

СЛАЙД Лекция 2: Инженерное структурирование сложных информационных систем

СЛАЙД План:

1. Модель сложной ИС
2. Компетенции инженерии ИС
3. Составные части ИС: функциональные элементы
4. Составные части ИС: физические компоненты
5. Составные части ИС: типовые элементы

1. Модель сложной ИС

Техника моделирования сложных ИС — один из основных инструментов системной инженерии, особенно в ситуации, когда собрать факты, поддающиеся однозначной интерпретации и имеющие количественное выражение, не получается. В нашем случае мы воспользуемся этой техникой, чтобы описать логическую структуру модели типичной сложной информационной системы в терминах ее составных частей.

Цель такой модели - отобразить относительно простую и понятную архитектуру системы, которая может использоваться как отправная точка при обсуждении разработки новой системы и роли инженерии ИС на протяжении этого процесса. По своим масштабам эта модель не распространяется на суперсистемы или системы систем, но с ее помощью можно описать большинство систем, разрабатываемых путем комплексирования компонентов, приобретаемых на основе договора или соглашения, таких, например, как новый самолет или система управления воздушным движением в зоне аэропорта.

По своей природе сложная информационная система обладает иерархической структурой, в которой можно выделить ряд крупных взаимодействующих элементов, называемых, как правило, подсистемами.

Последние в свою очередь состоят из более простых функциональных объектов ит. д., вплоть до таких примитивных элементов, как шестерня, трансформатор или электрическая лампочка, которые обычно называют деталями.

В число стандартных терминов, применяемых при описании различных архитектурных уровней в структуре системы, входят лишь «*система*» и «*подсистема*» для обозначения самых верхних уровней и «*деталь*» — для самого нижнего.

По причинам, которые станут ясны из дальнейшего, в модели системы, определенной в этой книге, используются еще два промежуточных уровня — *компоненты* и *субкомпоненты*. В некоторых моделях промежуточных уровней может быть на один-два больше, но для нашей цели пяти названных достаточно.

Выделение иерархических уровней в системе. СЛАЙД В таблице иллюстрируется описанная выше характеристика иерархической структуры модели системы. По горизонтали в ней представлены четыре типичные системы, где применяются передовые технологии, а по вертикали — следующие друг за другом все более мелкие уровни разбиения каждой из этих систем.

<i>Системы</i>					
Системы связи	Информационные системы	Система обработки материалов	Аэрокосмические системы		
<i>Подсистемы</i>					
Сигнальные сети	Базы данных	Подготовка материала	Двигатели		
<i>Компоненты</i>					
Приемники сигнала	Информационные индикаторы	Программы баз данных	Передача мощности	Реакторы для обработки материалов	Камеры сгорания
<i>Субкомпоненты</i>					
Усилители сигнала	Электронно-лучевые трубки	Библиотечные утилиты	Блок шестерен	Клапаны с об-ратной связью	Реактивные сопла
<i>Детали</i>					
Трансформатор	Светодиод	Алгоритмы	Шестерни	Муфты	Прокладки

Выше, при описании различных уровней системной иерархии, мы отмечали, что термин «система» в общем случае не следует соотносить с каким-то конкретным уровнем агрегирования или сложности, поскольку система может быть частью более сложного агрегата, или суперсистемы, а подсистему при определенных условиях также можно рассматривать как систему. Для последующего обсуждения мы устраним эту неопределенность, зарезервируем термин «система» только для сущностей, которые:

1. Обладают свойствами комплексной системы.
2. Выполняют важную полезную функцию только с помощью человека (оператора) и стандартных инфраструктур (например, единой энергосистемы, автострады, заправочных станций и линий связи). Такому определению системы удовлетворяют, например, пассажирский самолет, персональный компьютер с обычными периферийными устройствами ввода-вывода и т. д.

Первый из определенных в табл. 3.1 промежуточных уровней системной иерархии с полным основанием называется подсистемой; этот уровень традиционно ассоциируется с крупной частью системы, которая выполняет ряд тесно связанных между собой функций, являющихся подмножеством функций всей системы. Каждая подсистема сама по себе может быть весьма сложной и обладать многими качествами системы за исключением способности выполнять полезную функцию в отсутствие смежных подсистем. Для создания подсистемы обычно используют достижения несколько технических дисциплин (например, электроники и механики).

