



Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра автоматики і управління в технічних системах

Дисципліна «Системна інженерія»

<http://do.ipk.kpi.ua/>

Семестр 6.

Розділ 1.

Тема 1-3. Структура складних систем.

Викладач: Сокульський Олег Євгенович –
старший викладач кафедри автоматики і управління в технічних
системах, кандидат технічних наук

Київ, 2019

Умовні скорочення

скорочення	повна назва

План лекції:

1. Складові частини і інтерфейси системи.
2. Ієрархія складних систем.
3. Складові частини системи.
4. Оточення системи.
5. Інтерфейси і взаємодії.
6. Складність в сучасних системах.

1. Складові частини і інтерфейси системи.

Так як системному інженеру для розробки складної системи необхідні широкі пізнання в декількох взаємопов'язаних областях, виникає питання, наскільки глибокі повинні бути ці знання. Зрозуміло, вони не можуть бути настільки ж глибокими, як у фахівця, все життя працював у відповідній області. Але все ж їх повинно бути досить, щоб усвідомити такі фактори, як програмні та проектні ризики, технологічні обмеження, вимоги, що пред'являються з боку інтерфейсів, а також провести аналіз компромісів при виборі проектних альтернатив.

МЫСЛИТЕЛЬ

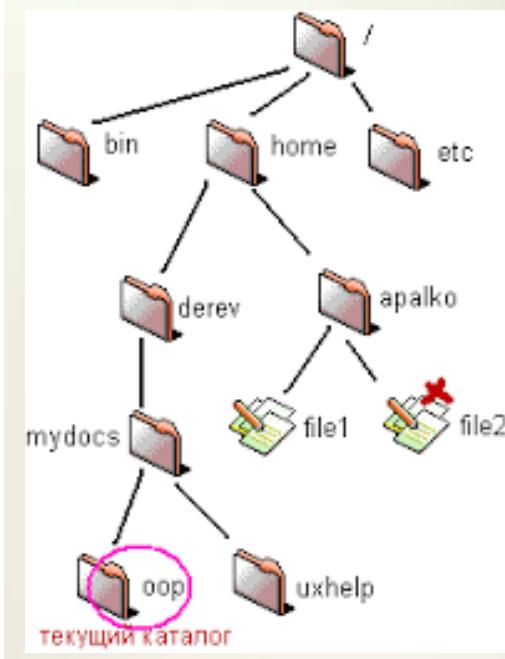
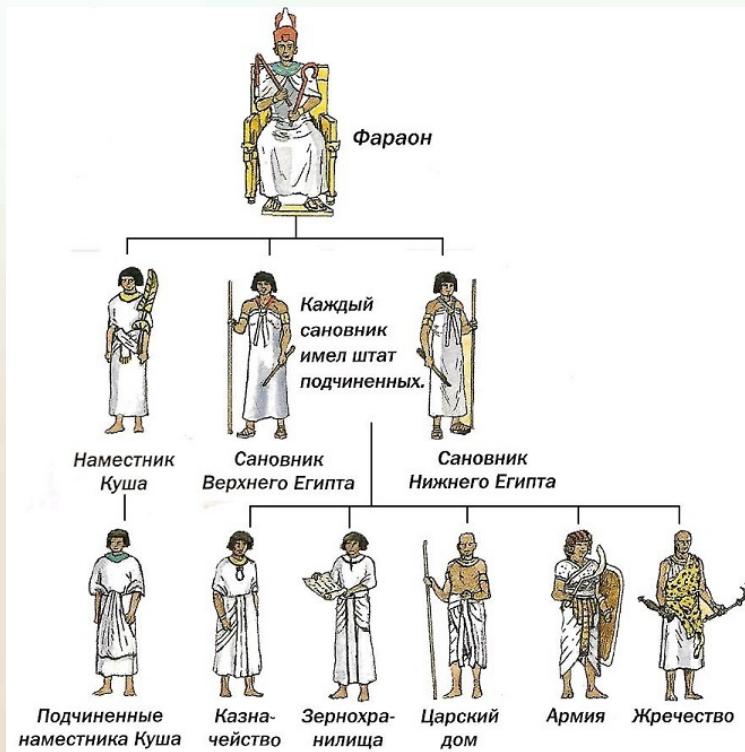
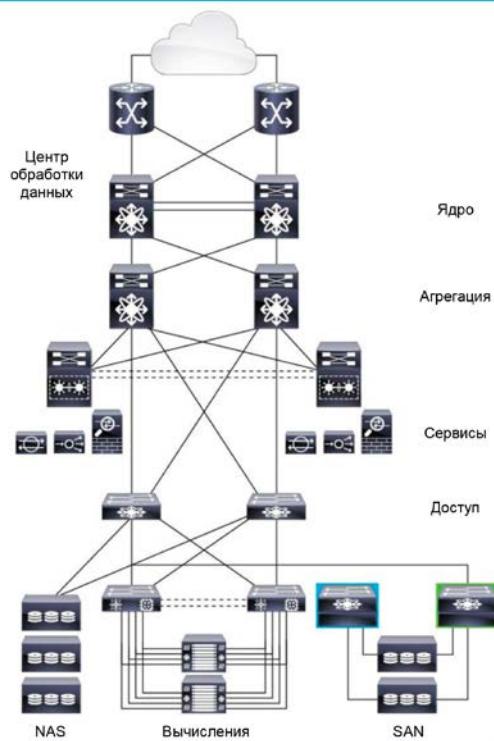


VS

ЭРУДИТ

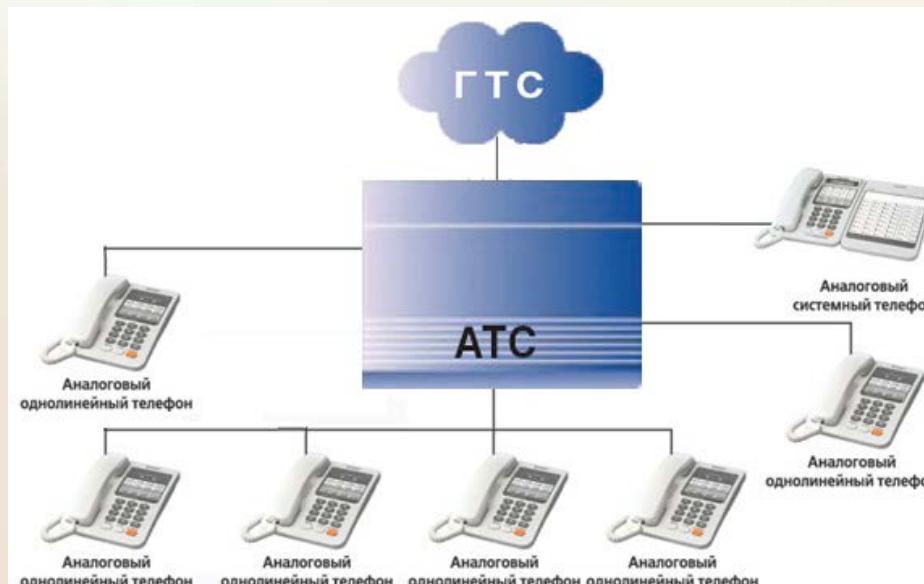


Очевидно, що відповідь на питання, поставлене вище, залежить від ситуації. Однак можна зробити важливі висновки, дослідивши ієрархічну структуру сучасних систем. Подібне дослідження виявить типові складові частини, які зустрічаються в більшості систем і визначають мінімально придатний для роботи рівень технічних знань, якими повинен володіти системний інженер для того, щоб виконувати свою роботу. На цьому рівні знаходять компроміс щодо технічних можливостей системи і вирішують конфлікти на рівні інтерфейсів, щоб домогтися збалансованого проектного рішення щодо системи в цілому. Далі ми обговоримо природу цих складових частин в контексті їх уявлення як основних елементів системи, а також їх інтерфейси і взаємозв'язку.

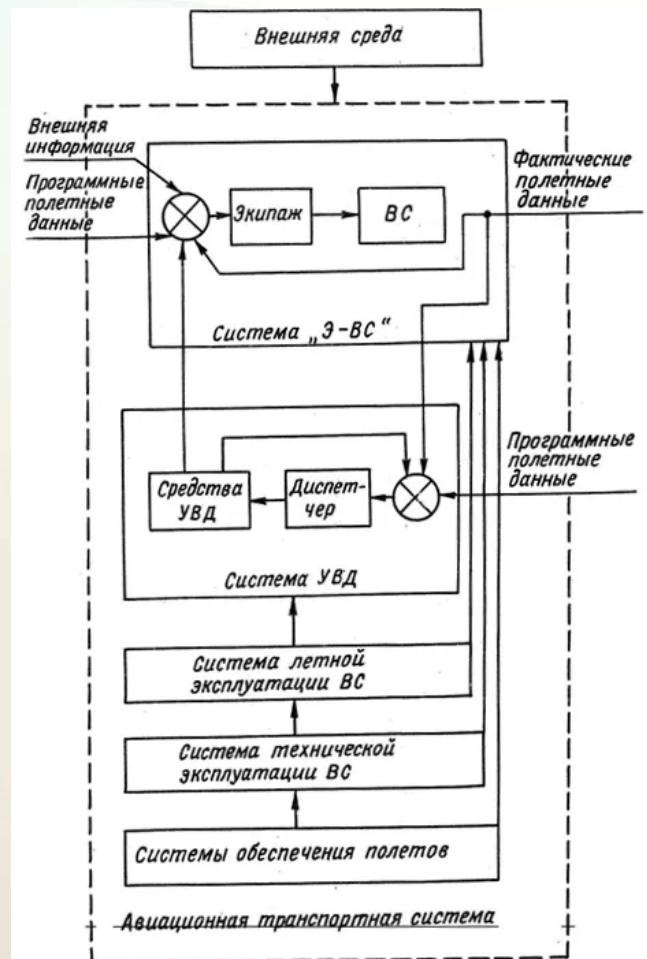
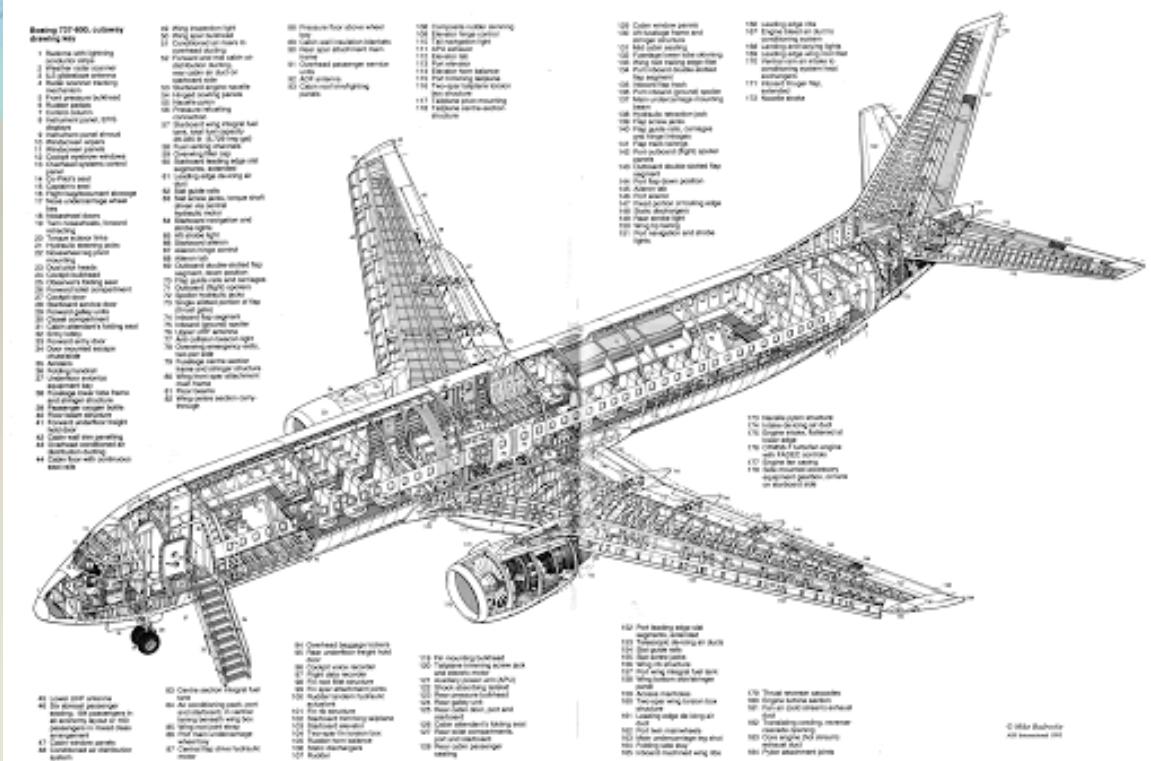


2. Ієрархія складних систем.

Щоб усвідомити собі, чим займається системна інженерія і що повинен вивчити системний інженер для виконання своїх обов'язків по управлінню розробкою складної системи, необхідно визначити межі та структуру подібної системи в загальному випадку. При цьому визначення система по суті своїй може бути застосовано до різних рівнів агрегування складно взаємодіючих елементів. Наприклад, автоматична телефонна станція (АТС), лінії якої тягнуться до обслуговуваних будовам, з повною підставою може бути названа системою. Комутатори в готелях і офісних будівлях зі своїми місцевими лініями можна назвати підсистемами, а телефонні апарати - компонентами системи. У той же час АТС можна розглядати як підсистему системи міського телефонного зв'язку, а останню, в свою чергу, - як підсистему системи національної телефонного зв'язку.



Інший приклад - пасажирський авіалайнер, безумовно, заслуговує назви системи, підсистемами якої є планер, двигуни, органи управління і т.д. Але авіалайнер можна також назвати підсистемою системи повітряного транспорту, яка включає аеродром, авіадиспетчерську службу та інші елементи інфраструктури, в рамках якої функціонує лайнер. Тому часто говорять, що будь-яка система є підсистемою будь-якої системи більш високого рівня, і, навпаки, будь-яку підсистему можна розглядати як самостійну систему.

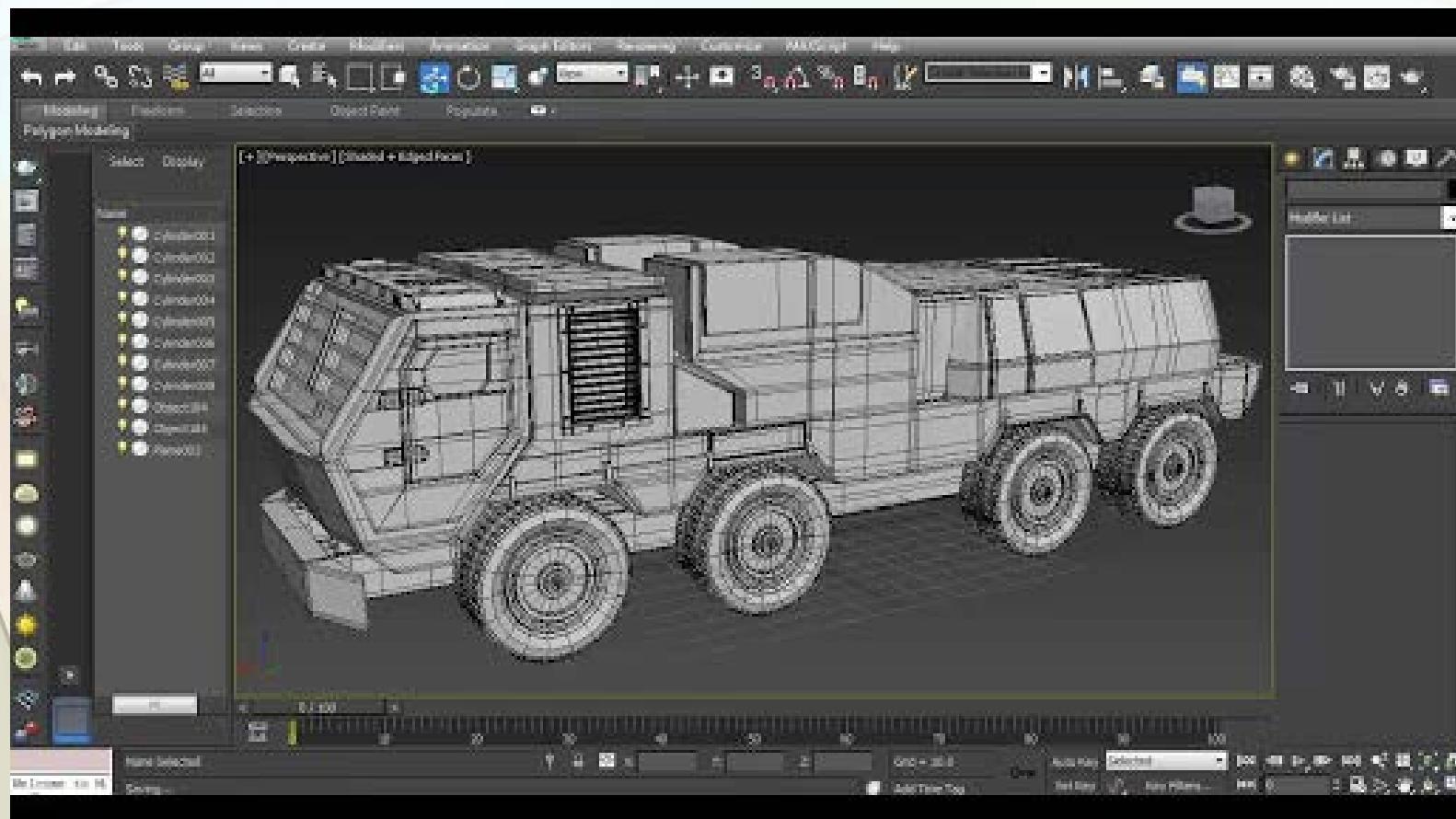


Розглянуті вище зв'язки породили такий термін, як суперсистема для позначення охоплюючих систем типу глобальної телефонної мережі і системи повітряного транспорту. Суперсистема - система більш високого рівня ієрархії для деякої даної (цільової) системи, тобто розглянута система завжди є елементом певної системи (суперсистеми), яка її використовує. У мережевих військових системах інтегровану систему, що складається з розподілених датчиків і комплексів озброєння, називають система систем (system of systems - SoS) - велика, що володіє унікальними можливостями система, утворена в результаті об'єднання кількох систем, здатних незалежно надавати корисну продукцію і/або послуги (ISO/IEC 24765). Ця термінологія перекочувала і в діловий світ, проте визначення і застосування терміну змінюються в залежності від галузі та спеціалізації.



