



Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра автоматики і управління в технічних системах

Дисципліна «Системна інженерія»

<https://do.ipr.kpi.ua/>

Семестр 8.

Розділ 1.

Тема 3-1. Аналіз потреб.

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

Київ, 2019

Умовні скорочення

скорочення	повна назва
ЖЦ	життєвий цикл
НДДКР	науково-дослідні і дослідно-конструкторські розробки
ПЗ	програмне забезпечення
ТО	технічне обслуговування

План лекції:

1. Виникнення нової системи.
2. Системний аналіз.
3. Аналіз функціонування.
4. Оцінка здійсненності.
5. Валідація потреб.
6. Вимоги призначення системи

1. Виникнення нової системи

Основна мета етапу аналізу потреб в ЖЦ системи - ясно і переконливо продемонструвати, що дійсно існує практична потреба (або потенційний ринок) в новій системі або в принципової модернізації існуючої і що є практично здійснений підхід до задоволення виявленої потреби з розумними витратами і прийнятним рівнем ризику.

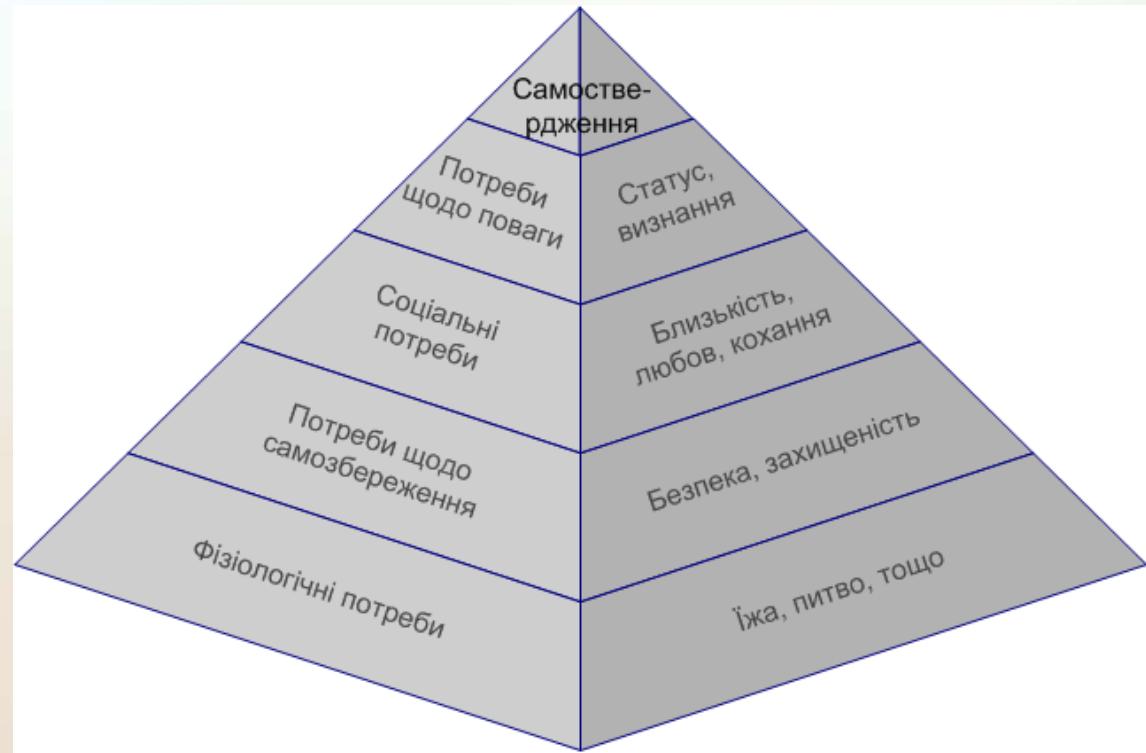
Частково досягти цього можна, подумки сконструювавши щонайменше одну уявну систему, про яку можна сказати, що вона має функціональні можливості, що дозволяють задовільнити знову усвідомлену потребу, а потім описати цю систему настільки детально, щоб переконати осіб, що приймають рішення, що вона технічно реалізуєма і може бути розроблена і вироблена з прийнятними витратами. Коротше кажучи, мета цього процесу - пред'явити переконливі і обґрунтовані аргументи на підтримку виявлених потреб і створити «образ успіху» в умах тих, хто може дати добро на початок розробки нової системи.