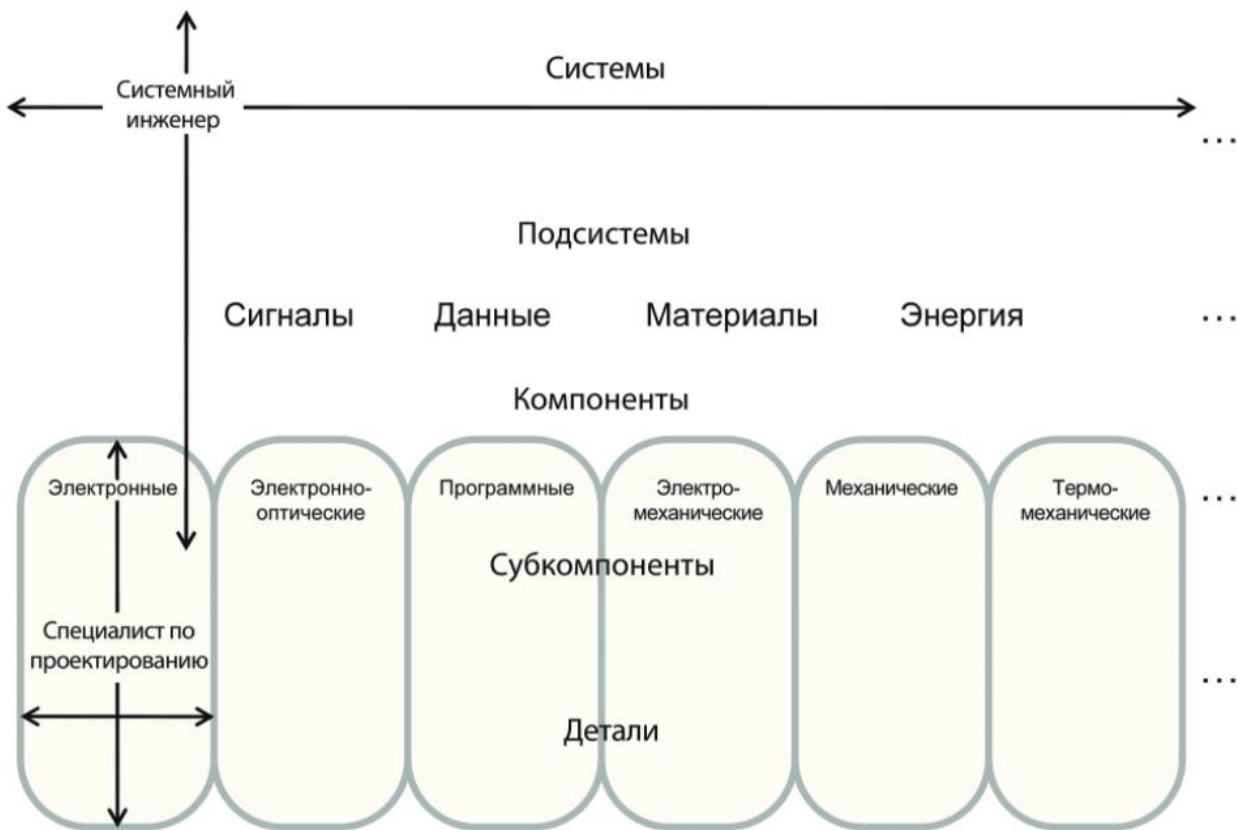
Термин «компонент» обычно применяется к сущностям более низкого уровня, но в этой книге мы будем использовать его для обозначения системных элементов среднего уровня, как показано в табл. 3.1. Компоненты часто соответствуют *элементам конфигурации* (configuration items – CI) в терминологии, используемой в США при закупках для правительственных систем.

На уровне ниже компонентов располагаются субкомпоненты, которые выполняют элементарные функции и состоят из нескольких деталей. Самый нижний уровень – детали – представляет элементы, которые способны к выполнению какой-либо значимой функции только в сочетании с другими деталями. Для большинства деталей имеются стандартные типоразмеры, и обычно эти детали можно приобрести в коммерческом порядке¹.