Модель складної системи

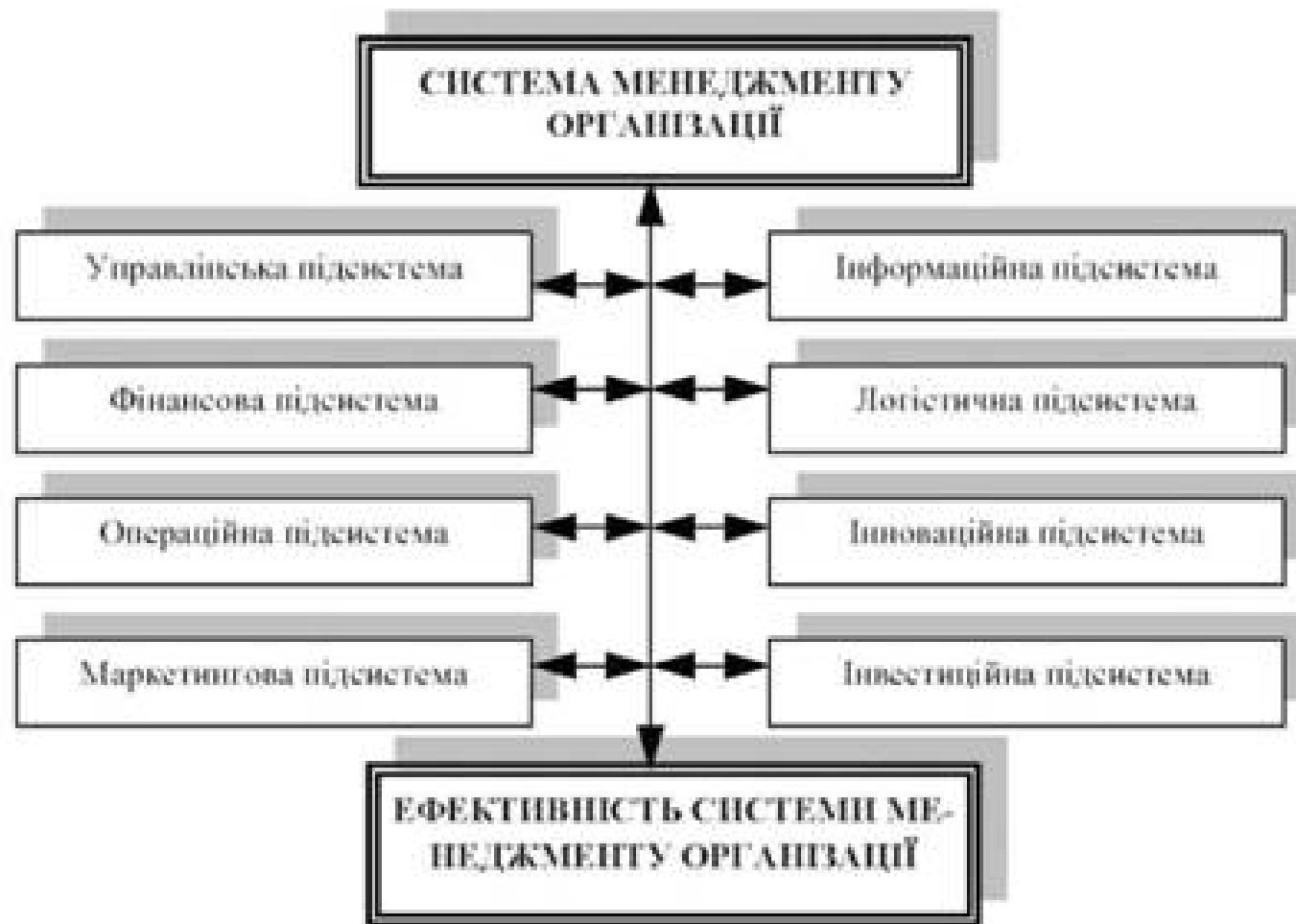
Невизначеність в розумінні того, що є система, може викликати труднощі у студентів, які вивчають основи системної інженерії. Тому для ілюстрації типових обов'язків системного інженера буде корисно створити більш конкретну модель типової системи. З викладеного нижче матеріалу стане ясно, що техніка моделювання - один з основних інструментів системної інженерії, особливо в ситуації, коли зібрали факти, що піддаються однозначної інтерпретації і мають кількісне вираження, не виходить.



У нашому випадку ми скористаємося цією технікою, щоб описати логічну структуру моделі типової складної системи в термінах її складових частин. Мета такої моделі - відобразити відносно просту і зрозумілу архітектуру системи, яка може використовуватися як відправна точка при обговоренні розробки нової системи і ролі системної інженерії протягом цього процесу. За своїми масштабами ця модель не поширюється на суперсистеми або системи систем, але з її допомогою можна описати більшість систем, що розробляються шляхом комплексування компонентів, придбаних на основі договору або угоди - таких, наприклад, як новий літак або система управління повітряним рухом в зоні аеропорту.

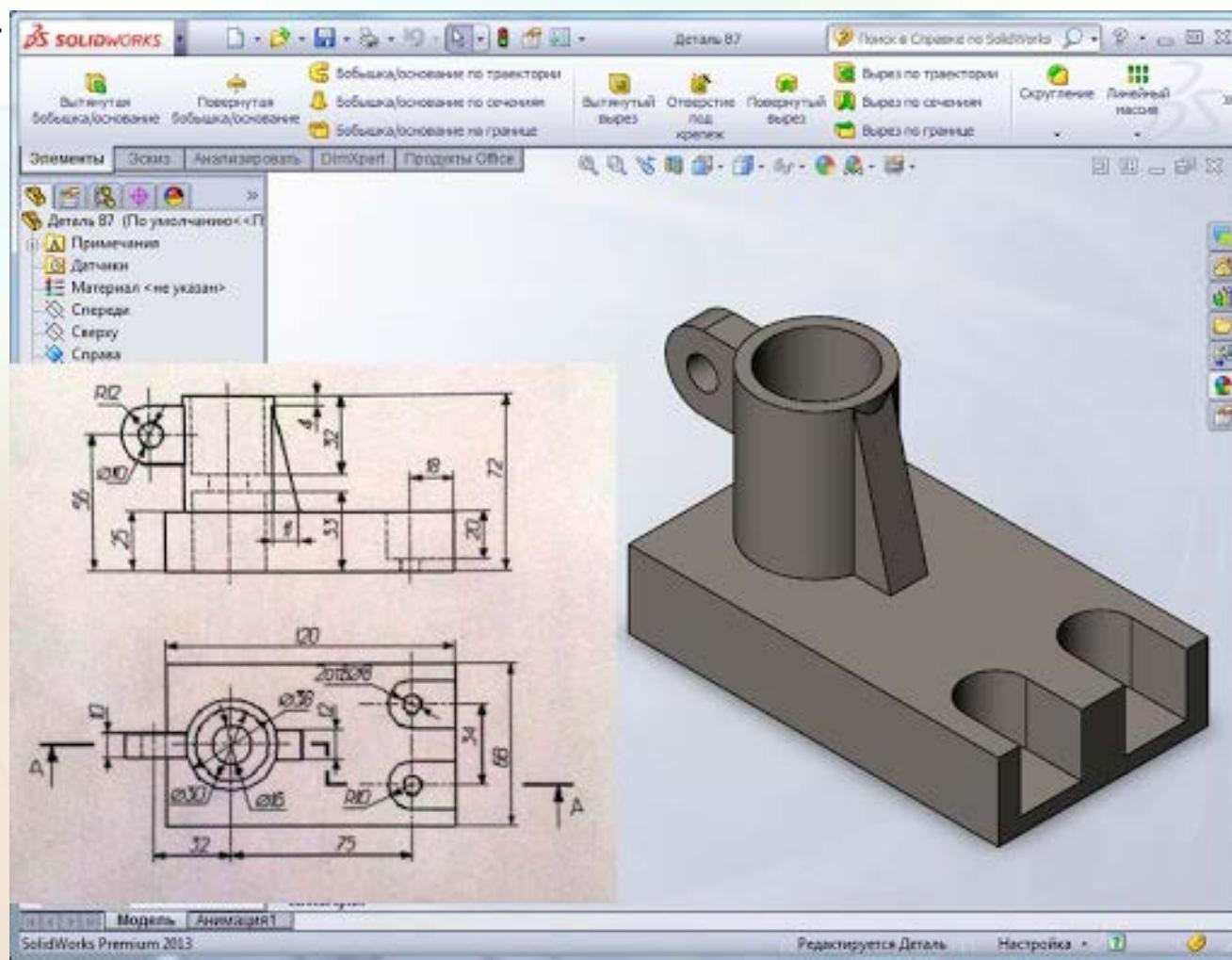


За своєю природою складна система має ієрархічну структуру, в якій можна виділити ряд великих взаємодіючих елементів, які називаються підсистемами. Підсистема - 1. Вторинна або підпорядкована система, включена в більшу систему. (ISO/IEC 24765). 2. Система, яка є частиною більшої системи (ISO/IEC 15026).

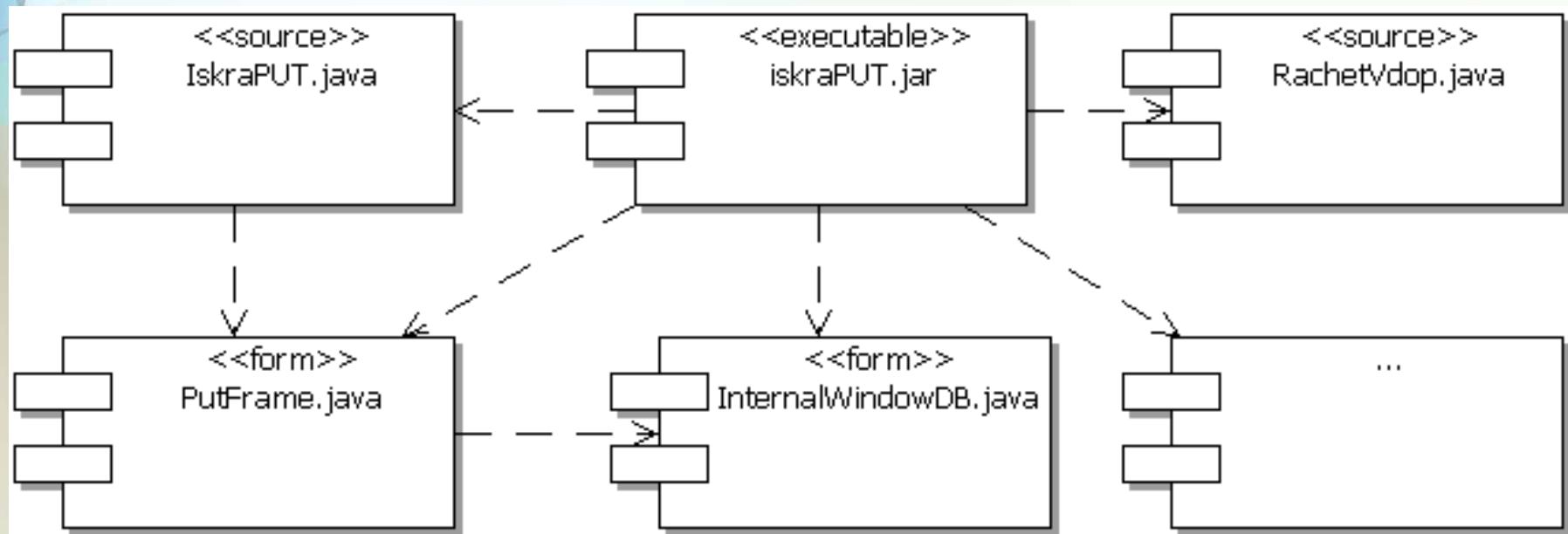


Останні в свою чергу складаються з більш простих функціональних об'єктів і т.д., аж до таких примітивних елементів, як шестерня, трансформатор або електрична лампочка, які зазвичай називають **деталями**.

У число стандартних термінів, що застосовуються при описі різних архітектурних рівнів в структурі системи, входять лише «система» і «підсистема» для позначення самих верхніх рівнів і «деталь» - для самого нижнього.



З причин, які стануть зрозумілі з подальшого, в моделі системи, використовуються ще два проміжних рівня - компоненти і субкомпоненти. **Компонент** - сутність з дискретною структурою, така як збірка або програмний модуль всередині системи, яка аналізується на обраному рівні спільноти (ISO/IEC 15026). У деяких моделях проміжних рівнів може бути на один-два більше, але для нашої мети п'яти названих достатньо.



Виділення ієрархічних рівнів в системі

У таблиці ілюструється описана вище характеристика ієрархічної структури моделі системи. По горизонталі в ній представлені чотири типові системи, де застосовуються передові технології, а по вертикалі - наступні один за одним дрібніші рівні розбиття кожної з цих систем.

Ієрархія в проекті системи

Системы

Системы связи	Информационные системы	Система обработки материалов	Аэрокосмические системы
---------------	------------------------	------------------------------	-------------------------

Подсистемы

Сигнальные сети	Базы данных	Подготовка материала	Двигатели
-----------------	-------------	----------------------	-----------

Компоненты

Приемники сигнала	Информационные индикаторы	Программы баз данных	Передача мощности	Реакторы для обработки материалов	Камеры сгорания
-------------------	---------------------------	----------------------	-------------------	-----------------------------------	-----------------

Субкомпоненты

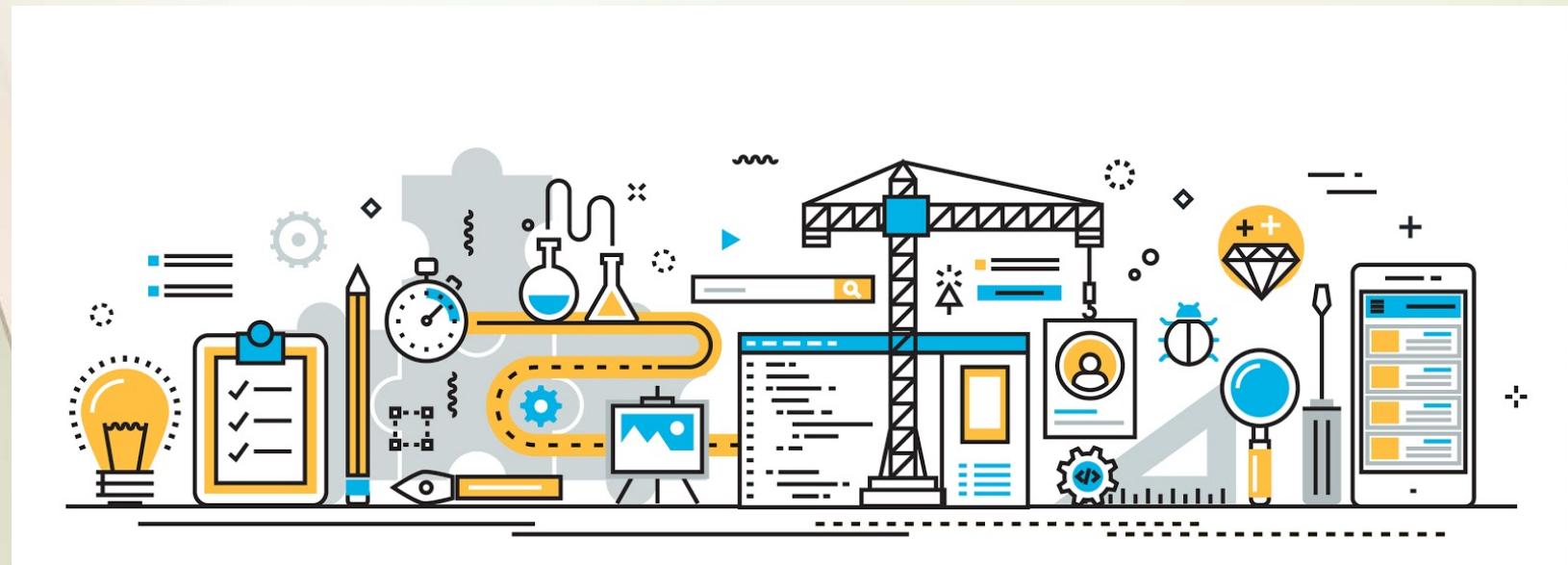
Усилители сигнала	Электронно-лучевые трубы	Библиотечные утилиты	Блок шестерен	Клапаны с обратной связью	Реактивные сопла
-------------------	--------------------------	----------------------	---------------	---------------------------	------------------