Місце етапу аналізу потреб в життєвому циклі системи

Точний момент початку активної розробки нової системи часто не так просто визначити. Пов'язано це з тим, що на самих ранніх етапах виникнення нової системи діяльність зазвичай носить дослідницький характер і по суті своїй неформальна, тобто не має ні сформованої організаційної структури, ні конкретних цілей, ні погодженого графіка робіт. Сенс подібної діяльності - в тому, щоб, ґрунтуючись на оцінці існування дійсної потреби в новій системі і технічно досяжного підходу до її реалізації, визначити виправдано чи ні виділення сил і засобів на її створення.

Ієрархія потреб Маслоу

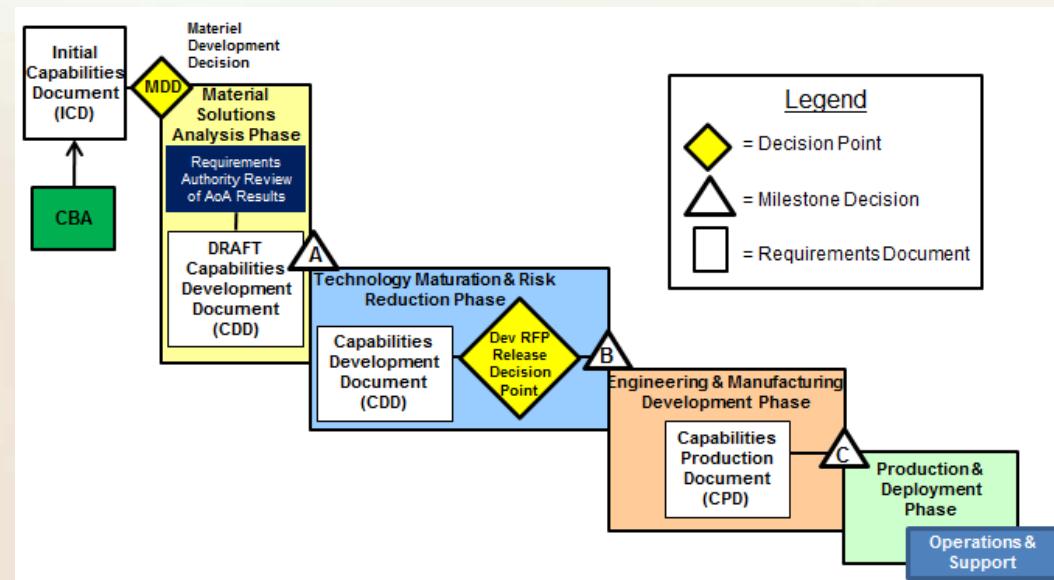


Підходи до розробки систем

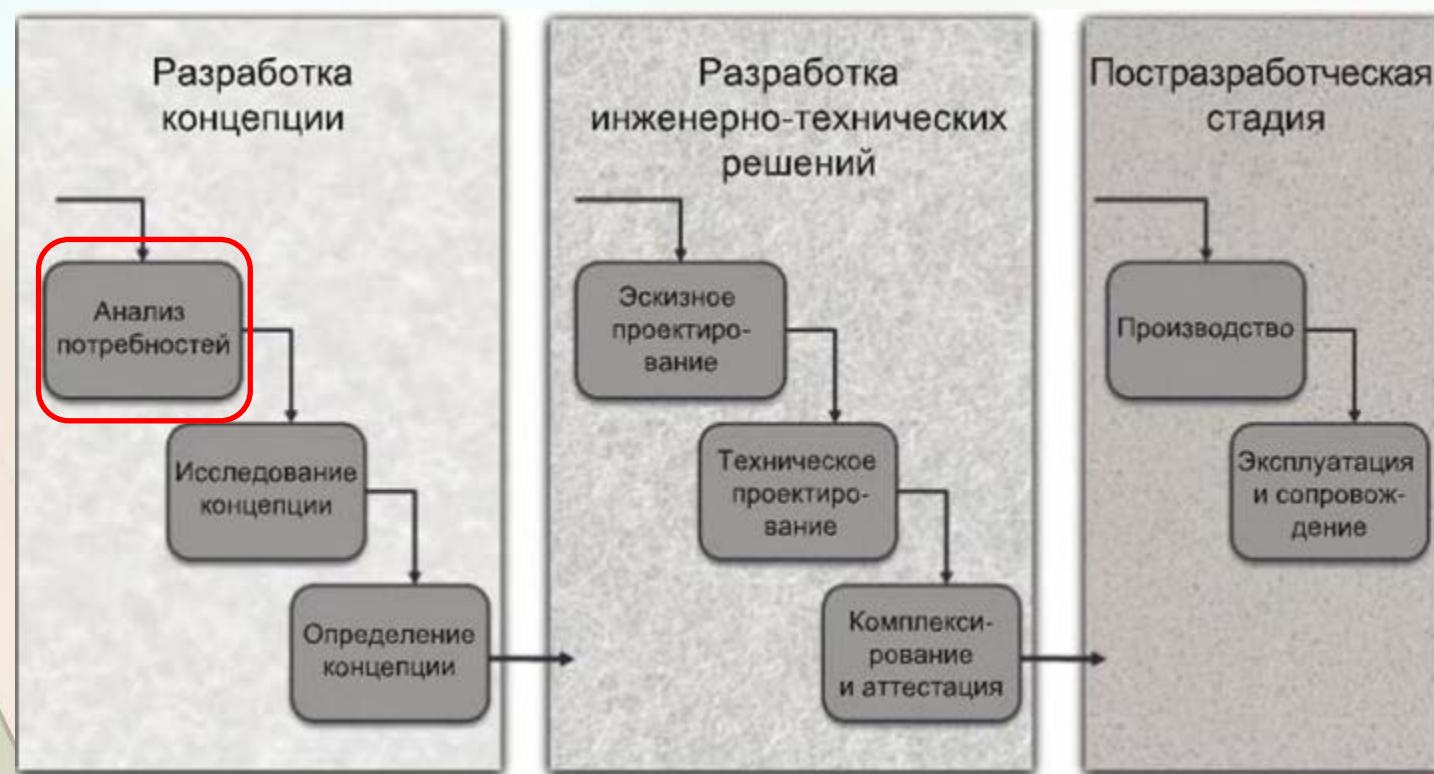
стимульзований
потребами

стимульсований
технічним
прогресом

Наявність окремого етапу, пов'язаного з подібною діяльністю і визначеного вище як аналіз потреб, більш характерно для систем, розробка яких обумовлена потребами, а не новими технологіями. Наприклад, в системах оборонного призначення «аналіз рішення про матеріали» (модель ЖЦ системи МО США) - обов'язкова дія, що випереджає офіційне включення статті в бюджет майбутнього фінансового року, а отже, і виділення засобів для початку робіт над проектом нової системи. В рамках цієї діяльності проводиться визначення потреб, в результаті чого породжується опис вихідних можливостей (initial capability description - ICD), в якому демонструється дійсне наявність потреби або завдання і наводяться аргументи на користь того, що рішення зазначеного завдання можливо і дасть помітні оперативні переваги. В ЖЦ придбання військових систем ця діяльність досягає апогею в першій офіційній точці прийняття рішень.



При розробці системи, зумовленої появою нової технології, як правило нової комерційної системи, етап аналізу потреб вважається частиною стадії розробки концепції. Однак і в цьому випадку повинні виконуватися аналогічні дії, наприклад аналіз ринку, оцінка конкуруючих продуктів і оцінка недоліків існуючої системи в порівнянні з пропонованою. Зазначена діяльність спрямована на те, щоб встановити, чи існує справжня потреба (потенційний ринок) в продукті, який передбачається розробити. Тому в подальшому обговоренні ми не будемо проводити відмінності між системами, розробка яких стимулюється потребами або наявністю нових технологій, якщо тільки це не буде обумовлено явно.