2. Компетенции инженерии ИС

Основываясь на описанной выше иерархической структуре комплексных систем, можно определить области компетенции как системного инженера, так и специалиста по проектированию. Системные компоненты промежуточного уровня занимают центральное место в процессе разработки системы; они представляют собой элементы, которые по большей части создаются специалистами по промышленному проектированию, способными адаптировать их для конкретной цели исходя из заданных технических требований. Но спецификация технических требований, особенно в части определения функциональных возможностей и совместимости интерфейсов, – задача системной инженерии. Это означает, что системный инженер должен быть осведомлен о ключевых характеристиках компонентов, составляющих систему. Причем эти знания, получаемые в значительной степени в ходе диалога и взаимодействия со специалистами по проектированию, должны позволить системному инженеру выбрать наиболее подходящие типы компонентов, а также определить их функции и способы сопряжения с другими компонентами.

Области компетенций, соответствующие деятельности системного инженера и специалиста по проектированию, показаны на *слайде* с учетом описанной выше иерархии в системах. Видно, что знания, необходимые системному инженеру, охватывают самый верхний уровень – систему и ее окружение – и простираются до среднего уровня основных составных частей системы или компонентов. В то же время знания, необходимые проектировщику, простираются от самого нижнего уровня (детали) до уровня компонентов; именно здесь эти две области компетенций «перекрываются». Именно на этом уровне системный инженер должен эффективно взаимодействовать с проектировщиками – выявлять и обсуждать технические проблемы и выработать работоспособные решения, которые не подвергают риску ни процесс проектирования системы, ни ее возможности в целом.



Ис. 3.1. Области компетенции системного инженера и специалиста по проектированию

Горизонтальные границы областей намеренно показаны стрелками, уходящими в бесконечность; тем самым подчеркивается, что эти области расширяются в зависимости от состава конкретной системы. Если некоторый субкомпонент или деталь оказываются критичными для работы системы (например, печально известная изоляционная прокладка в ракете-носителе «Челленджера»), то системный инженер должен быть готов изучить дополнительный материал о поведении данного элемента в объеме, достаточном для оценки потенциального влияния на систему в целом. Так часто бывает в случае разработки высокопроизводительных механических и термомеханических устройств, например турбин и компрессоров. Наоборот, если указанная в спецификациях функция конкретного компонента предъявляет необычные требования к его конструкции, специалист по проектированию должен обратиться к системному инженеру с предложением пересмотреть допущения системного уровня, обусловившие эти требования.

3. Составные части ИС: функциональные элементы

Описанная модель системы представляет системным инженерам простую методику разбиения системы на части в соответствии с функциональными и физическими признаками, а именно: сначала следует осмыслить различные аспекты функционирования системы, а затем построить иерархию ее физических элементов. Каждое описание системы, как функциональное, так и физическое, можно посредством декомпозиции разложить на элементы. Ниже приведены описание обеих категорий составных частей системы и рекомендованный набор элементов, который следует использовать при описании компонентов каждого типа.

Функциональные составные части: функциональные элементы

Среда, в которой функционируют системы, включает три основных сущности:

1. *Информация* – содержание любого знания и сообщения.
2. *Вещество* – субстанция, из которой состоят все физические объекты.
3. *Энергия*, которая приводит в работоспособное состояние и движение все активные компоненты системы.

Поскольку любая функция системы связана с целенаправленным изменением характеристик одной или нескольких указанных сущностей, то последние можно считать естественной основой для классификации основных функциональных узлов системы. Поскольку элементы, имеющие дело с информацией, используются для реализации системных функций как минимум вдвое чаще, чем элементы, имеющие дело с материей и энергией, их удобно разделить на два класса: 1) элементы, имеющие дело с передачей информации (например, радиосигналами), которые мы будем называть *сигнальными элементами*, и 2) элементы, имеющие дело со стационарной информацией (например, компьютерными программами), которые мы будем называть *информационными элементами*. Первый класс элементов ассоциируется прежде всего с получением и передачей данных, второй – с процессами анализа и принятия решений. В результате получаем четыре класса функциональных элементов системы:

1. *Сигнальные элементы*, которые служат для получения и передачи информации.
2. *Информационные элементы*, которые служат для интерпретации и упорядочения информации, а также для управления ей.
3. *Материальные элементы*, которые служат для формирования структуры и преобразования материалов.
4. *Энергетические элементы*, которые служат для обеспечения энергией или движущей силой.