Детали

Трансформатор	Светодиод	Алгоритмы	Шестерни	Муфты	Прокладки
---------------	-----------	-----------	----------	-------	-----------

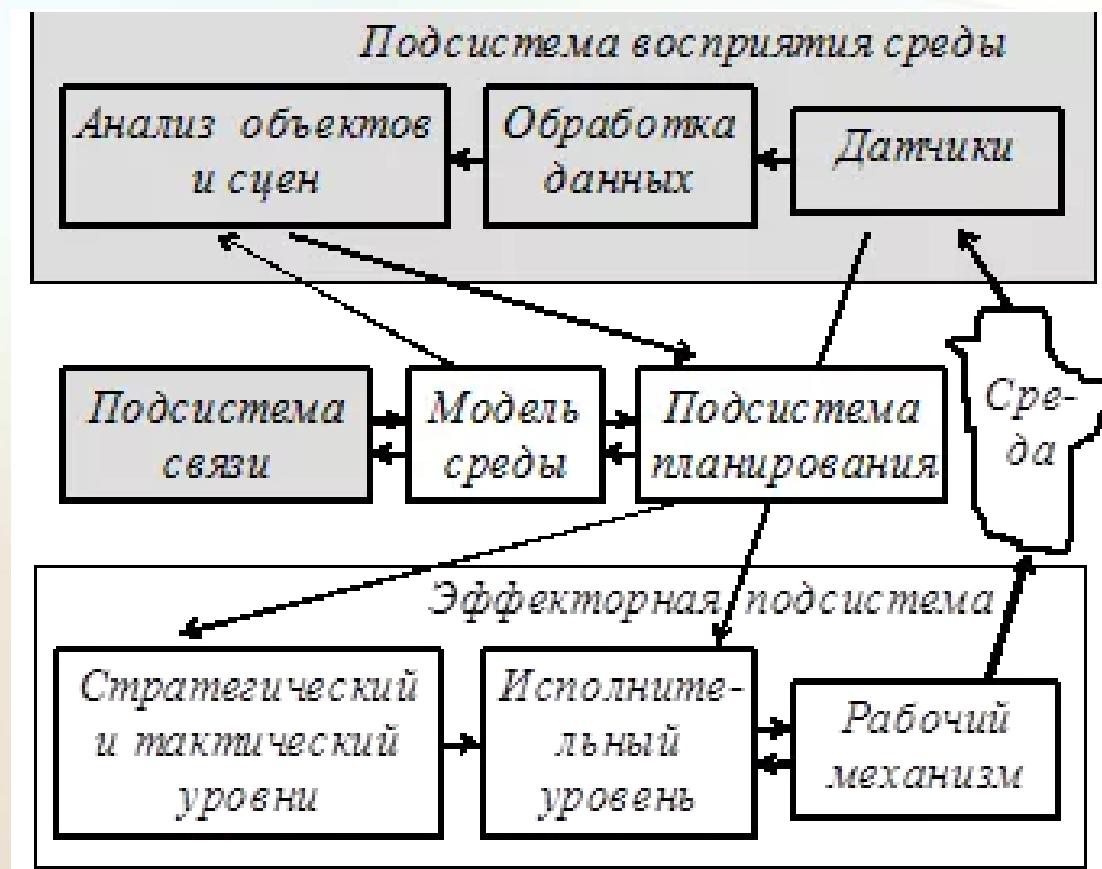
Вище, при описі різних рівнів системної ієрархії, ми відзначали, що термін «система» в загальному випадку не слід співвідносити з якимось конкретним рівнем агрегування або складності, оскільки система може бути частиною більш складного агрегату, або суперсистеми, а підсистему за певних умов також можна розглядати як систему. Для подальшого обговорення ми усунемо цю невизначеність, зарезервувавши термін «система» тільки для сутностей, які:

1. Мають властивості комплексної системи.
2. Виконують важливу корисну функцію лише за допомогою людини (оператора) і стандартних інфраструктур (наприклад, єдиної енергосистеми, автостради, заправних станцій і ліній зв'язку). Такому визначеню системи задовольняють, наприклад, пасажирський літак, персональний комп'ютер зі звичайними периферійними пристроями введення-виведення і т.д.

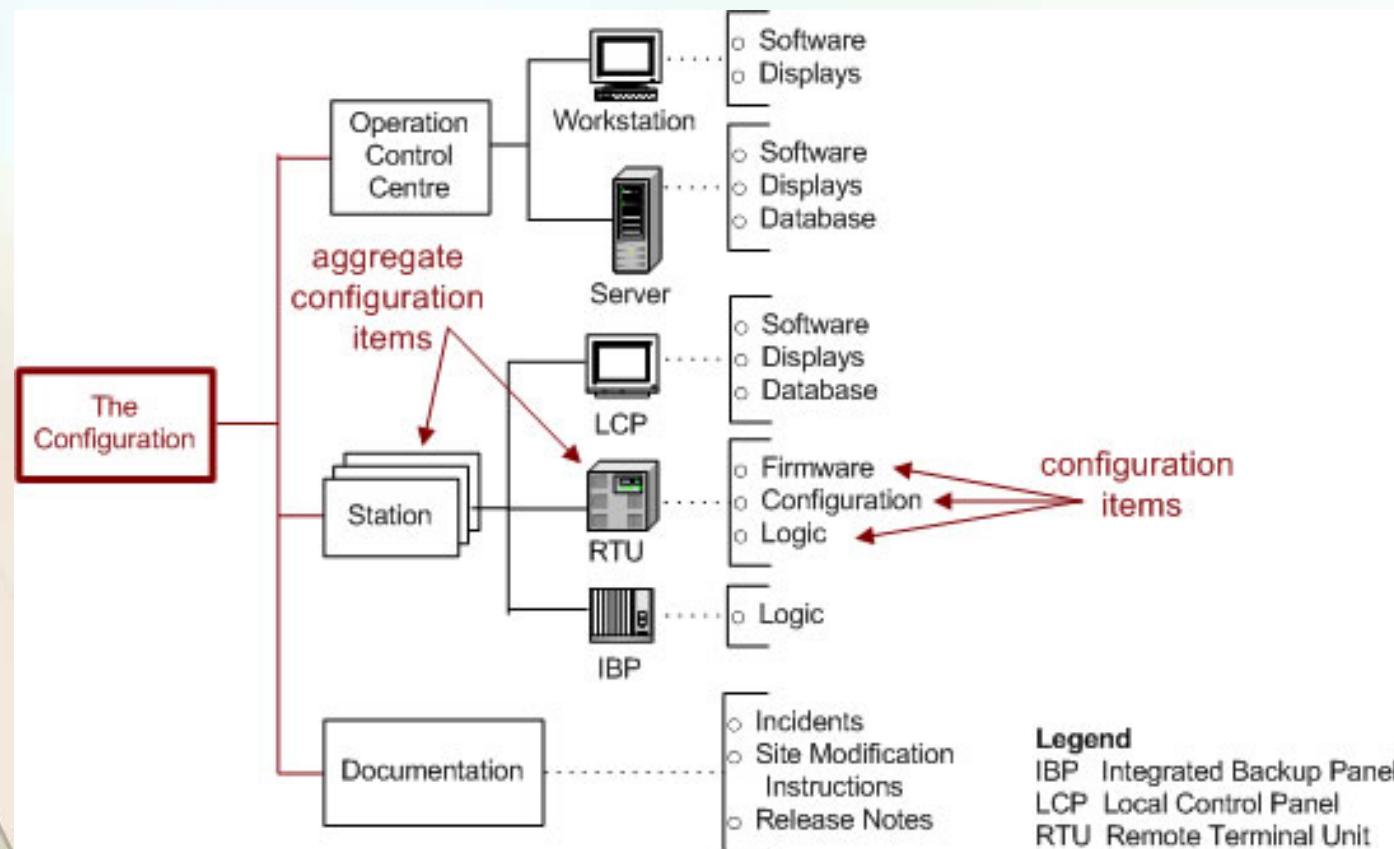


Перший з визначених у таблиці проміжних рівнів системної ієрархії з повною підставою називається **підсистемою**; цей рівень традиційно асоціюється з великою частиною системи, яка виконує ряд тісно пов'язаних між собою функцій, які є підмножиною функцій всієї системи. Кожна підсистема сама по собі може бути дуже складним і мати багато яостей системи за винятком здатності виконувати корисну функцію під час відсутності суміжних підсистем. Для створення підсистеми зазвичай використовують досягнення кількох технічних дисциплін (наприклад, електроніки та механіки).

Структурна схема адаптивного робота



Термін «компонент» зазвичай застосовується до сутностей більш низького рівня, але в цій книзі ми будемо використовувати його для позначення системних елементів середнього рівня, як показано в таблиці. Компоненти часто відповідають елементам конфігурації в термінології, використовуваної в США при закупівлі для урядових систем. Елемент конфігурації (configuration item - CI) - агрегат, що складається з апаратних засобів, програмних засобів або того й іншого, який призначений для управління конфігурацією і розглядається в процесі управління конфігурацією в якості єдиної сущності (ISO/IEC 24765).



На рівні нижче компонентів розташовуються субкомпоненти, які виконують елементарні функції і складаються з декількох деталей. Найнижчий рівень - деталі - представляє елементи, які здатні до виконання якої-небудь значущої функції тільки в поєднанні з іншими деталями. Для більшості деталей є стандартні типорозміри, і зазвичай ці деталі можна придбати в комерційному порядку.



Області компетенції системного інженера та спеціаліста з проектування

Грунтуючись на описаної вище ієрархічній структурі комплексних систем, можна визначити області компетенції як системного інженера, так і фахівця з проектування. Системні компоненти проміжного рівня займають центральне місце в процесі розробки системи; вони представляють собою елементи, які здебільшого створюються фахівцями з промислового проектування, здатними адаптувати їх для конкретної мети виходячи із заданих технічних вимог. Але специфікація технічних вимог, особливо в частині визначення функціональних можливостей і сумісності інтерфейсів, - завдання системної інженерії. Це означає, що системний інженер повинен бути обізнаний про ключові характеристики компонентів, що складають систему. Причому ці знання, одержувані в значній мірі в ході діалогу і взаємодії з фахівцями з проектування, повинні дозволити системному інженеру вибрати найбільш підходящі типи компонентів, а також визначити їх функції та способи сполучення з іншими компонентами.



Області компетенцій, відповідні діяльності системного інженера та спеціаліста з проектування, показані на рисунку з урахуванням описаної вище ієрархії в системах. Видно, що знання, необхідні системному інженеру, охоплюють самий верхній рівень - систему і її оточення - і тягнуться до середнього рівня основних складових частин системи або компонентів. У той же час знання, необхідні проектувальнику, простягаються від самого нижнього рівня (деталі) до рівня компонентів; саме тут ці дві області компетенцій «перекриваються». Саме на цьому рівні системний інженер повинен ефективно взаємодіяти з проектувальниками - виявляти і обговорювати технічні проблеми і виробляти працездатні рішення, які не ставлять під загрозу ні процес проектування системи, ні її можливості в цілому.

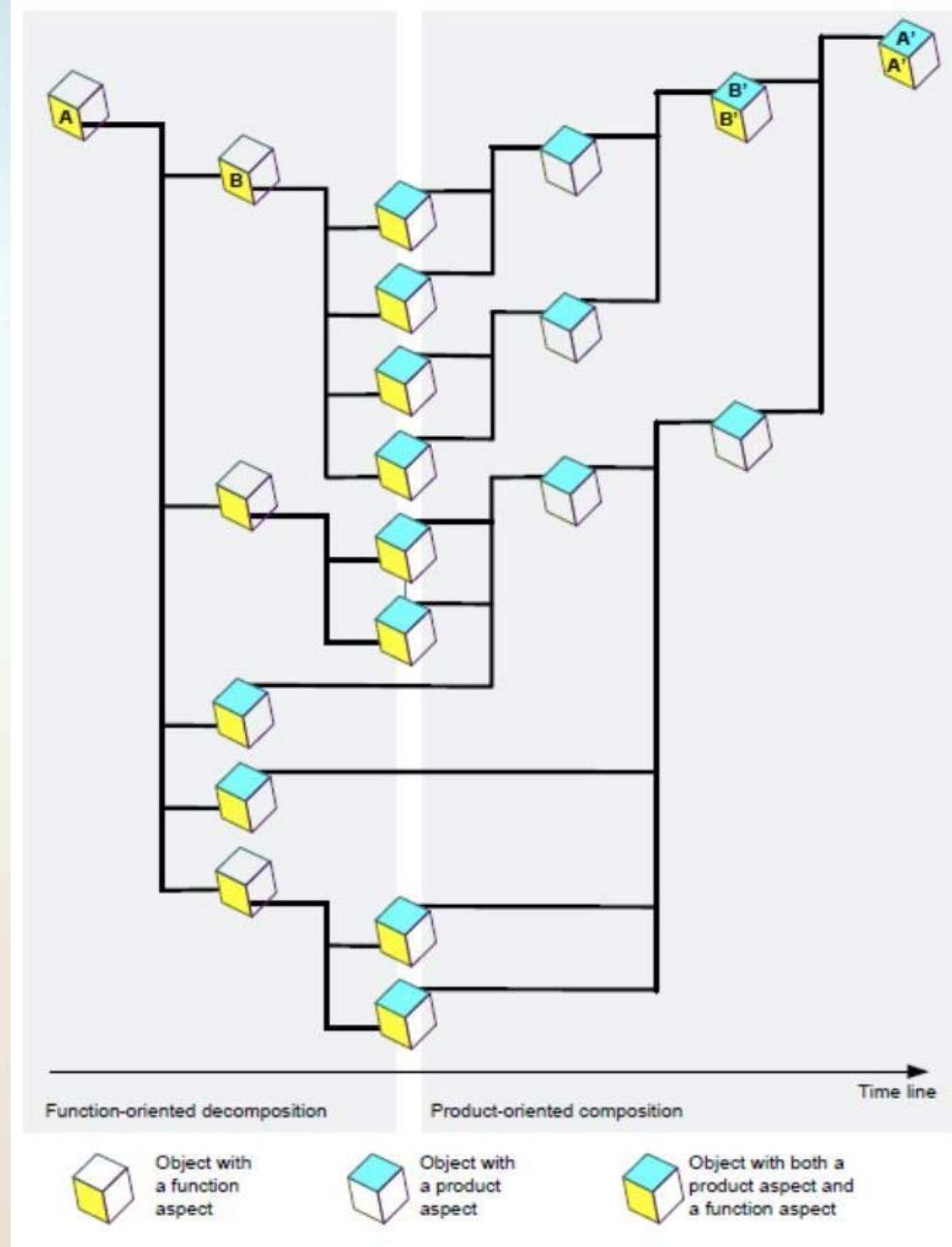


Горизонтальні кордони областей навмисно показані стрілками, що йдуть в нескінченність; тим самим підкреслюється, що ці області розширяються в залежності від складу конкретної системи. Якщо деякі субкомпоненти або деталі виявляються критичними для роботи системи (наприклад, сумнозвісна ізоляційна прокладка в ракеті-носії «Челленджера»), то системний інженер повинен бути готовий вивчити додатковий матеріал про поведінку даного елемента в обсязі, достатньому для оцінки потенційного впливу на систему в цілому. Так часто буває в разі розробки високопродуктивних механічних і термомеханічних пристройів, наприклад турбін і компресорів. Навпаки, якщо зазначена в специфікаціях функція конкретного компонента пред'являє незвичайні вимоги до його конструкції, фахівець з проектування повинен звернутися до системного інженера з пропозицією переглянути допущення системного рівня, що зумовили ці вимоги.



3. Складові частини системи.

яється Описана модель системи системним інженерам просту методику розбиття системи на частини відповідно до функціональних і фізичних ознак, а саме: спочатку слід осмислити різні аспекти функціонування системи, а потім побудувати ієархію її фізичних елементів. Кожен опис системи, як функціональний, так і фізичний, можна за допомогою декомпозиції розкласти на елементи. Нижче наведені опис обох категорій складових частин системи і рекомендований набір елементів, який слід використовувати при описі компонентів кожного типу.



Функціональні складові частини: функціональні елементи

Середовище, в якому функціонують системи, включає три основних сутності:

1. Інформація - зміст будь-якого знання і повідомлення. Інформація (Information) - значні дані (ДСТУ ISO 9000).
2. Речовина - субстанція, з якої складаються всі фізичні об'єкти.
3. Енергія, яка призводить до працездатного стану і рух всі активні компоненти системи Енергія – це скалярна фізична величина, загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії.



Оскільки будь-яка функція системи пов'язана з цілеспрямованою зміною характеристик однієї або декількох зазначених сутностей, то останні можна вважати природною основою для класифікації основних функціональних вузлів системи. Оскільки елементи, що мають справу з інформацією, використовуються для реалізації системних функцій як мінімум удвічі частіше, ніж елементи, що мають справу з матерією і енергією, їх зручно розділити на два класи: 1) елементи, що мають справу з передачею інформації (наприклад, радіосигналами), які ми будемо називати сигнальними елементами, і 2) елементи, що мають справу зі стаціонарної інформацією (наприклад, комп'ютерними програмами), які ми будемо називати інформаційними елементами. Перший клас елементів асоціюється насамперед з отриманням і передачею даних, другий - з процесами аналізу і прийняття рішень. В результаті отримуємо чотири класи функціональних елементів системи:

1. Сигнальні елементи, які служать для отримання і передачі інформації.
2. Інформаційні елементи, які служать для інтерпретації та впорядкування інформації, а також для управління нею.
3. Матеріальні елементи, які служать для формування структури і перетворення матеріалів.
4. Енергетичні елементи, які служать для забезпечення енергією або рушійною силою.