Місце етапу аналізу потреб в ЖЦ системи показано на рисунку. Як бачимо, входами є експлуатаційні недоліки і/або технологічні можливості, що відкрилися. На виходах, які є одночасно входами наступного етапу - дослідження концепції, - ми маємо результати оцінки експлуатаційної ефективності, що дозволяють визначити, яких результатів повинна досягти нова система, для того щоб задовольнити потреби в ЖЦ системи виявлену потребу, а також результати оцінки можливостей системи, результатом якої є отримане на основі всебічного аналізу системи і її функціонування свідоцтво того, що систему, здатну продемонструвати необхідну ефективність, дійсно можна створити, і витрати будуть прийнятними.





Як вже обговорювалося вище і показано на малюнку, рушійною силою для початку робіт над новою системою зазвичай є одна з двох причин: 1) усвідомлення серйозного недоліку існуючої системи, що заважає задовольнити важливу практичну потребу (обумовленість потребами), або 2) ідея, що виникла з появою нової технології і обіцяє дати значну перевагу над наявними системами з точки зору задоволення деякої потреби (технологічна обумовленість). Будь-яка з цих причин може дати поштовх дослідницької та аналітичної діяльності, яка в кінцевому рахунку призведе до запуску програми по розробці нової системи. Нерідко остаточне рішення приймається під впливом обох факторів.

Приклади потреб в новій системі

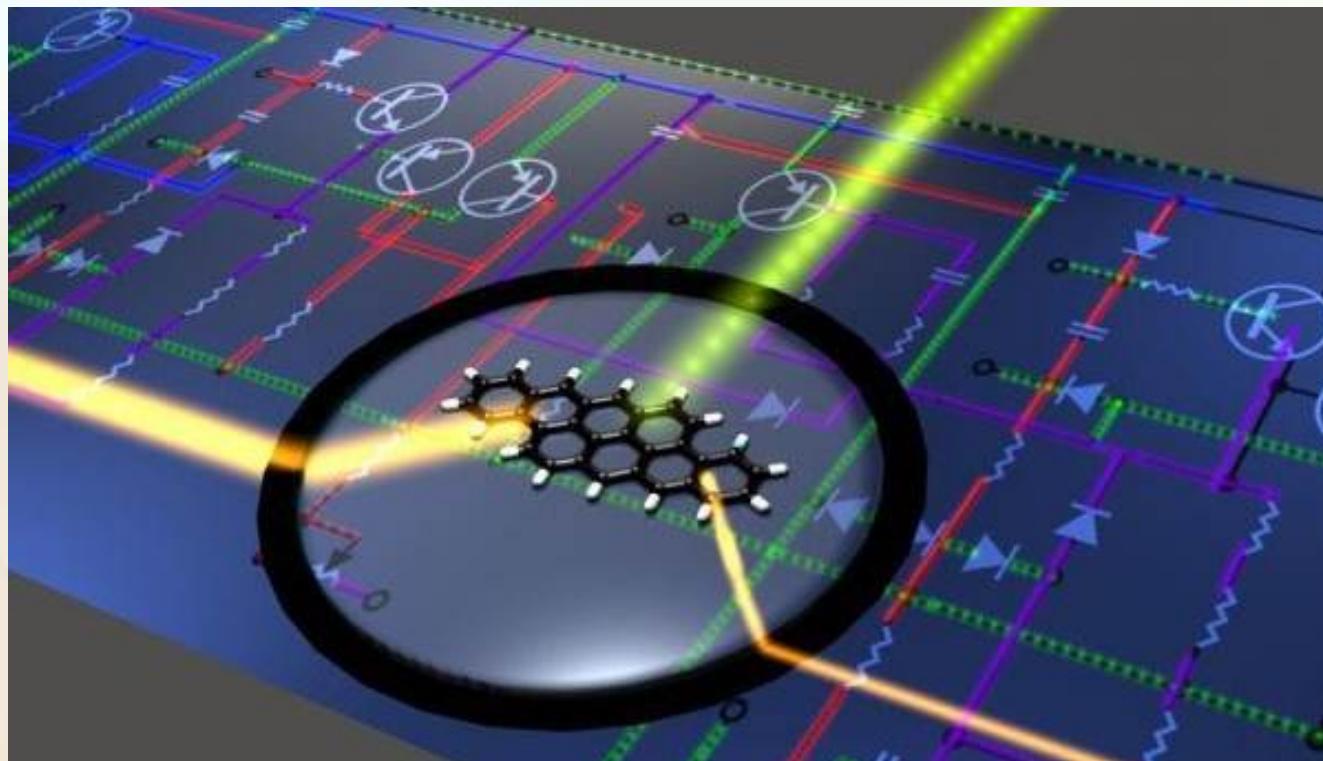
Автомобільна промисловість - яскравий приклад того, як зміна умов диктує необхідність в удосконаленні системи. Прийняті урядами закони змушують виробників домагатися істотних поліпшень в плані економії палива, безпеки і контролю забруднення навколишнього середовища. Чи не за одну ніч існуюча конструкція автомобіля може виявитися застарілою. Нові закони кидають серйозний виклик автомобільної промисловості, тому що вимагають технічно важкого вибору компромісного рішення і розробки багатьох нових компонентів і матеріалів. І хоча держава дала виробникам кілька років на поступове впровадження удосконалень, потреба в інноваційному підході до конструювання і в нових компонентах виявилася вельми термінової. В даному випадку необхідність зміни була обумовлена законодавчими актами, продиктованими потребами всього суспільства.