Чтобы читатели составили более наглядное представление об особенностях проектирования каждого из этих четырех обширных классов функциональных элементов, мы выделили набор характерных функциональных элементов, которые могут проиллюстрировать большинство важнейших типов в каждом классе.

Желая получить согласованный и достаточно представительный набор элементов, не слишком простых и не слишком сложных, а также имеющих широкую область применения, мы определили три критерия отбора:

1. *Значимость*. Каждый функциональный элемент должен выполнять особую и важную функцию, как правило, включающую несколько элементарных операций.
2. *Уникальность*. Каждый функциональный элемент должен принадлежать по преимуществу к технической области отдельной инженерной дисциплины.
3. *Унифицированность*. Функция, выполняемая элементом, должна использо-

ваться во множестве систем.

Стоит отметить, что для физической реализации отдельно взятого функционального элемента вне зависимости от его основной функции и принадлежности к определенному классу нужен какой-то материал; этот элемент, как правило, управляется на основе информации, полученной от внешних источников, а кроме того, нуждается в подключении к электрической сети или какому-либо другому источнику энергии. Так, телевизионный приемник, основная функция которого – преобразовывать информацию, получаемую в виде радиосигнала, в телевизионное изображение и звук, сделан из определенных материалов, питается от электрической сети и управляется с помощью информационных воздействий, стимулируемых пользователем. Поэтому следует ожидать, что в большинстве элементов любых классов будут информационные и энергетические входы, помимо основных входов и выходов, определяемых функцией обработки.

Таблица 3.2. Функциональные элементы системы

Функция класса	Функция элемента	Применения
<i>Обращение с сигналом</i> – генерация, передача, распределение и прием сигналов для использования при активном или пассивном приеме и в средствах связи	Ввод сигнала Передача сигнала Преобразование сигнала Прием сигнала Обработка сигнала Формирование выходного сигнала	Телевизионная камера Радиопередатчик с ЧМ Радиолокационная антенна Радиоприемник Устройство обработки изображений
<i>Обращение с данными</i> – анализ, интерпретация, структурирование, запрос и/или преобразование данных и информации к видам, необходимым другим системам или пользователю	Ввод данных Обработка данных Управление данными Обработка данных Хранение данных Вывод данных Отображение данных	Клавиатура Процессор компьютера Операционная система Текстовый процессор Принтер
<i>Обращение с веществом</i> – формирование структурной основы или корпуса системы, а также изменение формы, состава или положения материальной субстанции	Конструкционный материал Хранение материалов Вступление материалов в реакцию Придание материалу формы Соединение материалов Контроль позиционирования	Планер самолета Грузовой контейнер Автоклав Фрезерный станок Сварочный аппарат Сервопривод
<i>Обращение с энергией</i> – обеспечение системы энергией или движущей силой, преобразование энергии из одного вида в другой	Генерация тяги Генерация крутящего момента Генерация электричества Поддержание температуры Контроль движения	Турбореактивный двигатель Поршневой двигатель Солнечная батарея Холодильник Автоматическая коробка передач

Таким образом, мы получаем набор из 24 функциональных элементов, по пять-шесть в каждом классе. Они перечислены в среднем столбце табл. 3.2. Функция класса как целого показана в левом столбце, а примеры применения конкретных элементов – в правом. Следует отметить, что эта классификация не абсолютна, а призвана лишь послужить в качестве систематической логической основы для обсуждения свойств систем на уровнях, важных для системного инженера.

В принципе, функциональную схему любой системы можно построить путем мысленного сочетания и связывания хорошо известных функциональных элементов и, возможно, одного-двух узкоспециализированных элементов, выполняющих уникальные функции при определенных условиях применения системы, таким образом, чтобы желательные возможности системы были логически связаны с имеющимися входными воздействиями. По сути дела, воздействия, подаваемые на входы системы, преобразуются и обрабатываются взаимосвязанными функциональными элементами, так чтобы на выходе были получены желаемые результаты.