Щоб скласти більш наочне уявлення про особливості проектування кожного з цих 4 великих класів функціональних елементів, ми виділили набір характерних функціональних елементів, які можуть проілюструвати більшість найважливіших типів в кожному класі.

Бажаючи отримати узгоджений і досить представницький набір елементів, не дуже простих і не дуже складних, а також мають широку сферу застосування, ми визначили три критерії відбору:

1. Значимість. Кожен функціональний елемент повинен виконувати особливу і важливу функцію, як правило, включає кілька елементарних операцій.



2. Унікальність. Кожен функціональний елемент повинен належати переважно до технічної області окремої інженерної дисципліни.



3. Уніфікованість. Функція, виконувана елементом, повинна використовуватися в безлічі систем.



Варто зазначити, що для фізичної реалізації окремо взятого функціонального елемента незалежно від його основної функції і приналежності до певного класу потрібен якийсь матеріал; цей елемент, як правило, керується на основі інформації, отриманої від зовнішніх джерел, а крім того, потребує підключення до електричної мережі або якого-небудь іншого джерела енергії.

Так, телевізійний приймач, основна функція якого - перетворювати інформацію, що отримується у вигляді радіосигналу, в телевізійне зображення і звук, зроблений з певних матеріалів, живиться від електричної мережі і управляється за допомогою інформаційних впливів, стимульованих користувачем. Тому слід очікувати, що в більшості елементів будь-яких класів будуть інформаційні та енергетичні входи, крім основних входів і виходів, що визначаються функцією обробки.



Таким чином, ми отримуємо набір з 24 функціональних елементів, по 5-6 в кожному класі. Вони перераховані в середньому стовпці таблиці. Функція класу як цілого показана в лівій колонці, а приклади застосування конкретних елементів - в правом. Слід зазначити, що ця класифікація не абсолютна, а покликана лише послужити в якості систематичної логічної основи для обговорення властивостей систем на рівнях, важливих для системного інженера.

Функція класа	Функція елемента	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

В принципі, функціональну схему будь-якої системи можна побудувати шляхом уявного поєднання і зв'язування добре відомих функціональних елементів і, можливо, одного-двох вузькоспеціалізованих елементів, що виконують унікальні функції при певних умовах застосування системи, таким чином, щоб бажані можливості системи були логічно пов'язані з наявними вхідними впливами. По суті справи, впливу, що подаються на входи системи, перетворюються і обробляються взаємопов'язаними функціональними елементами, так щоб на виході було отримано бажані результати.

Функція класа	Функція елемента	Применения
<i>Обращение с сигналом – генерация, передача, распределение и прием сигналов для использования при активном или пассивном приеме и в средствах связи</i>	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 – анализ, интерпретация, структурирование, запрос и/или преобразование данных и информации к видам, необходимым другим системам или пользователю</i>	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 – формирование структурной основы или корпуса системы, а также изменение формы, состава или положения материальной субстанции</i>	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 – обеспечение системы энергией или движущей силой, преобразование энергии из одного вида в другой</i>	Генерация тяги Генерация крутящего момента Генерация электричества Поддержание температуры Контроль движения	Турбореактивный двигатель Поршневой двигатель Солнечная батарея Холодильник Автоматическая коробка передач

Фізичні складові частини: компоненти

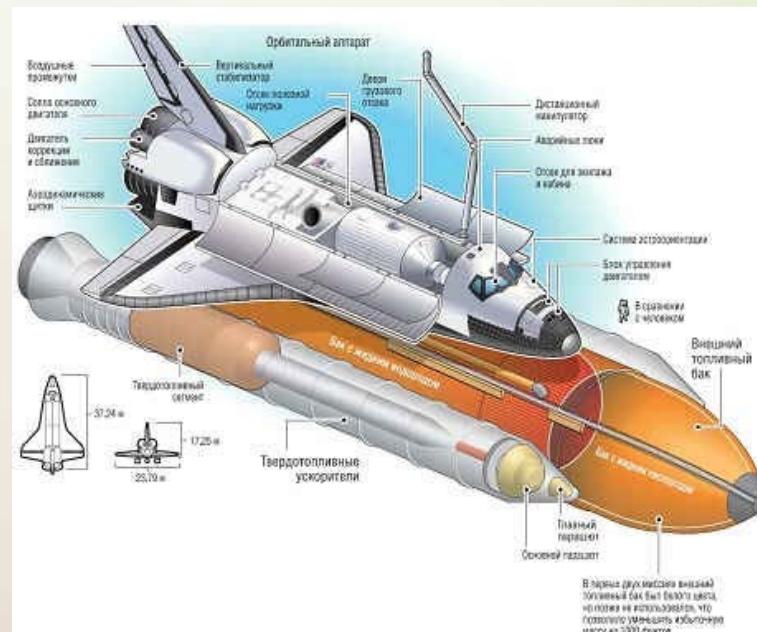
Класифікація складових частин-компонентів заснована на різних дисциплінах, пов'язаних з проектуванням, а також на технологіях, які в них задіяні. В цілому ми виділили 31 тип компонентів, поділених на 6 категорій, як показано в таблиці.

Тут ми бачимо список категорій, компонентів і асоційованих з ними функціональних елементів. Як і у випадку з функціональними елементами, назва компонента відображає його основну функцію, однак при цьому позначає швидше річ, а не процес. Багатьом компонентам відповідають широко поширені пристрой.

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

Необхідна широта і природа таких знань істотно залежать від типу і складу системи. Системний інженер, який має справу з інформаційною системою, швидше за зосередиться на деталях її ПЗ і користувальського інтерфейсу, ніж на зовнішніх аспектах апаратних компонентів, які зазвичай стандартні (хоча інтерфейсів компонентів завжди повинна приділятися пильна увага).

На іншому полюсі знаходиться аерокосмічна система, наприклад літак, яка складається зі складного і, як правило, нестандартного набору обладнання та програм, що працюють в дуже динамічною і часто несприятливому середовищі. Тому інженер, що займається нею, повинен розбиратися в конструкції компонентів системи на значно більш детальному рівні, щоб уникнути потенційно ризикованих проектних рішень, перш ніж вони знизять надійність, ускладнять виготовлення або створять інші проблеми на різних стадіях розробки, випробування та експлуатації виробу.



Завдання системного інженера полягає в реалізації функціональних елементів за допомогою компонентів. Для вирішення цього завдання необхідно брати до уваги чинники, відмінні від тих, які спочатку враховувалися при розробці функціонального проекту. Тут на перший план виходять надійність, форма, допуски і посадки, сумісність з умовами експлуатації, зручність обслуговування, можливість виготовлення, контролепридатність, безпеку і вартість, а також вимога, щоб конструктивні рішення не вступали в протиріччя з функціональним проектом. Системний інженер повинен розбиратися в конструкції окремих компонентів настільки глибоко, щоб зрозуміти, як ці фактори впливають на систему в цілому і як усунути потенційні ризики, конфлікти та інші проблеми.



Типові складові частини

Вивчення ієрархічної структури різноманітних систем приводить до важливого спостереження, яке нечасто приймається в розрахунок: існує проміжний рівень типів елементів, що зустрічаються в самих різних системах. Такі пристрої, як приймачі сигналів, індикатори даних, генератори крутного моменту, контейнери та інші, виконують функції, важливі для багатьох систем. Зазвичай лінійки цих пристроїв розробляються комерційними фірмами для відкритого ринку, але можуть бути виготовлені і під замовлення відповідно до технічних вимог до складної системи. У таблиці подібні елементи розташовуються на третьому або середньому рівні і узагальнено іменуються компонентами.

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

Можна вважати, що існування окремого набору складових частин проміжного рівня продиктовано умовами виникнення складних систем, що обговорювалися раніше, а саме: 1) технічним прогресом, 2) конкуренцією і 3) спеціалізацією. Технічні досягнення, як правило, мають місце на базових рівнях: розробка напівпровідників, композитних матеріалів, світлодіодів, графічних інтерфейсів користувача і т.д. Через високий рівень спеціалізації подібні досягнення застосовуються головним чином в пристроях, які можуть бути спроектовані і виготовлені людьми і організаціями, що спеціалізуються на продукції певного виду. Конкуренція, що є двигуном технічного прогресу, також віддає перевагу спеціалізації на конкретних лінійках продуктів. Результат передбачуваний - достаток передових, універсальних виробів, для яких можна знайти широкий ринок (а значить, знизити вартість), тобто застосовувати їх в різноманітних системах. В даний час при розробці систем оборонного призначення робиться наголос на адаптацію готових до безпосереднього використання комерційних компонентів усюди, де це виправдано з практичної точки зору, що дозволяє заощадити кошти завдяки масштабу ринку комерційних компонентів.

Компоненты

Приемники сигнала	Информацион- ные индика- торы	Программы баз данных	Передача мощности	Реакторы для обработки материалов	Камеры сгорания
----------------------	-------------------------------------	-------------------------	----------------------	---	--------------------

Повертаючись до таблиці, відзначимо, що при русі вгору по ієрархії елементів системи значущі функціональні можливості з'являються у елементів, що лежать посередині ієрархії і вище, - іншими словами, на рівні компонентів; дана особливість характерна для широкого кола різних систем, З цієї причини типи елементів, позначені в таблиці як компоненти, називаються базовими складовими частинами системи. Таким чином, для ефективної роботи системний інженер повинен володіти фундаментальними знаннями в області функціональних і фізичних характеристик цих повсюдно застосовуються системних складових. Щоб полегшити побудову концептуальної основи для придбання елементарної бази знань про складові частини систем, пропонується ряд моделей де представлені системні компоненти, що часто зустрічаються.

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

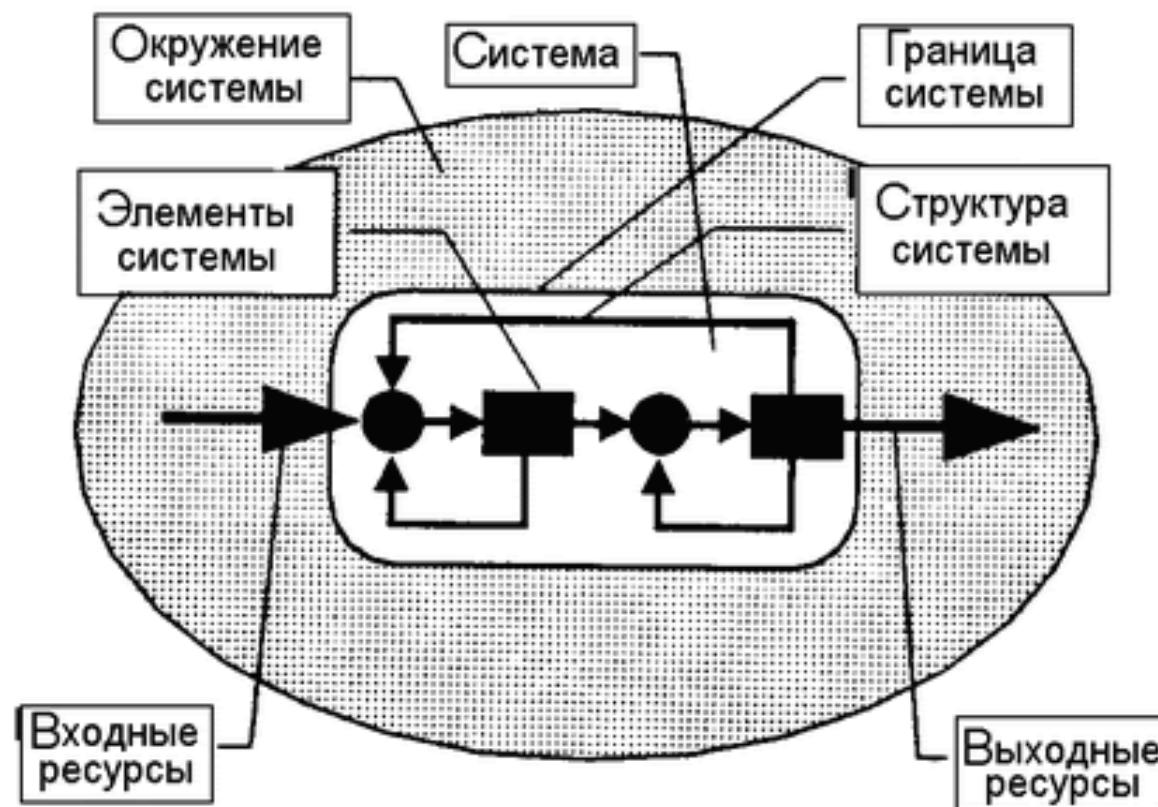
Застосування складових частин системи

Описана вище модель складових частин системи може бути корисною в декількох аспектах:

1. Виділення чотирьох класів функціональних елементів (сигнальні, інформаційні, матеріальні та енергетичні функціональні елементи) може підказати, що краще зробити для досягнення необхідного результату роботи.
2. Ідентифікація класів функцій, які повинна виконувати система, допомагає згрупувати відповідні функціональні елементи в підсистеми, тим самим спростишши функціональну декомпозицію і функціональний опис.
3. Ідентифікація окремих функціональних складових частин може допомогти у визначенні природи інтерфейсів всередині однієї підсистеми і між підсистемами.
4. Знання взаємозв'язку між функціональними елементами і їх фізичним втіленням може допомогти при візуалізації фізичної архітектури системи.
5. Часто зустрічаються приклади складових частин системи можуть підказати, які технології (в тому числі і альтернативні) найкраще підходять для їх реалізації.
6. Тим, хто спеціалізується на ПЗ і не знайомий з технікою, наявність відносно простої структури, що складається з чотирьох класів функціональних елементів і шести класів фізичних компонентів, допоможе привести знання про обладнання в струнку систему.

4. Оточення системи.

Оточенню системи можна дати широке визначення - все, що знаходиться поза системою і взаємодіє з нею. Взаємодія з оточенням і становить основний зміст вимог до системи. Тому так важливо на самому початку розробки виявити і детально описати всі способи взаємодії системи з її оточенням. Яка заслуговує на особливу увагу обов'язок системного інженера - не тільки зрозуміти, що це за взаємодії, але і розібратися в їх фізичній природі, щоб вимоги точно відображали весь спектр умов експлуатації.



Межі системи

Щоб зрозуміти, в яких умовах функціонує система, необхідно точно ідентифікувати її межі, тобто визначити, що знаходиться всередині системи, а що поза нею. Оскільки ми розглядаємо системну інженерію в контексті проекту розробки системи, як підлягає розробці вироби береться система в цілому.

На перший погляд, визначення меж системи не складає труднощів, але на практиці дуже важко вирішити, що є частиною системи, а що частиною її оточення. Багато проектів виявилися провальними через неправильні припущення щодо того, що є зовнішнє, а що внутрішнє. Більш того, різні організації визначають межі системи по-різному - навіть для дуже схожих систем.



На щастя, є кілька критеріїв, які допомагають визначити, чи повинен деякий об'єкт визначатися як частина системи:

- **Контроль з боку розробника.** Чи контролює розробник системи розробку даного об'єкта? Чи може розробник вплинути на вимоги до об'єкту або ці вимоги визначаються незалежно від бажання розробника? Кошти виділяються з бюджету розробника або фінансування здійснює інша організація?
- **Контроль експлуатації.** Чи буде експлуатація даного об'єкта після впровадження системи перебувати під контролем організації, що експлуатує її? Чи буде власник системи визначати цілі і завдання, що стоять перед цим об'єктом? Чи буде експлуатаційний контроль час від часу переходити до іншої організації?
- **Прив'язка функцій.** При функціональному описі системи може системний інженер прив'язувати функції до певних об'єктів?
- **Єдність мети.** Чи необхідний даний об'єкт для успішної роботи системи? Чи можна після впровадження системи видалити його без шкоди для інших об'єктів?

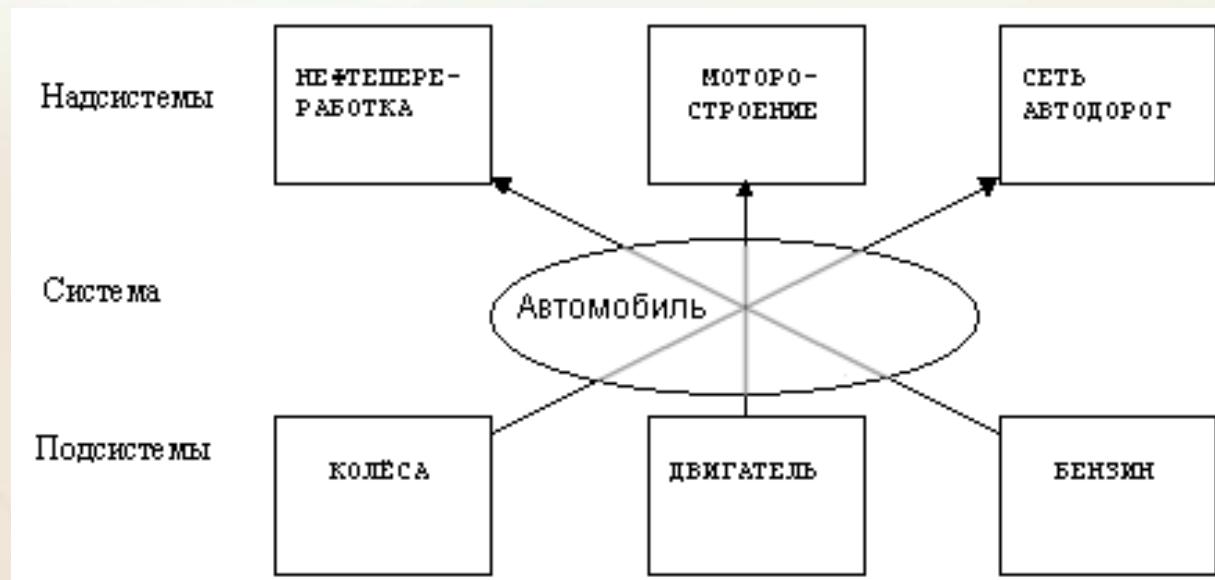
Траплялося, що системні інженери допускали помилки, визначаючи об'єкт як частину системи, хоча ступінь контролю над ним (згідно з наведеними вище критеріями) була дуже мала. І, як правило, на етапі розробки або експлуатації виявлялося, що подібний об'єкт нездатний виконати покладені на нього завдання.

