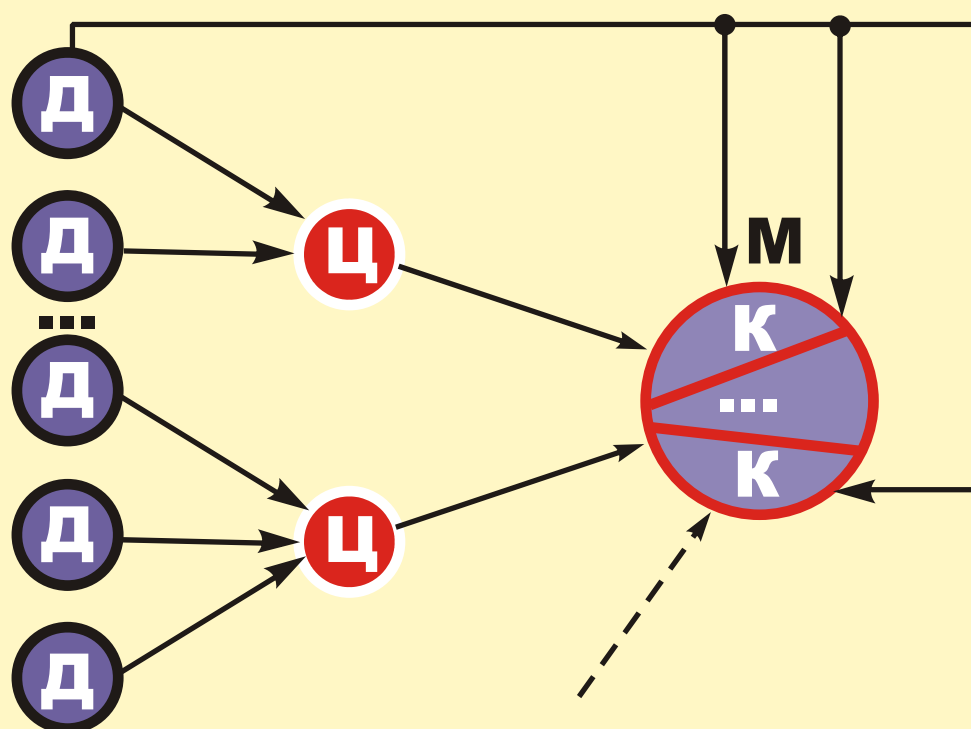


Рис. 1. Процесс синтеза модели на основе классического подхода

Таким образом, разработка модели  $M$  на базе классического подхода означает суммирование отдельных компонент в единую модель, причем каждая из компонент решает свои собственные задачи и изолирована от других частей модели. Поэтому классический подход может быть использован для реализации сравнительно простых моделей, в которых возможно разделение и взаимно независимое рассмотрение отдельных сторон

функционирования реального объекта. Для модели сложного объекта такая разобщенность решаемых задач недопустима, так как приводит к значительным затратам ресурсов при реализации модели на базе конкретных программно-технических средств. Можно отметить две отличительные стороны классического подхода:

- наблюдается движение от частного к общему,
- создаваемая модель образуется путем суммирования отдельных ее компонент и не учитывается возникновение нового системного эффекта.

С усложнением объектов моделирования возникла необходимость наблюдения их с более высокого уровня. В этом случае наблюдатель (разработчик) рассматривает данную систему  $S$  как некоторую подсистему какой-то метасистемы, т. е. системы более высокого ранга, и вынужден перейти на позиции нового системного подхода, который позволит ему построить не только исследуемую систему, решающую совокупность задач, но и создавать систему, являющуюся составной частью метасистемы.

### **Системный подход при построения моделей**

Системный подход получил применение в системотехнике в связи с необходимостью исследования больших реальных систем, когда сказалась недостаточность, а иногда ошибочность принятия каких-либо частных решений. На возникновение системного подхода повлияли увеличивающееся количество исходных данных при разработке, необходимость учета сложных стохастических связей в системе и воздействий внешней среды  $E$ . Все это заставило исследователей изучать сложный объект не

изолированно, а во взаимодействии с внешней средой, а также в совокупности с другими системами некоторой метасистемы.