4. Составные части ИС: физические компоненты

Физические составные части системы представляют собой материальное воплощение функциональных элементов, состоящее из аппаратных и программных средств. Следовательно, у них имеются те же самые отличительные свойства значимости, уникальности и унифицированности и располагаются они на том же уровне системной иерархии – обычно на один уровень ниже типичной подсистемы и на два уровня выше деталей. Мы будем называть их *компонентными элементами* или просто *компонентами*.

Классификация составных частей-компонентов основана на различных дисциплинах, связанных с проектированием, а также на технологиях, которые в них задействованы. В целом мы выделили 31 тип компонентов, поделенных на шесть категорий, как показано в табл. 3.3. Здесь мы видим список категорий, компонентов и ассоциированных с ними функциональных элементов. Как и в случае с функциональными элементами, название компонента отражает его основную функцию, однако при этом обозначает скорее вещь, а не процесс. Многим компонентам соответствуют широко распространенные устройства.

Таблица 3.3. Конструктивные компоненты

Категория	Компоненты	Функциональный элемент (функциональные элементы)
Электронные	Приемник	Прием сигнала
	Передачик	Передача сигнала
	Блок обработки данных	Обработка данных
	Блок обработки сигналов	Обработка сигнала
	Процессор передачи данных	Обработка сигнала/данных
	Специальное электронное оборудование	Разные
Электронно-оптические	Оптический датчик	Ввод сигнала
	Оптическое запоминающее устройство	Хранение данных
	Устройство отображения	Формирование выходного сигнала/данных
	Высокоэнергетическое оптическое устройство	Придание формы материалу
	Фотоэлектрический генератор	Генерация электричества
Электромеханические	Инерционный прибор	Ввод данных
	Электрогенератор	Генерация электричества
	Устройство хранения данных	Хранение данных
	Преобразователь	Преобразование сигнала
	Устройство ввода-вывода данных	Ввод-вывод данных
Механические	Несущая конструкция	Конструкционный материал
	Контейнер	Хранение материалов
	Машина для обработки материалов	Придание формы материалу/соединение материалов
	Реакционный аппарат	Вступление материалов в реакцию
	Устройство для преобразования энергии	Контроль движения
Термомеханические	Роторный двигатель	Генерация крутящего момента
	Реактивный двигатель	Генерация тяги
	Нагревательное устройство	Контроль температуры
	Охлаждающее устройство	Контроль температуры
	Специальный источник энергии	Генерация электричества
Программные	Операционная система	Система управления
	Приложение	Управление обработкой данных
	Вспомогательное ПО	Управление обработкой данных
	Встроенное ПО	Система управления

Задача системного инженера состоит в реализации функциональных элементов с помощью компонентов. Для решения этой задачи необходимо принимать во внимание факторы, отличные от тех, которые первоначально учитывались при разработке функционального проекта. Здесь на первый план выходят надежность, форма, допуски и посадки, совместимость с условиями эксплуатации, удобство обслуживания, возможность изготовления, контролепригодность, безопасность и стоимость, а также требование, чтобы конструктивные решения не вступали в противоречие с функциональным проектом. Системный инженер должен разбираться в конструкции отдельных компонентов настолько глубоко, чтобы понять, как эти факторы влияют на систему в целом и как устранить потенциальные риски, конфликты и прочие проблемы.

Необходимая широта и природа таких знаний существенно зависят от типа и состава системы. Системный инженер, имеющий дело с информационной

системой, скорее сосредоточится на деталях ее программного обеспечения и пользовательского интерфейса, чем на внешних аспектах аппаратных компонентов, которые обычно стандартны (хотя интерфейсам компонентов всегда должно уделяться пристальное внимание). На другом полюсе находится аэрокосмическая система, например самолет, которая состоит из сложного и, как правило, нестандартного набора оборудования и программ, работающих в весьма динамичной и зачастую неблагоприятной среде. Поэтому занимающийся ею инженер должен разбираться в конструкции компонентов системы на значительно более детальном уровне, чтобы избежать потенциально рискованных проектных решений, прежде чем они снизят надежность, усложнят изготовление или создадут другие проблемы на различных стадиях разработки, испытания и эксплуатации изделия.