На самих ранніх стадіях необхідно вирішити, чи є користувачі та оператори частинами системи або зовнішніми об'єктами. У більшості випадків їх слід розглядати як зовнішні об'єкти. Розробник системи і власник рідко володіють достатнім контролем над операторами, щоб включати їх в систему. Якщо оператор не є частиною системи, то системний інженер і розробник повинні приділити особливу увагу інтерфейсу оператора - критично важливого аспекту складної системи.

Можна розглянути ситуацію і під іншим кутом - більшість систем не можуть працювати без активної участі оператора-людини, за яким залишаються прийняття рішень і функції контролю і управління. У функціональному сенсі операторів цілком можна розглядати як невід'ємну частину системи. Однак для системного інженера оператор - це елемент оточення системи, висуваючи до інтерфейсу певні вимоги, які повинні бути враховані при розробці. Таким чином, в нашому визначенні оператори будуть вважатися зовнішнім по відношенню до системи об'єктом.



Вище вже зазначалося, що багато систем (якщо не більшість) можуть розглядатися як частина більш великих систем. Для експлуатації автомобіля потрібні дорожня мережа та інфраструктура станцій техобслуговування. Однак вони не змінюються для адаптації до нового автомобіля. Для запуску космічного корабля потрібна складна кабель-щогла, яка використовується для заправки паливом і передпольотного обслуговування. Але кабель-щогла зазвичай є частиною пускового комплексу, а не розробляється разом з космічним кораблем. Точно так же єдина енергосистема є стандартним джерелом електроенергії, яку використовує, наприклад, система обробки даних. Таким чином, суперсистеми в наведених вище прикладах слід розглядати не як частина системи, що розробляється, а як необхідний елемент її оточення, і при цьому гарантувати, що всі вимоги, що ставляться до інтерфейсів, коректно і адекватно визначені.



Системного інженера слід залучати до прийняття проектних рішень про інтерфейси - як щодо систем, які є для нього цільовими, так і по відношенню до систем, з якими цільова система знаходиться у взаємодії. У прикладі з космічним кораблем і кабелем-щоглою, ймовірно, знадобиться внести зміни в процедуру обробки інформації і, можливо, доопрацювати деякі інші функції кабелю-щогли. В такому випадку визначення загальних інтерфейсів і пов'язані з цим проектні питання слід узгодити з інженерами, що відповідають за пусковий комплекс.



Межі системи: контекстна діаграма

Один з важливих засобів обміну інформацією, доступних системному інженеру, - контекстна діаграма. Контекстна діаграма - діаграма, на якій описане середовище, в якому безпосередньо реалізується високорівнева функція або процес (INCOSE). На ній в наочному вигляді зображуються зовнішні об'єкти і їх взаємодії з системою. Типовий приклад контекстної діаграми показаний на рисунку. Це так звана діаграма чорного ящика, на якій система показана у вигляді суцільної фігури в центрі, без яких би то не було деталей. Внутрішній устрій або принцип роботи приховані від читача. Діаграма складається з трьох компонентів:

1. Зовнішні об'єкти - це всі об'єкти, з якими взаємодіє система.

Багато з них можна розглядати як джерела вхідних впливів на систему або одержувачі вихідних впливів з боку системи.



2. **Взаємодії.** **Взаємодія** – широкий загальний термін, що позначає таку сумісну дію кількох об'єктів або суб'єктів (тіла, елементарної частинки, біологічної істоти, людини, співтовариства), при якій результат дії одного з них впливає на інші, що змінюють їхню динамічну поведінку. Стрілки, що показують взаємодії між системою і зовнішніми об'єктами. Напрямок стрілки вказує, в який бік спрямований конкретний зв'язок. Хоча допускається і використання двосторонніх стрілок, односторонні більш прості для сприйняття. Тому системному інженеру не рекомендується застосовувати двосторонні стрілки, щоб не затемнювати семантику взаємодії. У будь-якому випадку кожна взаємодія (стрілка) забезпечується міткою, яка позначає, що саме передається через інтерфейс.

На цьому малюнку показані типові для контекстної діаграми взаємодії. На реальній контекстної діаграмі взаємодії були б помічені конкретними назвами, а не узагальненими поняттями. Мітки повинні чітко передавати зміст взаємодії, але при цьому бути досить лаконічними, щоб поміститися на діаграмі. Таким чином, слів «дані» або «зв'язок» краще уникати, тому що вони не несуть майже ніякого сенсу.



3. **Система**. Вона зображується суцільною фігурою - овалом, кругом або прямокутником, в центрі якого знаходитьсья тільки назва системи без будь-якої додаткової інформації.



Ми можемо класифікувати те, що передається через зовнішні інтерфейси, скориставшись наведеними вище визначеннями чотирьох основних елементів. Використовуючи ці елементи і додавши до них ще один, можна сформувати п'ять категорій:

- дані;
- сигнали;
- матеріали;
- енергія;
- впливи (вплив - активна дія суб'єкта на об'єкт, не обов'язково явна або зі зворотним зв'язком).

Таким чином, система взаємодіє зі своїм оточенням (точніше, з зовнішніми об'єктами), приймаючи або віддаючи один з перших чотирьох елементів або здійснюючи вплив, яке тим чи іншим чином впливає на систему або оточення.



Побудова діаграми, подібної контекстної діаграмі для системи, може надати неоціненну допомогу при виділенні меж системи. На малюнку чітко і зрозуміло показані необхідні зовнішні інтерфейси з коротким поясненням, що передається всередину і назовні; тобто ми маємо наочне уявлення про входи і виходи системи.



У прикладі на рисунку в ролі системи виступає типовий автомобіль. Незважаючи на простоту, ця діаграма добре ілюструє інтерфейси всіх п'яти типів. Виділено чотири зовнішніх об'єкта: користувачі (водій та пасажири), майстер-ремонтник (це може бути та сама людина, що і користувач, але він взаємодіє з системою особливим чином, тому зазначений окремо), джерело енергії і довкілля. Більшість систем взаємодіють із зовнішніми об'єктами цих чотирьох типів. Зрозуміло, крім них може бути і багато інших.



Користувач впливає на входи системи. Ці дії можуть бути різні - наприклад, подача різноманітних команд, маніпуляція органами управління, а також дії на зразок рулевання і гальмування. Матеріали, наприклад вантаж, також подаються на вхід системи. У свою чергу вихідні впливу, включаючи показання індикаторів, що містять інформацію про стан різних агрегатів, передаються від автомобіля до користувача. Крім того, він здійснює діяльність, пов'язану з розвагами - в сучасному автомобілі доступні різні форми розваг. Нарешті, за бажанням користувачів їм повертається вантаж.



З системою взаємодіють і інші об'єкти. Майстер-ремонтник повинен відправити запит на отримання діагностичних даних, зазвичай у формі сигналів, які передаються через автомобільний інтерфейс. Залежно від того, що показує діагностика, може бути проведена заміна деяких деталей.



Останні два зовнішніх об'єкта є спеціалізованими сутностями, а саме: джерело енергії і довкілля. У випадку з автомобілем джерело енергії дає можливість заправити автомобіль бензином. Це може бути паливний кран на АЗС або каністра з носиком. Навколоїшнє середовище вимагає спеціального розгляду хоча б тому, що включає все, явно не віднесене до інших зовнішніх об'єктів. Так що в якомусь сенсі оточення можна охарактеризувати як «інше». У нашому прикладі автомобіль під час експлуатації виділяє тепло і вихлопні гази. Крім того, різні автомобільні лампи, клаксон, джерела сигналів випускають звук і світло. Оточення також є джерелом різноманітної вхідної інформації, як то: фізичне дорожнє покриття, опір повітря і погодні умови.



Щоб ідентифікувати входи, виходи і впливу, які є складовими елементами взаємодії системи з оточенням, потрібно докласти певних зусиль. Автор діаграми легко міг би перестаратися, прийнявши до уваги при описі цієї взаємодії, наприклад, температуру, тиск, освітленість, вологість і ряд інших параметрів. У зв'язку з цим виникає цікаве питання: що враховувати при складанні переліку взаємодій системи з зовнішнім об'єктом? Більш того, звідки ми знаємо, що якийсь зовнішній об'єкт потрібно помістити на нашу діаграму? На щастя, відповідь на це питання проста: **якщо взаємодія істотно впливає на системні проектні рішення, його слід включати.**



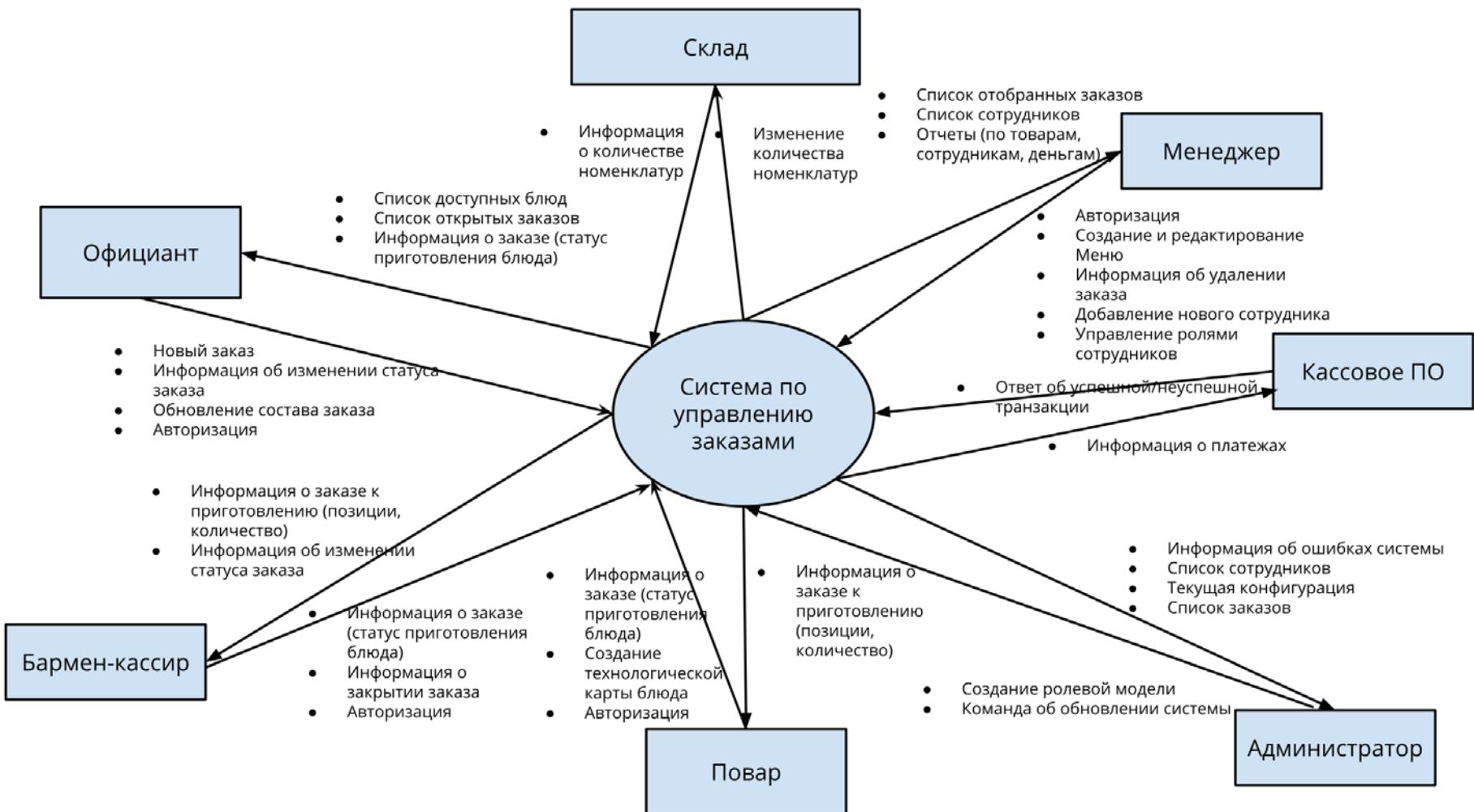
У прикладі з автомобілем фізичне дорожнє покриття важливо для проектування, так як від нього залежать тип трансмісії, механізм рульового управління і вибір шин. Тому ми помістили на діаграму дорожнє покриття. Температура, вологість, тиск і тому подібні фактори, звичайно, важливі, але ми не знаємо, наскільки вони істотні при виборі проектних рішень, тому об'єднали їх в групу «погодні умови». Це не означає, що автомобіль проектується для експлуатації в будь-яких кліматичних та природних умовах; просто ми не розглядаємо всі умови в проекті. Подання про умови експлуатації ми повинні отримати з вимог і тоді зможемо вирішити, чи потрібно поміщати їх на контекстну діаграму.



Що вважати вихідним впливом системи на зовнішнє оточення, знову ж таки залежить від того, в якій мірі облік цього впливу впливає на проектні рішення. Насправді вплив автомобіля на навколошнє середовище визначається безліччю факторів: тепло, запахи, текстура, колір ... і особливо двоокис вуглецю в складі вихлопних газів! Але що з цього істотно для проекту? Відразу можна назвати чотири найважливіші чинники: тепло, шум від охоронної сигналізації, вихлопні гази і світло. Їх ми включимо, а все інше поки опустимо. Ніщо не завадить нам в будь-який момент змінити контекстну діаграму (все одно це доведеться робити ще не раз - як в процесі розробки системи, так і на протязі життєвого циклу проекту зі створення системи).



Контекстна діаграма системи - дуже простий, але дієвий спосіб ідентифікації, оцінки та наочного уявлення кордонів системи. Тому вона і стала першим інструментом, з яким ми познайомилися в цьому курсі. Слідом за нею ми опишемо та інші; в сукупності вони дозволяють системному інженерові зібрати всю інформацію, необхідну для успішної розробки цільової системи.



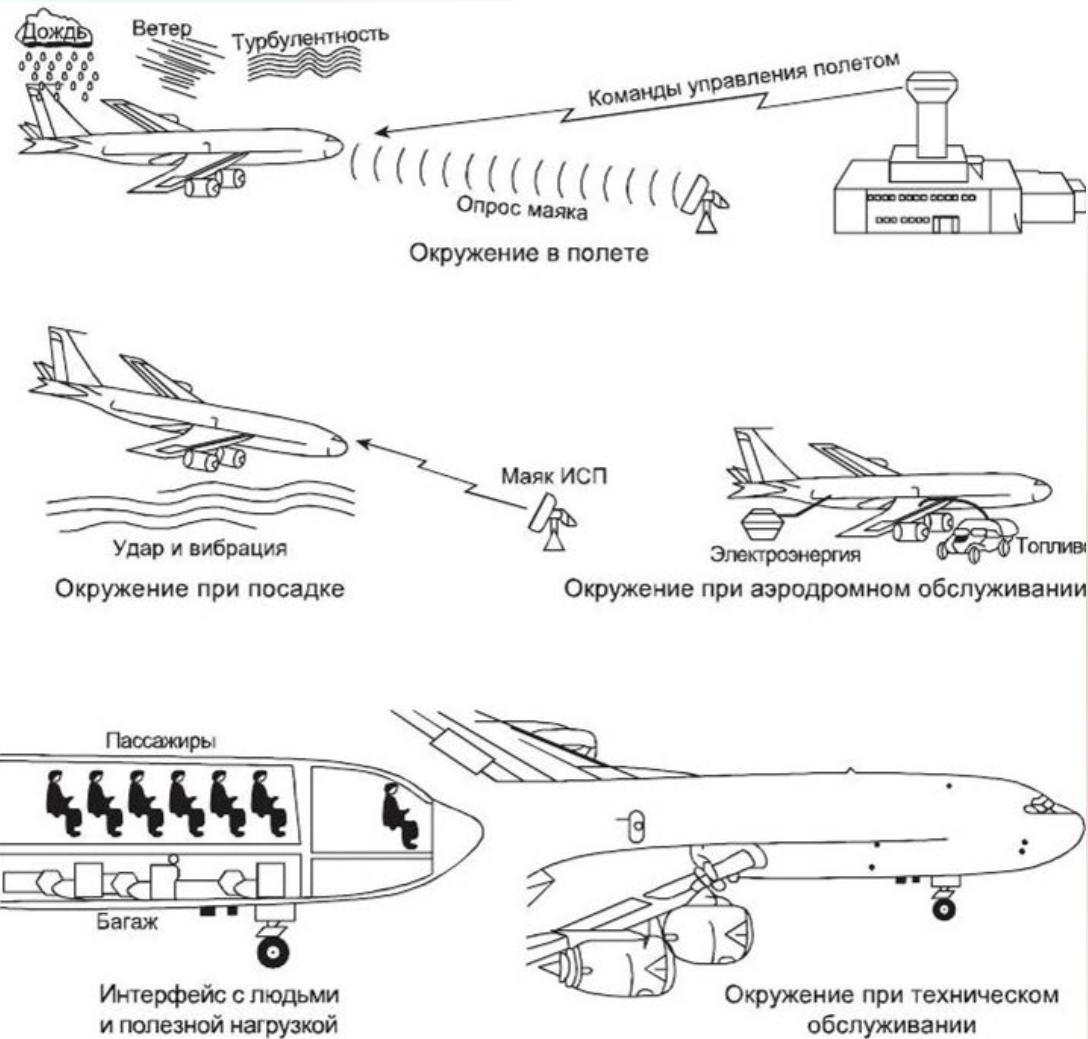
Типи взаємодій з оточенням

Щоб краще зрозуміти природу взаємодії системи з її оточенням, зручно розділити всі взаємодії на первинні і вторинні. У першому випадку розглядаються елементи, які взаємодіють з основними функціями системи, тобто представляють функціональні входи, виходи та управляючі, а в другому - елементи, які взаємодіють з системою непрямим нефункціональним чином: фізична опора, температура навколошнього середовища та ін. Таким чином, функціональне взаємодія системи з оточенням включає її входи, виходи і керуючий людино-машинний інтерфейс. Технічне обслуговування можна вважати квазіфункціональним інтерфейсом. Загрозами системі називаються об'єкти, які підривають здатність системи виконувати свої функції. Фізичне оточення включає системи забезпечення, укриття системи, а також упаковку, доставку і зберігання. Все це коротко описується нижче.

