

лекция 5 *Сложность инженерии в современных системах*

План:

1. Характеристика понятия "системы систем"
2. Инженерия систем масштаба предприятия

1. Характеристика понятия "системы систем"

По мере возрастания сложности современных систем растут также количество, разнообразие и сложность подсистем, компонентов и деталей, то есть объектов, находящихся на более низких уровнях системной иерархии.

Более того, растет и сложность взаимодействий между ними. Принципы системной инженерии и практика их применения ориентированы на борьбу с этим усложнением.

Все чаще встречаются отдельные системы, которые уже являются или могут стать частью объекта больших масштабов. Хотя ныне в ходу много терминов, описывающих понятие суперсистемы, термин «система систем» распространен особенно широко. Но в литературе можно встретить и альтернативные термины – одни означают в точности то же самое, другие – нечто иное.

В этом разделе мы кратко познакомимся с инженерией сущностей, которые считаются расположенными «выше» или более сложными, чем отдельные системы, – *системами систем* и *системами предприятия*.

Нам будут интересны два определения термина «система систем» (system of systems – SoS); оба пришли из Министерства обороны США. Первое самое простое:

Набор или упорядоченная совокупность систем, возникающая в результате комплексирования независимых и пригодных к работе систем в более крупную систему, обладающую новыми возможностями.

По сути дела, всякий раз, когда ряд независимых и пригодных к работе систем объединяется для приобретения возможностей, выходящих за пределы суммы возможностей отдельных систем, мы получаем систему систем. Разумеется, уровень комплексирования может существенно различаться. На одном конце спектра находятся SoS, полностью интегрированные на самых ранних стадиях разработки, когда отдельные системы, хотя и способные функционировать независимо, проектировались чуть ли не исключительно для SoS. На другом конце мы встречаем системы, слабо связанные для временного решения локальной задачи без каких-либо формальных оснований, кроме согласия своих владельцев. Поэтому для полноценного описания различных нюансов SoS необходима методика, позволяющая охватить весь спектр комплексирования.

В 2008 году Министерство обороны США выпустило руководство по системной инженерии специально для SoS, в котором было выделено четыре категории подобных систем. Они представлены в порядке возрастания связанности составляющих систем – от слабо до сильно связанных:

- *Виртуальная.* В виртуальной SoS нет центрального пункта управления и единой согласованной цели. Поведение, характерное для крупномасштабных систем вероятно и, возможно, даже желательно, но предполагается, что в SoS такого типа для его поддержания должны использоваться сравнительно слабо выраженные механизмы.
- *Коллаборативная.* Входящие в состав коллаборативной SoS отдельные системы взаимодействуют на более или менее добровольной основе для достижения согласованных общих целей. Стандарты применяются, но нет никакого центрального органа, который контролировал бы их соблюдение. Основные игроки сообщества решают, нужно ли предоставлять (и если нужно, то как предоставлять) обслуживание, обеспечивая тем самым некоторую степень следования стандартам регулирования и обслуживания.
- *Общепризнанная.* У общепризнанной SoS имеются осознанные цели, назначенный руководитель и выделенные ресурсы. Однако у составляющих ее систем по-прежнему есть независимые владельцы, цели, финансирование, подходы к разработке и обеспечению функционирования. Для внесения изменений в каждую отдельную систему необходимо добровольное сотрудничество между ней и SoS.
- *Целевая.* Целевыми называются интегрированные SoS, которые создаются и управляются для достижения конкретных целей. Они централизованно управляются на протяжении длительного срока службы для выполнения как ранее поставленных, так и новых задач, которые могут представлять интерес для владельцев системы. Составляющие системы сохраняют возможность работать независимо, но в нормальном режиме их работа подчинена общей цели.

Можно возразить, что целевую SoS в вышеописанном смысле скорее стоит рассматривать как одну сложную систему, нежели систему систем; однако данные определения охватывают весь спектр имеющихся на сегодняшний день ситуаций, когда системы комплексированы для выполнения функции или обладания возможностью, которой не предоставит ни одна отдельно взятая система.

Подходы к разработке и созданию архитектуры для SoS и отдельной системы отличаются, особенно в том, что касается второй и третьей из перечисленных категорий.