Прикладом нової системи, поява якої зумовлюється технічним прогресом, може служити використання космічних технологій для задоволення важливих потреб суспільства і військового відомства. Тут розробка ряду передових пристрій, в тому числі потужних рушійних систем, легких матеріалів і компактної електроніки, зробила створення надійних і доступних за ціною космічних ЛА реальністю. В останні роки супутники стали конкурентоспроможними і часто найбільш досконалими платформами для радіорелейного зв'язку, навігації (система GPS), метеорологічних спостережень, а також для розміщення геодезичних і наукових приладів.



Інший приклад системи, розробка якої обумовлена технічним прогресом, - повсюдне застосування комп'ютерних технологій в найрізноманітніших автоматизованих системах промислового та військового призначення. Інформаційні системи (в сфері банківської справи, бронювання квитків, складання маршрутів і матеріального обліку) зазнали особливо значних змін в результаті комп'ютеризації. Старіння колишніх систем в даному випадку відбулося не в результаті виявлення якихось недоліків, а тому, що відкрилися можливості для застосування швидко розвиваються технологій в інтересах розширення можливостей існуючих систем, скорочення витрат і підвищення конкурентоспроможності.



Зовнішні події. Далі ми побачимо, що аналіз потреб ведеться більш-менш постійно як в основних областях діяльності, так і в важливих галузях виробництва. Однак зовнішні події нерідко вимагають інтенсифікувати цей процес і скоригувати його напрямок; це призводить до появи нових вимог призначення. У військовій області причиною може стати виявлення розвідкою нової загрози з боку потенційного противника, виявлення недоліків системи під час локального конфлікту, велике технічне досягнення, виявлене в ході триваючої програми дослідження концепції, або серйозний дефект, виявлений в процесі періодичних експлуатаційних випробувань. У цивільній промисловості стимулом може стати раптова зміна споживчого попиту або кардинальна технічна зміна, наприклад відкриття абсолютно нового продукту або можливість автоматизувати якийсь трудомісткий процес. Різке зростання вартості нафти став стимулом для інтенсивних і успішних робіт по розробці більш економічних цивільних літаків - широкофюзеляжних повітряних суден.



Питання конкуренції

Для переходу від виявлення потреби до початку програми розробки потрібно щось більше, ніж твердження про наявність потреби. Незалежно від джерела фінансування (державне чи приватне), швидше за все, виникне конкуренція за ресурси, необхідні для демонстрації реального існування потреби. У разі військового відомства конкурувати нерідко доводиться з іншим підрозділом або родом військ. Наприклад, чи має забезпечення переваги на морі покладатися на надводні кораблі або на авіацію ВМС або на те й інше? Як домагатися більш чистого повітря: шляхом додаткових обмежень на процес внутрішнього згоряння в двигуні автомобіля або шляхом зміни хімічного складу палива? Відповіді на такі питання можуть зробити істотний вплив на обраний напрям розробки. З наведених причин можна очікувати сильної конкуренції в багатьох секторах, як тільки стане відомо, що на порядку денному стоять розробка нової системи. Завдання відбору варіантів для подальшого розгляду - важливий обов'язок системної інженерії.