Входи і виходи

Вхід (Input) - будь-який предмет, зовнішній або внутрішній по відношенню до проекту, необхідний процесу для свого продовження. Може бути виходом попереднього процесу (PMBOK). Вихід (Output) - продукція, результат або послуга, створена процесом. Може бути входом наступного процесу (PMBOK).

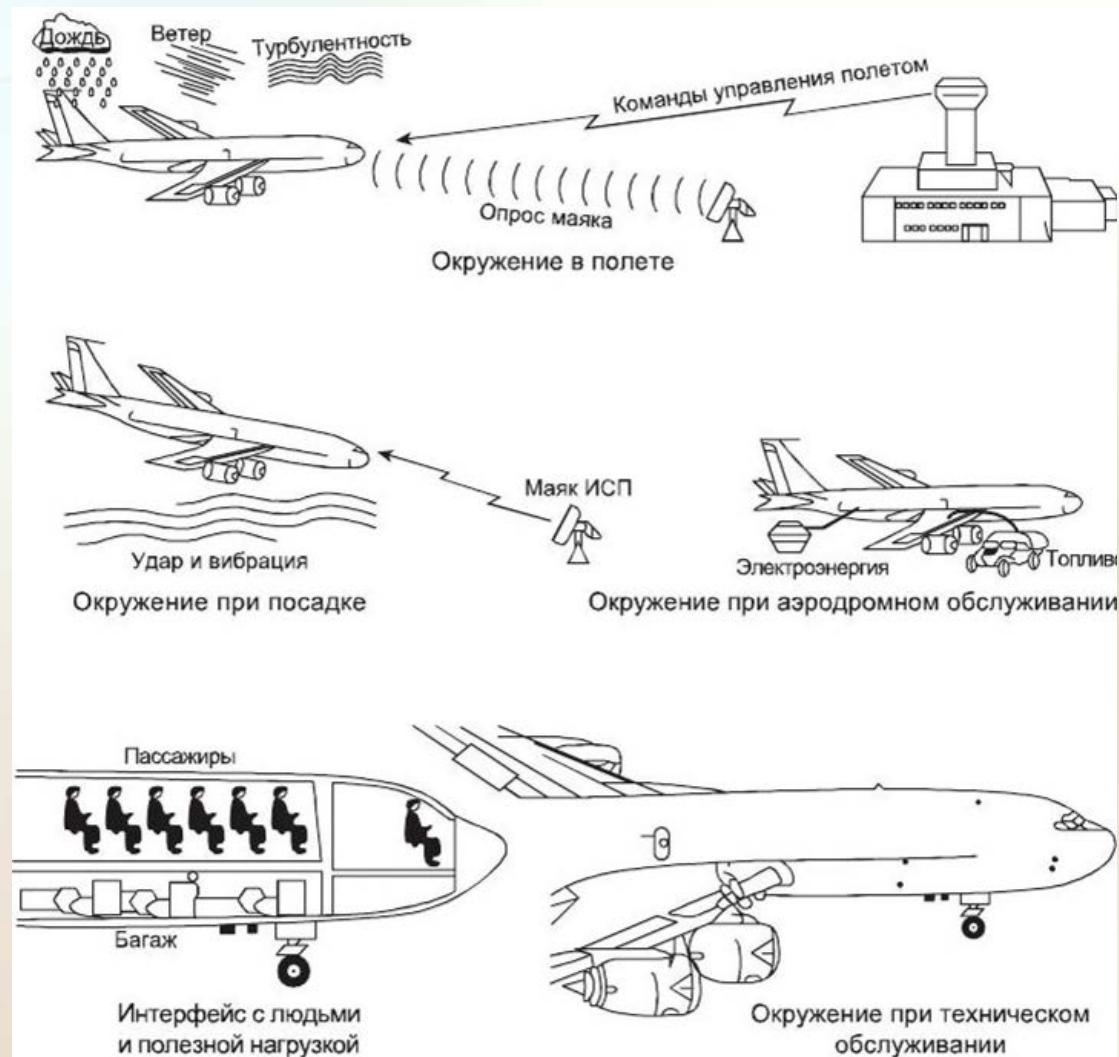
Основна мета більшості систем - реагувати на зовнішні стимули і/або матеріали, обробляючи їх корисним чином. Наприклад, для пасажирського літака матеріалом є пасажири, їх багаж, а також паливо, а функцією - швидка, безпечна і комфортна перевезення пасажирів і їх багажу в пункт призначення. На рисунку показана частина різноманітних взаємодій складної системи, якою є пасажирський літак, з її оточенням.



Оператори системи

Оператор (Operator) - особа або організація, які здійснюють експлуатацію системи (ISO/IEC 12207, ISO/IEC 15288). Вище зазначалося, що практично всі системи, в тому числі автоматизовані, не є повністю автономними, а в тій чи іншій мірі контролюються людиною-оператором. З точки зору системного інженера, оператор є частиною оточення системи.

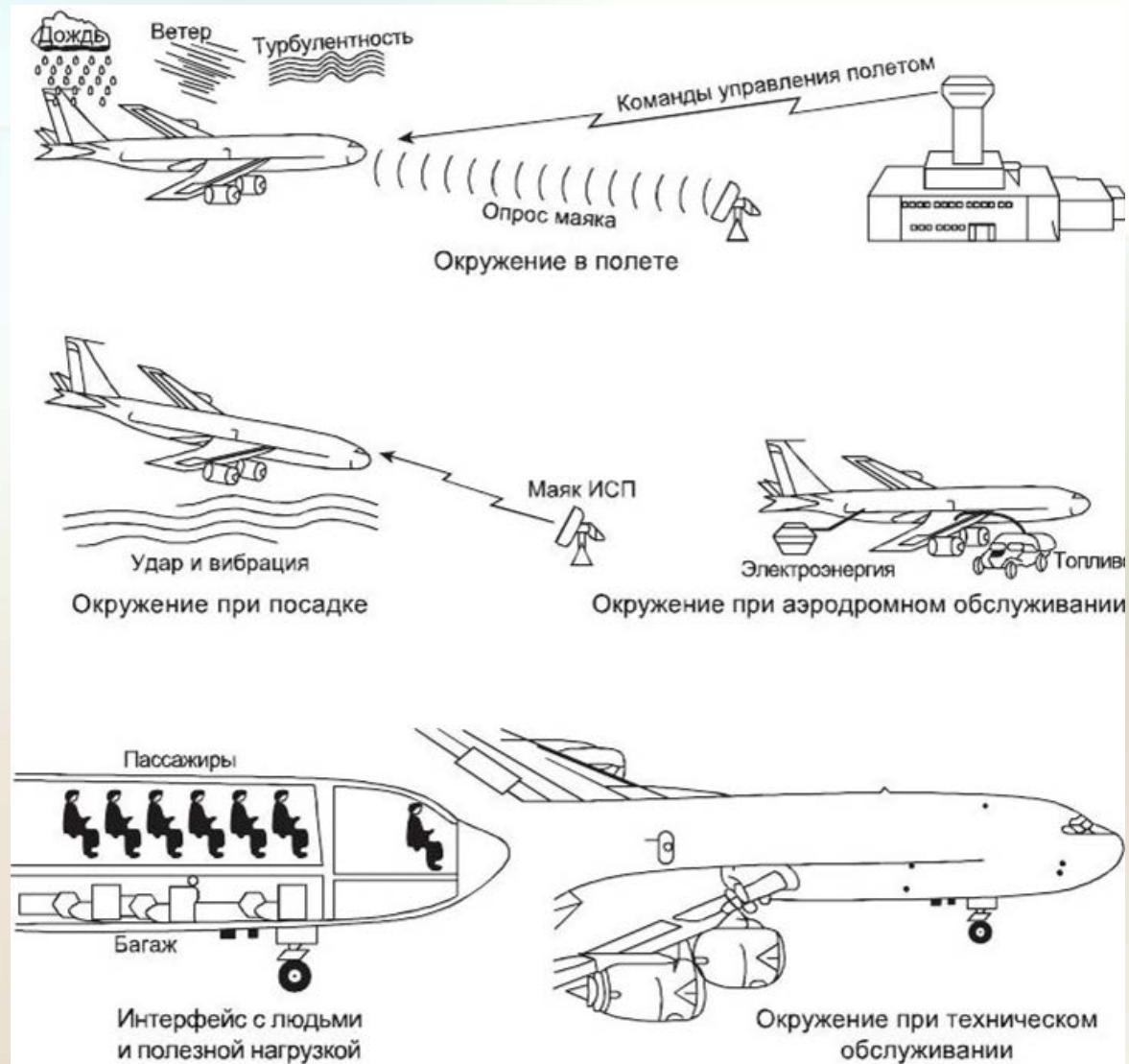
Інтерфейс між оператором і системою (людино-машинний інтерфейс) - один з найбільш важливих в силу тісного зв'язку дій оператора з функціонуванням системи. Крім того цей інтерфейс є одним з найбільш складних для опису і перевірки відповідності встановленим вимогам.



Технічне обслуговування

Вимоги до готовності і експлуатаційної надійності системи безпосередньо пов'язані зі способом її технічного обслуговування протягом терміну експлуатації. Звідси випливає, що систему слід проектувати так, щоб був доступ для контролю, випробувань та ремонту.

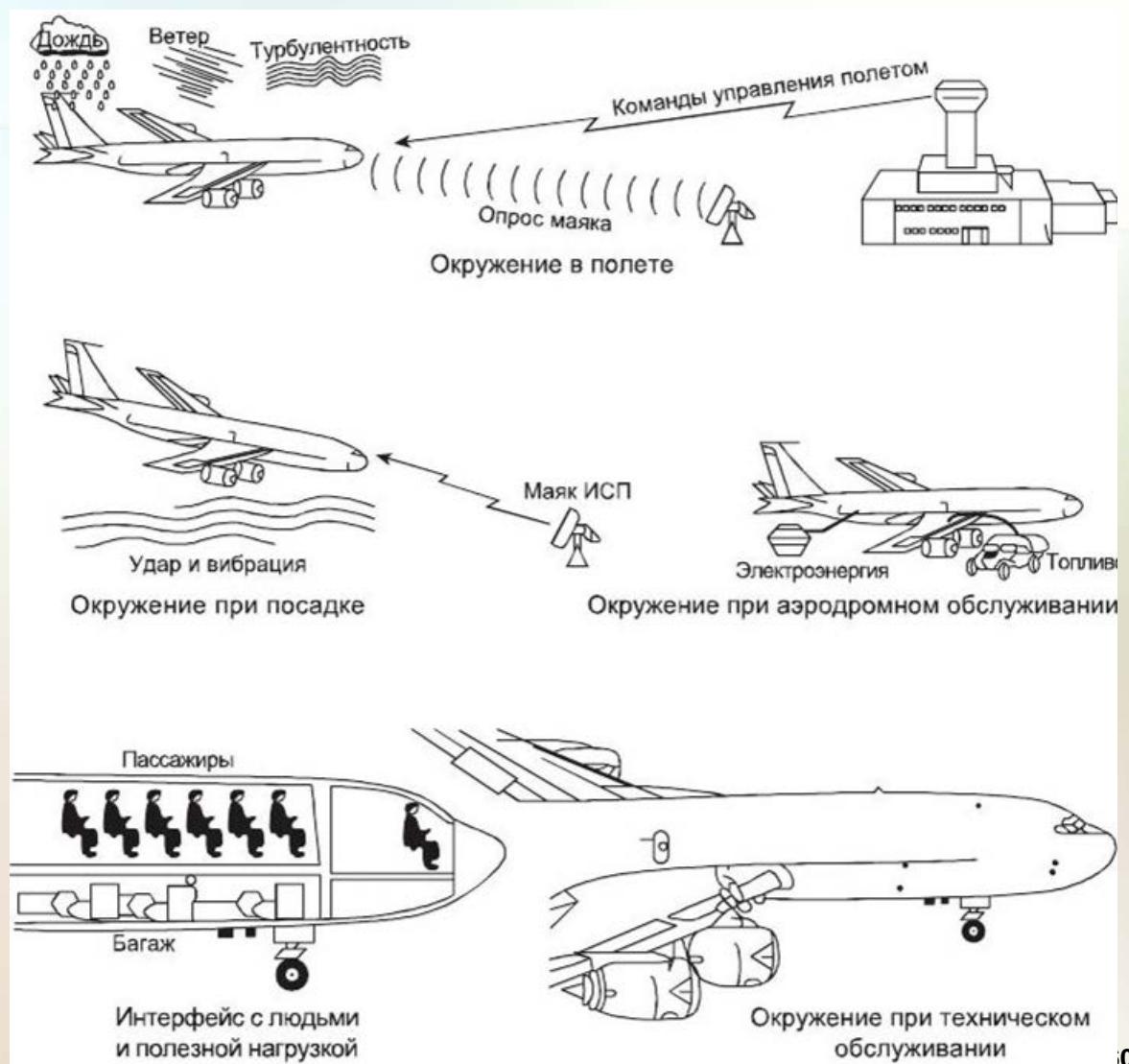
Ці вимоги часто неочевидні на початку проекту, але тим не менше вони повинні бути враховані на ранніх стадіях процесу розробки. Таким чином, ці вимоги необхідно усвідомити і домогтися їх недвозначного виконання організації та умов технічного обслуговування і ремонту.



Загрози

Загроза (Threat) - умова або ситуація, несприятливі для проекту, несприятливий хід обставин, негативний хід подій, ризик, який буде мати негативний вплив на цілі проекту або можливість негативних змін (РМВОК). Це теж клас зовнішніх об'єктів; загрози бувають як природні, так і штучні.

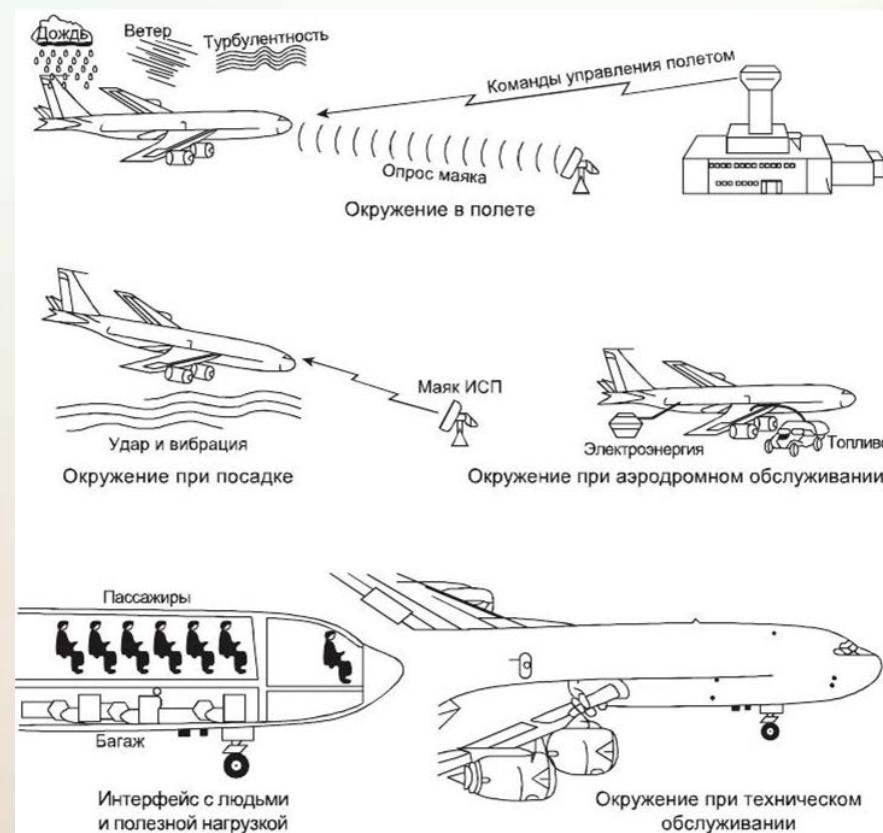
Наприклад, при проектуванні корабельних систем слід враховувати властивість морської води викликати корозію. Загрози можуть виходити і від людей, так для банкомату серйозну загрозу представляє злодій, який прагне заволодіти всередині готівкою. Загрози системі необхідно виявляти якомога раніше, щоб включити засоби протидії.