Отличия инженерии системы систем обусловлены особыми характеристиками SoS:

1. *Эксплуатационная независимость отдельных систем.* SoS состоит из систем, которые независимы и пригодны к работе по отдельности. Если разобрать SoS на составляющие системы, то каждая сможет выполнять полезные функции независимо от остальных.
2. *Административная независимость отдельных систем.* Системы, составляющие SoS, не только способны функционировать независимо, но, вообще говоря, так и работают ради достижения поставленной цели. Часто они приобретаются и комплексируются по отдельности и продолжают непрерывно поддерживать свое существование и выполнять свои функции, которые могут отличаться от функций, назначенных SoS.
3. *Территориальная распределенность.* Нередко системы, входящие в состав SoS, находятся далеко друг от друга и могут обмениваться между собой только информацией и знаниями.
4. *Эмерджентное поведение.* SoS выполняет функции и преследует цели, не обязательно свойственные какой-либо из входящих в ее состав систем. Подобное эмерджентное поведение свойственно SoS в целом и не характерно ни для одной из входящих в нее отдельных систем¹.
5. *Эволюционное развитие.* Разработка SoS обычно ведется эволюционно. Компоненты структуры, функции и цели добавляются, удаляются и изменяются по мере накопления опыта работы с системой. Таким образом, создание типичной SoS никогда нельзя считать полностью завершенным.

Со временем эти характеристики подвергались уточнениям. И хотя уточнения не затронули приведенные выше основные характеристики, все же были добавлены два важных свойства.

1. *Самоорганизация.* SoS имеет динамическую организационную структуру, способную реагировать на изменения в окружении и изменения поставленных целей и задач.

2. *Адаптация.* Как и развивающаяся организация, сама структура SoS может быть динамичной и реагировать на внешние изменения и восприятие среды.

Инженерия коллаборативной или общепризнанной SoS должна учитывать все семь основных характеристик SoS. Поэтому базовых инструментов системной инженерии может оказаться недостаточно. В связи с этим для инженерии таких сложных структур были разработаны (и продолжают разрабатываться) дополнительные методы, инструменты и практические приемы.

Некоторые из этих инструментов заимствованы из других разделов математики и инженерии, таких как теория сложности. Свойства, подобные эмерджентности, самоорганизации и адаптации, изучались в рамках данной теории, и были разработаны средства и методы представления внутренне присущей этим свойствам неопределенности. Проблема в том, как сделать математический аппарат достаточно простым для применения в системной инженерии.

Среди других областей, в которых и по сей день ведутся исследования, связанные с инженерией системы систем, можно назвать социальную инженерию, динамику поведения человека и хаотические системы (теорию хаоса).

2. Инженерия систем масштаба предприятия

Инженерия системы систем по своей природе увеличивает сложность разработки отдельных систем. Однако это еще не высший уровень сложности. Вспомним таблицу, где была представлена иерархия с системой на вершине.

<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

Ее можно расширить, добавив систему систем и стоящее еще выше предприятие – получим ПИРАМИДУ ИЕРАРХИИ СИСТЕМ



Над SoS расположено предприятие, которое, как правило, включает несколько SoS. Более того, предприятие может состоять из разнотипных систем, необязательно физических. Например, предприятие включает системы, состоящие только из людей или социальные системы, которые необходимо комплексировать с физическими системами.

Формально предприятие определяется как «образование, состоящее из людей, процессов, технологий, систем и других ресурсов, распределенных организационно и территориально и взаимодействующих между собой и с окружением для достижения общей цели или решения общей задачи». Уровень взаимодействия между этими сущностями может меняться, как и состав SoS. Приведенному определению отвечает много сущностей, в том числе почти все средние и крупные организации. На самом деле структурные подразделения некоторых крупных корпораций сами являются предприятиями в вышеописанном смысле.

Подпадают под это определение также правительственные агентства и министерства, а равно крупные социальные и физические структуры, например города и государства.

Сложность инженерии систем масштаба предприятия обусловлена прежде всего необходимостью комплексирования разнородных системы и процессов. Типичное предприятие включает следующие компоненты, которые необходимо объединить в условиях присущей современному предприятию неопределенности:

- стратегия бизнеса и стратегическое планирование;
- бизнес-процессы;
- службы предприятия;
- административное управление;
- технические процессы;
- управление людьми и их взаимодействиями;
- управление знаниями;
- информационно-технологическая инфраструктура и инвестиции в нее;
- управление основными средствами и оборудованием;
- управление запасами;
- управление данными и информацией.

Под инженерией систем масштаба предприятия (enterprise systems engineering) понимается применение принципов и практических приемов системной инженерии к инженерии систем, входящих в состав предприятия. Данный термин обозначает разработку отдельных составляющих систем предприятия. Появился также еще один, более широкий термин, в котором отсутствует слово «система» – инженерия масштаба предприятия (enterprise engineering). Обычно под этим понимается разработка архитектуры предприятия, а также разработка, реализация и эксплуатация предприятия как целого. Некоторые авторы пользуются вышеприведенными терминами как синонимами, однако в действительности они относятся к разным уровням абстракции.

Причина, по которой инженерия систем масштаба предприятия оказывается сложнее инженерии SoS, заключается в том, что многие компоненты предприятия насчитывают одну или несколько SoS. Поэтому предприятие можно было бы рассматривать как результат комплексирования многих SoS.

Так же как и для инженерии системы систем, ведется активная разработка инструментов, методов и приемов для этой сравнительно молодой области.