5. Составные части ИС: типовые элементы

Изучение иерархической структуры разнообразных систем приводит к важному, но нечасто принимаемому в расчет наблюдению: существует промежуточный уровень типов элементов, встречающихся в самых разных системах. Такие устройства, как приемники сигналов, индикаторы данных, генераторы крутящего момента, контейнеры и другие, выполняют функции, важные для многих систем. Обычно линейки этих устройств разрабатываются коммерческими фирмами для открытого рынка, но могут быть изготовлены и под заказ в соответствии с техническими требованиями к сложной системе. В табл. 3.1 подобные элементы располагаются на третьем или среднем уровне и обобщенно именуется компонентами.

Можно считать, что существование отдельного набора составных частей промежуточного уровня продиктовано условиями возникновения сложных систем, обсуждавшимися в главе 1, а именно: 1) техническим прогрессом, 2) конкуренцией и 3) специализацией. Технические достижения, как правило, имеют место на базовых уровнях: разработка полупроводников, композитных материалов, светодиодов, графических интерфейсов пользователя и т. д. Из-за высокого уровня специализации подобные достижения применяются главным образом в устройствах, которые могут быть спроектированы и изготовлены людьми и организациями, специализирующимися на продукции определенного вида. Конкуренция, являющаяся двигателем технического прогресса, также отдает предпочтение специализации на конкретных линейках продуктов. Результат предсказуем – изобилие передовых, универсальных изделий, для которых можно найти широкий рынок (а значит, снизить стоимость), то есть применять их в разнообразных системах. В настоящее время при разработке систем оборонного назначения делается упор на адаптацию готовых к непосредственному использованию коммерческих¹ компонентов всюду, где это оправданно с практической точки зрения, что позволяет сэкономить средства благодаря масштабу рынка коммерческих компонентов.

¹ Концепция готовых к непосредственному использованию коммерческих продуктов (commercial off-the-shelf (COTS) products) начала активно разрабатываться в 90-х годах XX века. Под COTS-продуктами принято понимать продукты, которые изготавливаются, продаются, арендуются или лицензируются для широкого потребления, предлагаются продавцом для получения прибыли, поддерживаются и развиваются продавцом, сохраняющим за собой права интеллектуальной собственности, доступны во множестве идентичных копий и могут быть непосредственно, без модификации, использованы в проекте. – *Прим. ред.*

Возвращаясь к табл. 3.1, отметим, что при движении вверх по иерархии элементов системы значимые функциональные возможности появляются у элементов, лежащих посредине иерархии и выше, – иными словами, на уровне компонентов; данная особенность характерна для широкого круга различных систем. По этой причине типы элементов, обозначенные в таблице как компоненты, называются базовыми составными частями системы. Таким образом, для эффективной работы системный инженер должен обладать фундаментальными знаниями в области функциональных и физических характеристик этих повсеместно применяемых системных составляющих. Чтобы облегчить читателю построение концептуальной основы для приобретения элементарной базы знаний о составных частях систем, мы предложили ряд моделей, где представлены часто встречающиеся системные компоненты. Этот раздел посвящен происхождению, классификации, взаимосвязям и типичным примерам некоторых составных частей системы.

Применение составных частей системы

Описанная выше модель составных частей системы может быть полезной в нескольких отношениях:

1. Выделение четырех классов функциональных элементов (сигнальные, информационные, материальные и энергетические функциональные элементы) может подсказать, что лучше предпринять для достижения необходимого результата работы.
2. Идентификация классов функций, которые должна выполнять система, помогает сгруппировать подходящие функциональные элементы в подсистемы, тем самым упростив функциональную декомпозицию и функциональное описание.
3. Идентификация отдельных функциональных составных частей может помочь в определении природы интерфейсов внутри одной подсистемы и между подсистемами.
4. Знание взаимосвязи между функциональными элементами и их физическим воплощением может помочь при визуализации физической архитектуры системы.
5. Часто встречающиеся примеры составных частей системы могут подсказать, какие технологии (в том числе и альтернативные) лучше всего подходят для их реализации.
6. Тем, кто специализируется на программном обеспечении и не знаком с техникой, наличие относительно простой структуры, состоящей из четырех классов функциональных элементов и шести классов физических компонентов, поможет привести знания об оборудовании в стройную систему.