Системи забезпечення

Система забезпечення (Enabling System) - система, яка служить доповненням до даної системи протягом стадій її ЖЦ, але не обов'язково вносить безпосередній внесок в її функціонування (ISO/IEC 15288). Системи забезпечення є частиною інфраструктури, від якої залежить виконання цільової системою своїх завдань. Як показано на рисунку, аеропорт, система управління повітряним рухом в зоні аеропорту і пов'язані з ним кошти складають інфраструктуру, в рамках якої функціонує конкретний розглянутий літак, але яка доступна і всім іншим літакам. Все це частини системи систем, якими являє собою система повітряного транспорту, але з точки зору окремо взятого літака вони є стандартними ресурсами, з якими у нього налагоджений гармонійний інтерфейс.

Вище вже згадувалися два приклади систем забезпечення: єдина енергосистема, яка розподіляє доступну для використання електроенергію по всьому цивілізованому світу, і мережу автозаправних станцій і постачальників палива на них. При конструюванні нового літака, автомобіля та інших систем необхідно подбати про інтерфейси, сумісні з цими системами забезпечення.



Укриття системи

Стаціонарні системи, як правило, встановлюються на якийсь майданчику, яка сама по собі накладає на систему обмеження по сумісності. У деяких випадках майданчик забезпечує захист від природних факторів, в тому числі температури і вологості. В інших випадках, наприклад при установці на борту судна, платформа надає лише засоби для механічного монтажу, але залишає систему під впливом стихії, ударів, вібрації та інших суворих випробувань.

Упаковка і доставка

Часто систему необхідно переміщати від місця виготовлення до місця експлуатації, і умови транспортування також необхідно враховувати при проектуванні. До числа таких умов відносяться екстремальні температура і вологість, ударні та вібраційні навантаження, які іноді виходять за межі передбачених умов експлуатації. Варто зазначити, що вплив на систему такого роду взаємодій з боку навколишнього середовища враховується головним чином на стадії розробки інженерно-технічних рішень.

5. Інтерфейси і взаємодії.

Інтерфейси: зовнішні і внутрішні

Вище були описані різні способи взаємодії системи зі своїм оточенням, в тому числі з іншими системами. Всі взаємодії такого роду відбуваються на кордонах системи, які називаються зовнішніми інтерфейсами. Визначення та контроль зовнішніх інтерфейсів - обов'язок системного інженера, тому що для цього необхідні знання як про систему, так і про її оточення. Належний контроль над інтерфейсами - обов'язкова умова успішного функціонування системи.

Таким чином, управління інтерфейсами - важлива сторона системної інженерії. Вона включає:

1. Виявлення та опис інтерфейсів з метою визначення загальної концепції системи.
2. Координацію робіт і контроль над інтерфейсами для забезпечення цілісності системи в ході розробки, виготовлення і подальшої модернізації.

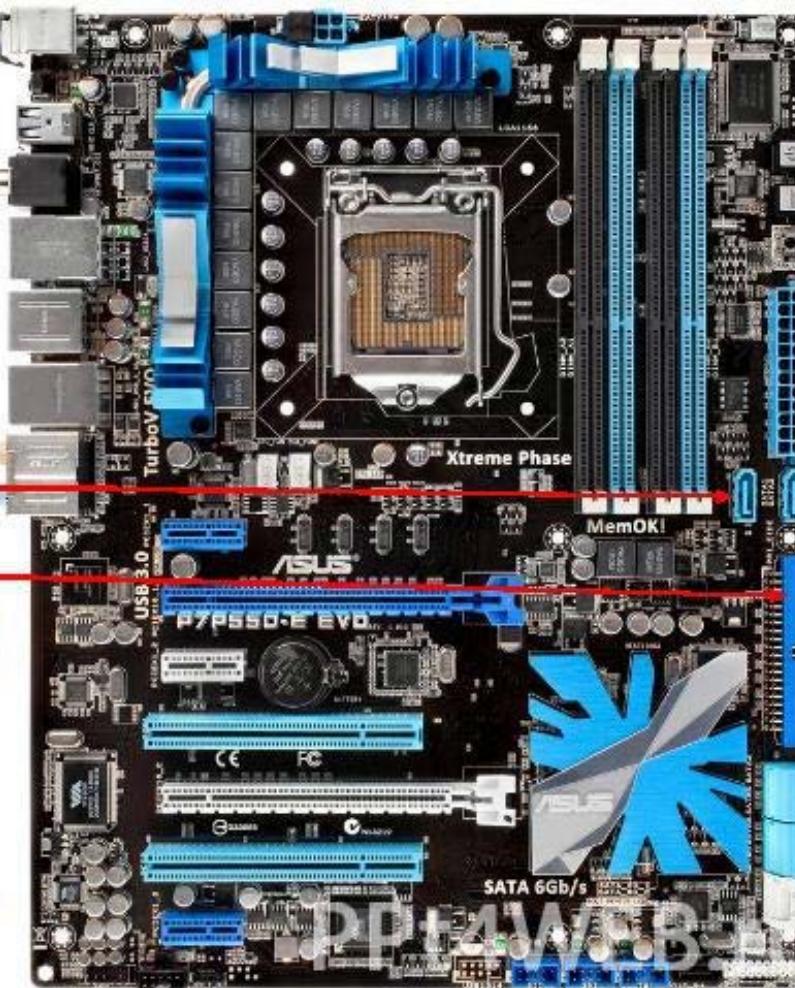


Межі між окремими компонентами всередині системи встановлюють її внутрішні інтерфейси. Завдання їх визначення також покладається на системного інженера, тому що її не можна віднести до сфери відповідальності інженерів, які проектують конкретні компоненти. Отже, визначення та реалізація внутрішніх інтерфейсів часто включають пошук компромісів стосовно конструкції компонентів, які вони з'єднують.

Внутренние интерфейсы:

SATA

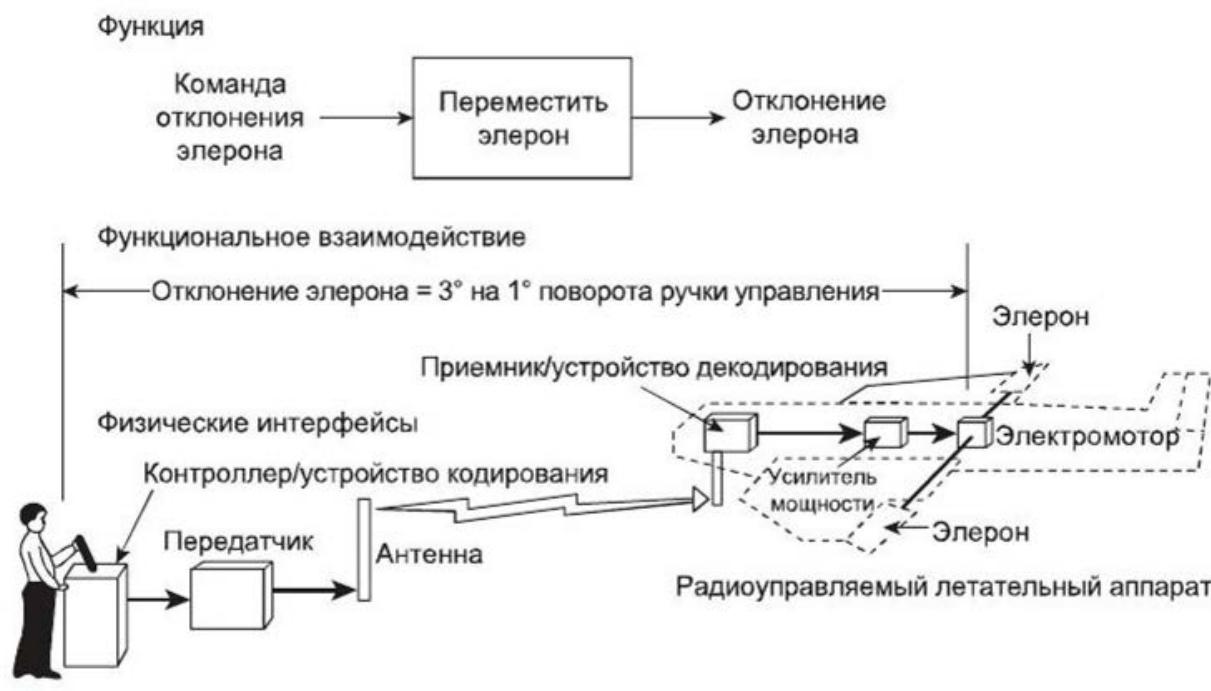
IDE



Взаємодії

Взаємодія між двома елементами системи здійснюється за допомогою з'єднуючого інтерфейсу. Так, інтерфейс між руками водія і рульовим колесом дозволяє водію направляти машину в потрібну сторону (взаємодіяти з нею), доклавши певних зусиль до керма і через нього до коліс. Інтерфейс між шинами і дорогою дозволяє автомобілю рухатися вперед і повертати за рахунок зчеплення з дорогою, а заодно захищає корпус машини від нерівностей дорожнього полотна.

Наведені приклади показують, як функціональні взаємодії (зміна напрямку і приведення в рух) визначаються фізичними взаємодіями (поворотня керма, а значить, і ведучих коліс), які передаються через фізичні інтерфейси. На рисунку зображені аналогічні відносини між фізичними інтерфейсами для керування ЛА і відповідними функціональними взаємодіями.



Важлива, але іноді недооцінена зовнішня взаємодія здійснюється під час технічного обслуговування і ремонту системи. Ця діяльність по необхідності вимагає доступу до різних системних функцій з метою їх перевірки на відповідність встановленим вимогам. Це в свою чергу означає, що необхідно передбачити спеціальні точки виміру, до яких можна підключатися з зовнішньої сторони при мінімумі маніпуляцій. В деякі складні системи включається широкий набір вбудованих засобів контролю, які можуть проводити діагностику під час нормального функціонування системи. Визначення таких інтерфейсів - ще одна задача системного інженера.



Інтерфейсні елементи

Для систематизації підходу до виявлення зовнішніх і внутрішніх інтерфейсів зручно виділити серед них три різних типи:

1. З'єднувачі, які забезпечують передачу електрики, рідини, зусилля і т.д. між компонентами.
2. Ізолятори, які блокують такі взаємодії.
3. Перетворювачі, які змінюють характер середовища взаємодії. Подібні інтерфейси реалізуються у вигляді складових частин компонентів або субкомпонентів, які можна представляти як інтерфейсні елементи.



В таблиці перерахований ряд характерних інтерфейсних елементів кожного з трьох типів дляожної з чотирьох середовищ взаємодії, а саме: електричної, механічної, гідравлічної і людино-машинної. Таблиця вимагає деяких коментарів.

Приклади інтерфейсних елементів

Физическая среда (средство взаимодействия)				
Тип интерфейса	Электрическая (ток)	Механическая (усилие)	Гидравлическая (жидкость)	Человеко-маши- ная (информация)
Соединитель	Кабельный пере- ключатель	Шарнирное со- единение	Задвижка трубо- проводы	Управляющая индикаторная панель
Изолятор	Радиочастотная защита	Амортизационная подвеска	Прокладка	Защитная крышка
Преобразователь	Аналого-цифро- вой преобразова- тель в антенне	Шток, присоеди- ненный к блоку шестерен	Насос с редукци- онным клапаном	Клавиатура

1. Функція встановлення або розриву з'єднання між двома компонентами (тобто визначити, чи потрібно взаємодії між ними) повинна розглядатися як важливий елемент проектного рішення, часто включається до складу засобів управління системою.

2. Функція з'єднання несуміжних компонентів системи кабелями, трубами, важелями і т.д. часто не є частиною якогось одного компонента системи. Незважаючи на їх пасивну природу, таким «проводящим» елементам слід приділяти особливу увагу на рівні системи, для того щоб бути впевненим, що їх інтерфейси вірно скомпоновані і сконфігурковані.

3. Відносна простота інтерфейсних елементів не применшує їхньої ролі в забезпеченні функціонування і надійності системи. Досвід показує, що збої системи в значній мірі відбуваються саме в інтерфейсах. Забезпечення сумісності та надійності інтерфейсів - зона особливої відповідальності системного інженера.

Приклади інтерфейсних елементів

Физическая среда (средство взаимодействия)				
Тип интерфейса	Электрическая (ток)	Механическая (усилие)	Гидравлическая (жидкость)	Человеко-маши- ная (информация)
Соединитель	Кабельный пере- ключатель	Шарнирное со- единение	Задвижка трубо- провода	Управляющая индикаторная панель
Изолятор	Радиочастотная защита	Амортизационная подвеска	Прокладка	Защитная крышка
Преобразователь	Аналого-цифро- вой преобразова- тель в antennе	Шток, присоеди- ненный к блоку шестерен	Насос с редукци- онным клапаном	Клавиатура

6. Складність в сучасних системах.

Раніше ми описали ієрархію систем - як система розбивається на підсистеми, потім на компоненти, субкомпоненти і, нарешті, деталі. У міру зростання складності сучасних систем ростуть також кількість, різноманітність і складність підсистем, компонентів і деталей, тобто об'єктів, що знаходяться на більш низьких рівнях системної ієрархії.

Більш того, зростає і складність взаємодій між ними. Принципи системної інженерії та практика їх застосування орієнтовані на боротьбу з цим ускладненням.

Все частіше зустрічаються окремі системи, які вже є або можуть стати частиною об'єкта великих масштабів. Хоча нині в ходу багато термінів, що описують поняття суперсистеми, термін «система систем» поширений особливо широко. Але в літературі можна зустріти і альтернативні терміни - одні означають в точності те ж саме, інші - щось інше.

У цій темі ми коротко познайомимося з інженерією сутностей, які вважаються розташованими «вище» або більш складними, ніж окремі системи, - системами систем і системами підприємства.

Системи систем

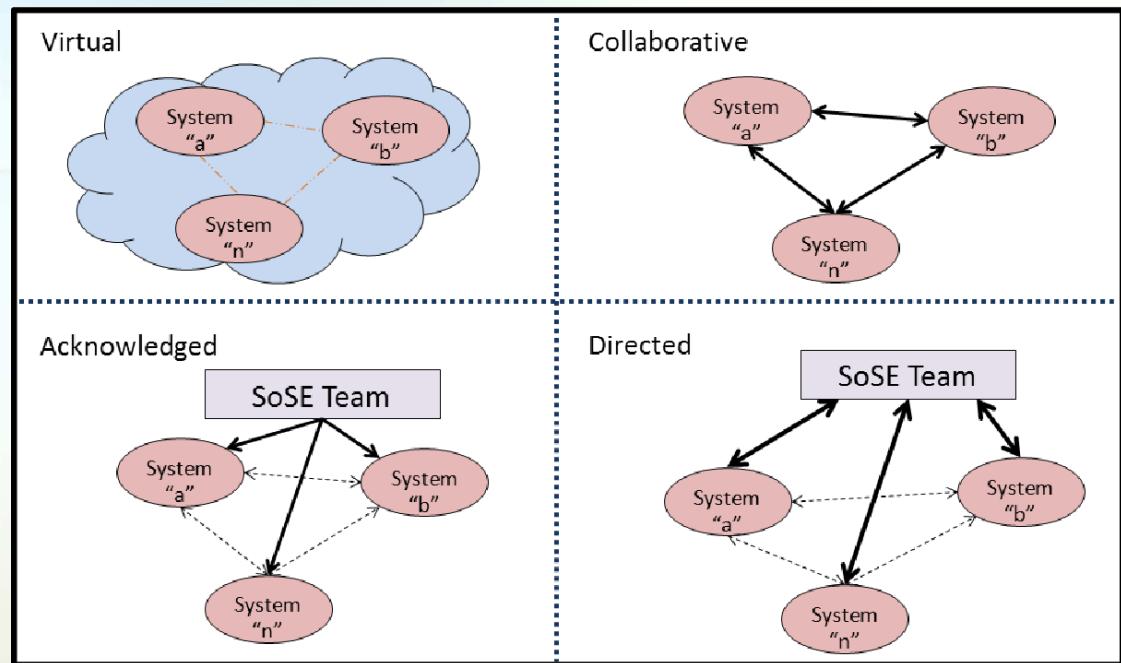
Нам будуть цікаві два визначення терміна «система систем» (system of systems - SoS); обидва прийшли з Міністерства оборони США. Перше найпростіше:

Набір або впорядкована сукупність систем, що виникає в результаті комплексування незалежних і придатних до роботи систем в більшу систему, що володіє новими можливостями.

По суті справи, всякий раз, коли ряд незалежних і придатних до роботи систем об'єднується для придбання можливостей, що виходять за межі суми можливостей окремих систем, ми отримуємо систему систем. Зрозуміло, рівень комплексування може мати відчутні відмінності. На одному кінці спектру знаходяться SoS, повністю інтегровані на самих ранніх стадіях розробки, коли окремі системи, хоча і здатні функціонувати незалежно, проектувалися мало не виключно для SoS. З протилежного боку ми зустрічаємо системи, слабо пов'язані для тимчасового рішення локального завдання без будь-яких формальних підстав, крім згоди своїх власників. Тому для повноцінного опису різних нюансів SoS необхідна методика, що дозволяє охопити весь спектр комплексування.