Системный подход позволяет решить проблему построения сложной системы с учетом всех факторов и возможностей, пропорциональных их значимости, на всех этапах исследования системы  $S$  и построения модели  $M$ .

Системный подход означает, что каждая система  $S$  является интегрированным целым даже тогда, когда она состоит из отдельных разобщенных подсистем. Таким образом, в основе системного подхода лежит рассмотрение системы как интегрированного целого, причем это рассмотрение при разработке начинается с главного — формулировки цели функционирования. Процесс синтеза модели  $M$  на базе системного подхода условно представлен на рис. 2. На основе исходных данных  $D$ , которые известны из анализа внешней системы, тех ограничений, которые накладываются на систему сверху либо, исходя из возможностей ее реализации, и на основе цели функционирования формулируются исходные требования  $T$  к модели системы  $S$ . На базе этих требований формируются ориентировочно некоторые подсистемы  $P$ , элементы  $\mathcal{E}$  и осуществляется наиболее сложный этап синтеза — выбор  $B$  составляющих системы, для чего используются специальные критерии выбора ( $KB$ ).

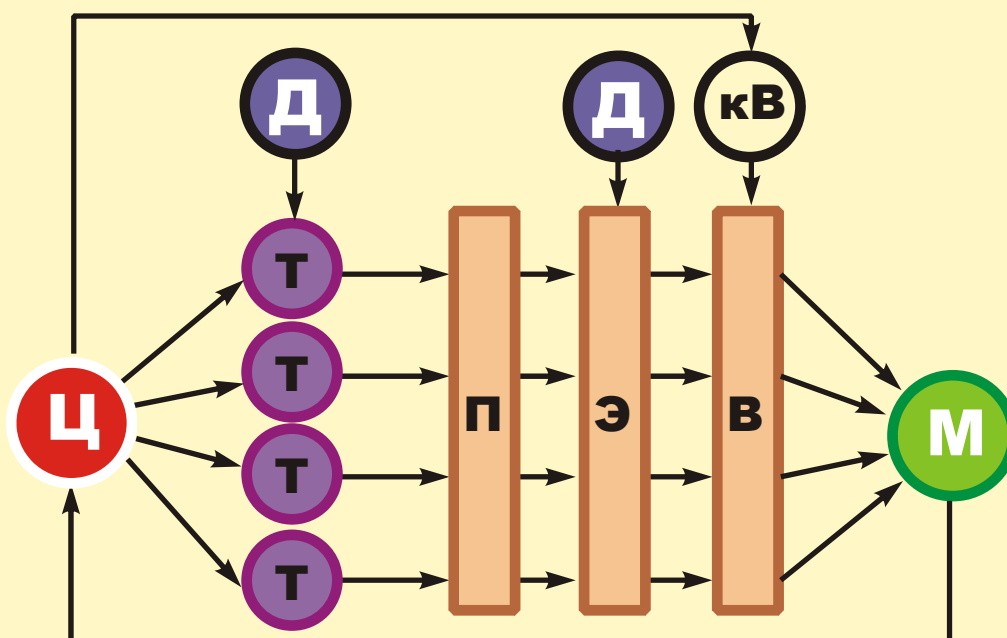


Рис. 2. Процесс синтеза модели па основе системного подхода

При моделировании необходимо обеспечить максимальную эффективность модели системы. Эффективность обычно определяется как некоторая разность между какими-то показателями ценности результатов, полученных в итоге эксплуатации модели, и теми затратами, которые были вложены в ее разработку и создание.

### Стадии разработки моделей

При разработке моделей выделяются две основные стадии проектирования:

1. макропроектирование;
2. микропроектирование.

**На стадии макропроектирования** на основе данных о реальной системе  $S$  и внешней среде  $E$  строится модель внешней среды, выявляются ресурсы и ограничения для построения модели системы, выбирается модель системы и критерии, позволяющие оценить адекватность модели  $M$  реальной системы  $S$ . Построив модель системы и модель внешней среды, на основе критерия эффективности функционирования системы в процессе

моделирования выбирают оптимальную стратегию управления, что позволяет реализовать возможности модели по воспроизведению отдельных сторон функционирования реальной системы  $S$ .