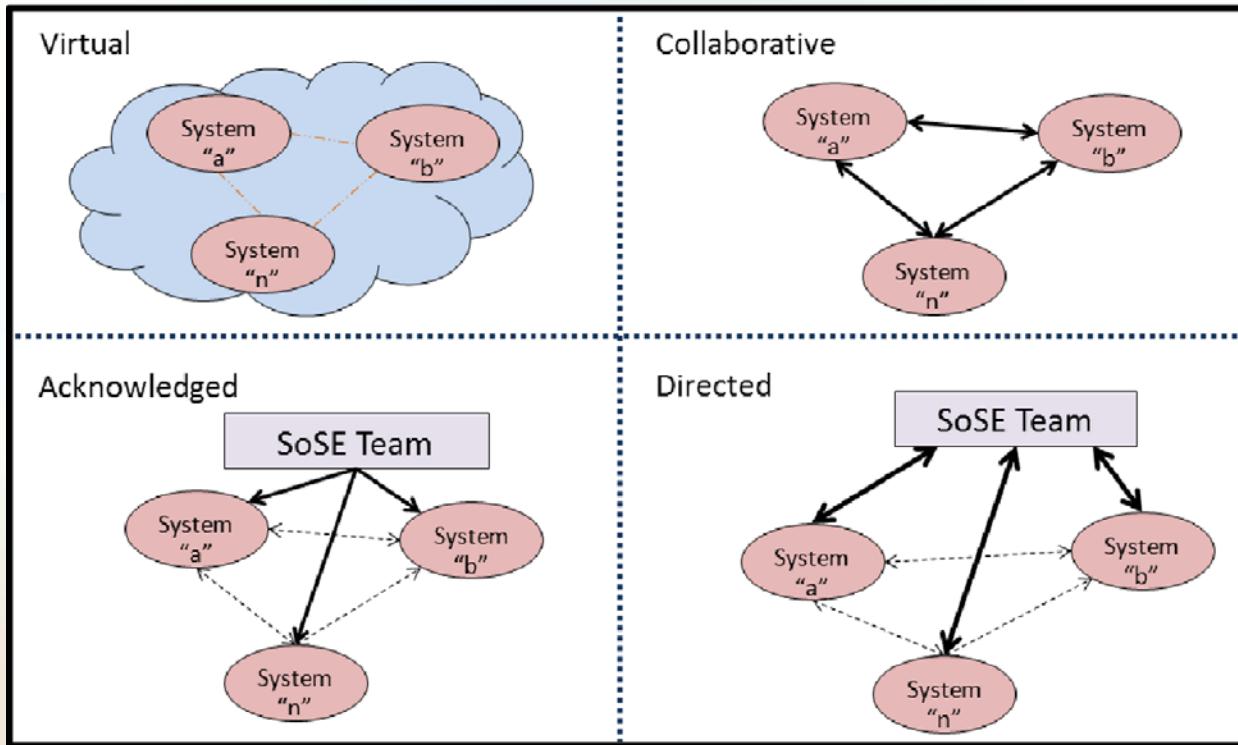
У 2008 р. МО США випустило посібник з системної інженерії спеціально для SoS, в якому було виділено 4 категорії подібних систем. Вони представлені в порядку зростання пов'язаності складових систем - від слабо до сильно пов'язаних:

Віртуальна. У віртуальній SoS немає центрального пункту управління і єдиної узгодженої мети. Поведінка, характерна для крупномасштабних систем але ймовірно, передбачається, що в SoS такого типу для його підтримки повинні використовуватися відносно слабо виражені механізми.



Колаборативна. Окрім системи, що входять до складу колаборативної SoS, взаємодіють на більш-менш добровільних засадах для досягнення узгоджених спільних цілей. Стандарти застосовуються, але немає ніякого центрального органу, який контролював би їх дотримання. Основні гравці спільно вирішують, чи потрібно надавати (і якщо потрібно, то як надавати) обслуговування, забезпечуючи тим самим певний рівень проходження стандартам регулювання і обслуговування.

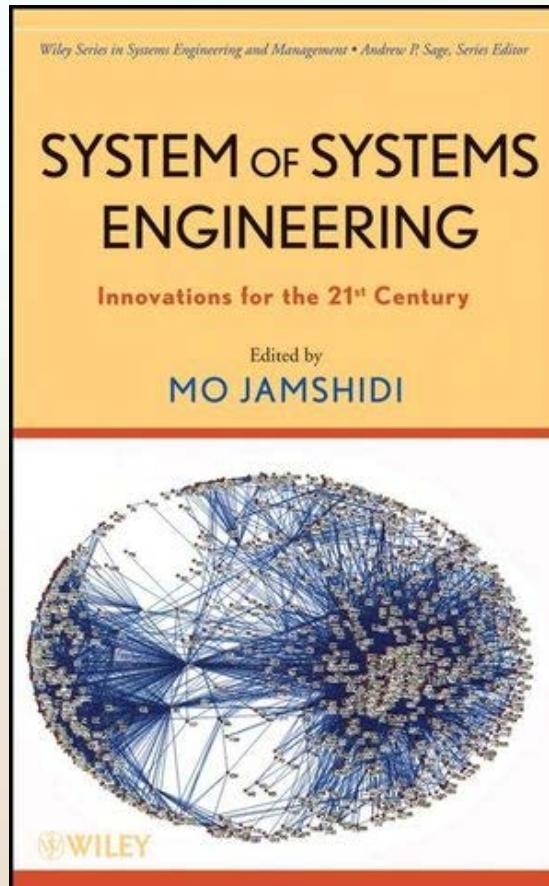
Загальновизнана. У загальновизнаною SoS є усвідомлені цілі, призначений керівник і виділені ресурси. Однак у складових її систем і раніше є незалежні власники, цілі, фінансування, підходи до розробки та забезпечення функціонування. Для внесення змін до кожну окрему систему необхідно добровільна співпраця між нею і SoS.



Цільова. Цільовими називаються інтегровані SoS, які створюються і управляються для досягнення конкретних цілей. Вони централізовано управляються протягом тривалого терміну служби для виконання як раніше поставлених, так і нових завдань, які можуть представляти інтерес для власників системи. Складові системи зберігають можливість працювати незалежно, але в нормальному режимі їх робота підпорядкована спільній меті.

Можна заперечити, що цільову SoS варто розглядати як одну складну систему, ніж систему систем; однак ці терміни охоплюють весь спектр наявних на сьогоднішній день ситуацій, коли системи комплексуються для виконання функції або володіння можливістю, якої не надає жодна окремо взята система.

Можна здогадатися, що підходи до розробки і створення архітектури для SoS і окремої системи розрізняються, особливо в тому, що стосується другої і третьої з перерахованих категорій. Відмінності інженерії системи систем обумовлені особливими характеристиками SoS.



Майер (Maier) став засновником обговорення SoS, першим визначивши їх характеристики в 1998 році. З тих пір було опубліковано кілька робіт, в яких ці характеристики уточнювалися, проте в цілому вони виявилися напочуд стабільними. Сейдж (Sage) і Цупан (Cuppan) узагальнили їх наступним чином:

1. Експлуатаційна незалежність окремих систем. SoS складається з систем, які є незалежними і придатні до роботи окремо. Якщо розібрati SoS на складові системи, то кожна зможе виконувати корисні функції незалежно від інших.

2. Адміністративна незалежність окремих систем. Системи, що становлять SoS, не тільки здатні функціонувати незалежно, але, взагалі кажучи, так і працюють заради досягнення поставленої мети. Часто вони купуються і комплексуються окремо і продовжують безперервно підтримувати своє існування і виконувати свої функції, які можуть відрізнятися від функцій, призначених SoS.

3. Територіальна розподіленість. Нерідко системи, що входять до складу SoS, знаходяться далеко один від одного і можуть обмінюватися між собою тільки інформацією і знаннями.

4. Емерджентна поведінка. SoS виконує функції і переслідує мети, не обов'язково властиві будь-якої з вхідних в її склад систем. Подібне Емерджентні поведінка властива SoS в цілому і не характерно ні для однієї з вхідних в неї окремих систем.

5. Еволюційний розвиток. Розробка SoS зазвичай ведеться еволюційно. Компоненти структури, функції і цілі додаються, видаляються і змінюються в міру накопичення досвіду роботи з системою. Таким чином, створення типової SoS ніколи не можна вважати повністю завершеним.

Згодом ці характеристики піддавалися уточненням. І хоча уточнення не торкнулися наведені вище основні характеристики, все ж були додані дві важливі властивості.

1. Самоорганізація. SoS має динамічну організаційну структуру, здатну реагувати на зміни в оточенні і зміни поставлених цілей і завдань.

2. Адаптація. Як і організація, що розвивається, сама структура SoS може бути динамічною і реагувати на зовнішні зміни і сприйняття середовища.

Інженерія колаборативної або загальновизнаної SoS повинна враховувати всі 7 основних характеристик SoS. Тому базових інструментів системної інженерії може виявитися недостатньо. У зв'язку з цим для інженерії таких складних структур були розроблені (і продовжують розроблятися) додаткові методи, інструменти і практичні прийоми.

Деякі з цих інструментів запозичені з інших розділів математики та інженерії, таких як теорія складності. Властивості, подібні емерджентності, самоорганізації і адаптації, вивчалися в рамках даної теорії, і були розроблені засоби і методи представлення внутрішньою властивою цим властивостям невизначеності. Проблема в тому, як зробити математичний апарат досить простим для застосування в системній інженерії.

Серед інших областей, в яких і донині ведуться дослідження, пов'язані з інженерією системи систем, можна назвати соціальну інженерію, динаміку поведінки людини і хаотичні системи (теорію хаосу).

Інженерія систем масштабу підприємства

Інженерія системи систем за своєю природою збільшує складність розробки окремих систем. Однак це ще не вищий рівень складності. Згадаймо таблицю, де була представлена ієрархія з системою на вершині. Її можна розширити, додавши систему систем і підприємство, що стоїть ще вище.



Над SoS розташоване підприємство, яке, як правило, включає кілька SoS. Більш того, підприємство може складатися з різnotипних систем, необов'язково фізичних. Наприклад, підприємство включає системи, що складаються тільки з людей або соціальні системи, які необхідно комплексувати з фізичними системами.

Формально підприємство визначається як «утворення, що складається з людей, процесів, технологій, систем та інших ресурсів, розподілених організаційно і територіально і взаємодіючих між собою і з оточенням для досягнення спільної мети або рішення загальної задачі». Рівень взаємодії між цими сущностями може змінюватися, як і склад SoS. Наведеним визначенням відповідає багато сущостей, в тому числі майже всі середні і великі організації. Насправді структурні підрозділи деяких великих корпорацій самі є підприємствами для наведеного вище сенсі.

Підпадають під це визначення також урядові агентства і міністерства, а так само великі соціальні та фізичні структури, наприклад міста і держави.

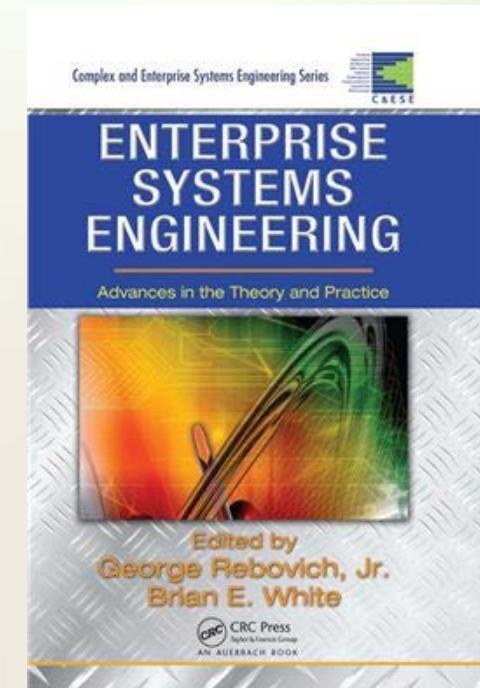
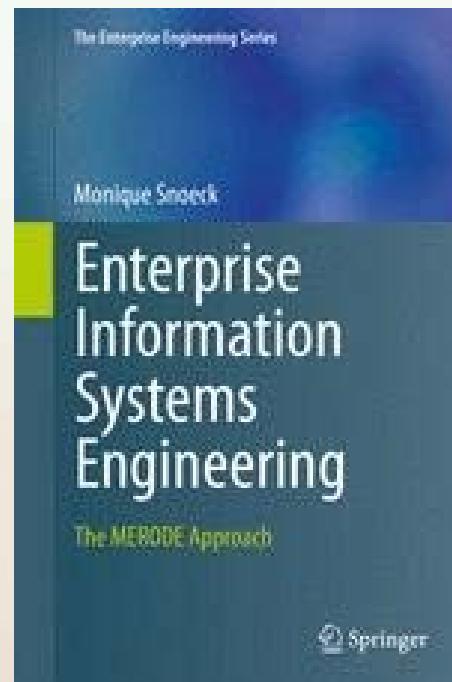
Складність інженерії систем масштабу підприємства обумовлена насамперед необхідністю комплексування різноманітних систем і процесів. Типове підприємство включає наступні компоненти, які необхідно об'єднати в умовах властивою сучасному підприємству невизначеності:

- стратегія бізнесу і стратегічне планування;
- бізнес процеси;
- служби підприємства;
- адміністративне управління;
- технічні процеси;
- управління людьми і їх взаємодіями;
- управління знаннями;
- інформаційно-технологічна інфраструктура та інвестиції в неї;
- управління основними засобами та обладнанням;
- управління запасами;
- управління даними та інформацією.

Під інженерією систем масштабу підприємства (enterprise systems engineering) розуміється застосування принципів і практичних прийомів системної інженерії до інженерії систем, що входять до складу підприємства. Даний термін позначає розробку окремих складових систем підприємства. З'явився також ще один, більш широкий термін, в якому відсутнє слово «система» - інженерія масштабу підприємства (enterprise engineering). Зазвичай під цим розуміється розробка архітектури підприємства, а також розробка, реалізація та експлуатація підприємства як цілого. Деякі автори користуються вищеперечисленними термінами як синонімами, однак насправді вони відносяться до різних рівнів абстракції.

Причина, по якій інженерія систем масштабу підприємства виявляється складніше інженерії SoS, полягає в тому, що багато компонентів підприємства нараховують одну або кілька SoS. Тому підприємство можна було б розглядати як результат комплексування багатьох SoS.

Так само як і для інженерії системи систем, ведеться активна розробка інструментів, методів і прийомів для цієї порівняно молодої галузі.



Висновок

Оскільки системному інженерові необхідні великі пізнання в декількох взаємопов'язаних областях, що стосуються створення складної системи, виникає питання, наскільки глибокими повинні бути ці знання.

Складну систему можна уявляти у вигляді ієрархічної структури, що складається з підсистем, компонентів, субкомпонентів і деталей. Область компетенції системного інженера охоплює самий верхній рівень і простягається до рівня компонентів, поширюючись на кілька галузей знань. Знання ж фахівця з проектування простягаються вгору від рівня деталей до рівня компонентів і, як правило, обмежені окремою технологічною областю або дисципліною.

Складові частини, з яких складаються всі комплексні системи, розташовуються на рівні компонентів і характеризуються функціональними і фізичними ознаками. Вони виконують в системі чітко визначену значущу функцію і є специфічними, тобто відносяться до області окремої інженерної дисципліни.

Функціональні елементи - це функціональні еквіваленти компонентів; серед них за ознакою фізичного носія виділяються чотири категорії компонентів:

- сигнальні елементи, які служать для отримання і передачі інформації;
- інформаційні елементи, які служать для інтерпретації, упорядкування інформації та управління нею;
- матеріальні елементи, які служать для формування структури і перетворення матеріалів;
- енергетичні елементи, які служать джерелами енергії або рушійної сили.

Компоненти - це фізичне втілення функціональних елементів; серед них по фізичним і конструктивним ознаками ми виділили шість категорій:

- електронні;
- електронно-оптичні;
- електромеханічні;
- механічні;
- термомеханічні;
- програмні.

Модель складових частин системи може бути корисною для визначення дій, здатних принести необхідні результати функціонування системи, полегшити функціональну деталізацію і опис окремих функціональних можливостей, а також ідентифікацію інтерфейсів між підсистемами і компонентами і візуалізацію фізичної архітектури системи.

Під оточенням системи мається на увазі все, що знаходиться поза системою, але взаємодіє з нею, а саме: 1) оператори системи (частина функціональних можливостей системи, яка не входить в комплект поставки); 2) технічне обслуговування та ремонт, укриття і системи забезпечення; 3) упаковка, доставка і зберігання; 4) погодні та інші фізичні умови навколишнього середовища; 5) загрози.

Інтерфейси - найважливіша турбота системного інженера; від них залежать взаємодії між компонентами. Можна виділити три категорії інтерфейсів: з'єднувачі, ізолятори і перетворювачі. Інтерфейси необхідно виявити і специфікувати, а також координувати і контролювати. Крім того, для комплексування, а також технічного обслуговування і ремонту зазвичай надаються контрольні інтерфейси.

Будь-яка система - частина більшого утворення. Іноді це утворення також можна назвати системою (а не просто навколишнім середовищем, або «природою»). У таких випадках говорять про системи систем (SoS), у яких є сім відмінних характеристик: експлуатаційна незалежність окремих систем, адміністративна незалежність окремих систем, територіальна розподіленість, емерджентна поведінка, еволюційний розвиток, самоорганізація і адаптація. Інженерія систем масштабу підприємства аналогічна за складністю, але увага тут зосереджується на організації як окремій сутності. Оскільки до складу підприємства входять не тільки технічні, але і соціальні системи, його складність може виявитися непередбачуваною.

Дякую за увагу!