**Стадия микропроектирования** в значительной степени зависит от конкретного типа выбранной модели. В случае имитационной модели необходимо обеспечить создание информационного, математического, технического и программного обеспечений системы моделирования. На этой стадии можно установить основные характеристики созданной модели, оценить время работы с ней и затраты ресурсов для получения заданного качества соответствия модели процессу функционирования системы  $S$ .

Независимо от типа используемой модели  $M$  при ее построении необходимо руководствоваться рядом принципов системного подхода:

- 1) пропорционально-последовательное продвижение по этапам и направлениям создания модели;
- 2) согласование информационных, ресурсных, надежности и других характеристик;
- 3) правильное соотношение отдельных уровней иерархии в системе моделирования;
- 4) целостность отдельных обособленных стадий построения модели.

Модель  $M$  должна отвечать заданной цели ее создания, поэтому отдельные части должны компоноваться взаимно, исходя из единой системной задачи. Цель может быть сформулирована качественно, тогда она будет обладать большей



содержательностью и длительное время может отображать объективные возможности данной системы моделирования. При количественной формулировке цели возникает целевая функция, которая точно отображает наиболее существенные факторы, влияющие на достижение цели.

Построение модели относится к числу системных задач, при решении которых синтезируют решения на базе огромного числа исходных данных, на основе предложений больших коллективов специалистов. Использование системного подхода в этих условиях позволяет не только построить модель реального объекта, но и на базе этой модели выбрать необходимое количество управляющей информации в реальной системе, оценить показатели ее функционирования и тем самым на базе моделирования найти наиболее эффективный вариант построения и выгодный режим функционирования реальной системы  $S$ .

В основе любого вида моделирования лежит некоторая модель, имеющая соответствие, базирующееся на некотором общем качестве, которое характеризует реальный объект. Объективно реальный объект обладает некоторой формальной структурой, поэтому для любой модели характерно наличие некоторой структуры, соответствующей формальной структуре реального объекта, либо изучаемой стороне этого объекта.

Одним из наиболее важных аспектов построения систем моделирования является проблема цели. Любую модель строят в зависимости от цели, которую ставит перед ней исследователь, поэтому одна из основных проблем при моделировании — это проблема целевого назначения. Подобие процесса, протекающего

в модели  $M$ , реальному процессу является не целью, а условием правильного функционирования модели, и поэтому в качестве цели должна быть поставлена задача изучения какой-либо стороны функционирования объекта.

Для упрощения модели  $M$  цели делят на подцели и создают более эффективные виды моделей в зависимости от полученных подцелей моделирования.

Если цель моделирования ясна, то возникает следующая проблема, а именно проблема построения модели  $M$ . Построение модели оказывается возможным, если имеется информация или выдвинуты гипотезы относительно структуры, алгоритмов и параметров исследуемого объекта. На основании их изучения осуществляется идентификация объекта. В настоящее время широко применяют, различные способы оценки параметров: по методу наименьших квадратов, по методу максимального правдоподобия, байесовские, марковские оценки.

Для правильно построенной модели  $M$  характерным является то, что она выявляет лишь те закономерности, которые нужны исследователю, и не рассматривает свойства системы  $S$ , не существенные для данного исследования. Следует отметить, что оригинал и модель должны быть одновременно сходны по одним признакам и различны по другим, что позволяет выделить наиболее важные изучаемые свойства. В этом смысле модель выступает как некоторый «заместитель» оригинала, обеспечивающий фиксацию и изучение лишь некоторых свойств реального объекта.

Характеризуя проблему моделирования в целом, необходимо учитывать, что от постановки задачи моделирования до

интерпретации полученных результатов существует большая группа сложных научно-технических проблем, к основным из которых можно отнести следующие: идентификацию реальных объектов, выбор вида моделей, построение моделей и их машинную реализацию, взаимодействие исследователя с моделью в ходе машинного эксперимента, проверку правильности полученных в ходе моделирования результатов, выявление основных закономерностей, исследованных в процессе моделирования. В зависимости от объекта моделирования и вида используемой модели эти проблемы могут иметь разную значимость.