Стан матеріалізації проектних рішень

Як описано вище, етапи процесу розробки системи можна розглядати як заходи щодо поступової матеріалізації системи, тобто з просуванням від загального уявного уявлення (концепції) до складного конгломерату технічних і програмних засобів, який виконує практичну функцію.

На цьому початковому етапі ЖЦ системи процес матеріалізації тільки починається. Його статус описується в таблиці, яку ми розглядали вище.

Рівень	Етап					
	Розробка концепції		Розробка інженерно-технічних рішень			
Аналіз потреб	Дослідження концепції	Визначення концепції	Ескізне проектування	Технічне проектування	Комплексування і атестація	
Система	Визначення можливостей і ефективності системи	Ідентифікація, дослідження і синтез концепції	Визначення і документування обраної концепції	Валідація концепції		Випробування і атестація
Підсистема			Визначення функціональної і фізичної архітектури	Валідація підсистем		Комплексування і випробування
Компонент			Прив'язка функцій і компонентів	Складання документації	Проектування і випробування	Комплексування і випробування
Субкомпонент	Візуалізація	Візуалізація		Прив'язка функцій к субкомпонентам	Проектування	
Деталь					Виготовлення або закупівля	

У центрі уваги на даному етапі знаходиться призначення системи, тобто практичні цілі, яких передбачається досягти в результаті введення системи в експлуатацію, а глибина розгляду не йде далі рівня підсистем. Навіть на цьому рівні дію названо «візуалізувати», а не «визначити» або «спроектувати». Слово «візуалізувати» тут і в інших місцях вживається в загальноприйнятому сенсі - «сформувати наочний образ або сприйняття», тобто мається на увазі уявне, концептуальне, а не матеріальне уявлення про предмет. Саме на цьому рівні спільноті, звертаючись до аналогії з елементами існуючих систем, зароджується більшість проектних рішень.

	Етап					
Рівень	Розробка концепції			Розробка інженерно-технічних рішень		
	Аналіз потреб	Дослідження концепції	Визначення концепції	Ескізне проектування	Технічне проектування	Комплексування і атестація
Система	Визначення можливостей і ефективності системи	Ідентифікація, дослідження і синтез концепції	Визначення і документування обраної концепції	Валідація концепції		Випробування і атестація
Підсистема			Визначення функціональної і фізичної архітектури	Валідація підсистем		Комплексування і випробування
Компонент			Прив'язка функцій і компонентів	Складання документації	Проектування і випробування	Комплексування і випробування
Субкомпонент	Візуалізація	Візуалізація		Прив'язка функцій к субкомпонентам	Проектування	
Деталь					Виготовлення або закупівля	

Таблиця дає спрощене уявлення про еволюцію системи в припущені, що на початку процесу всі її елементи розглядаються виключно в думках і по ходу розробки еволюціонують з постійною швидкістю. На практиці так буває надзвичайно рідко. Як протилежний приклад можна привести систему, яка розробляється з метою усунення серйозних недоліків в одній з підсистем попередньої системи. Велика частка інших підсистем при цьому зазнають невеликих змін, за винятком, можливо, вибору деталей, які виготовляються серійно. У такій новій системі більшість підсистем вже далеко просунута в плані стану матеріалізації і далеко не всі з підсистем (а то і взагалі жодна) мають статус концептуального уявлення.

Рівень	Етап					
	Розробка концепції		Розробка інженерно-технічних рішень			
Аналіз потреб	Дослідження концепції	Визначення концепції	Ескізне проектування	Технічне проектування	Комплексування і атестація	
Система	Визначення можливостей і ефективності системи	Ідентифікація, дослідження і синтез концепції	Визначення і документування обраної концепції	Валідація концепції		Випробування і атестація
Підсистема			Визначення функціональної і фізичної архітектури	Валідація підсистем		Комплексування і випробування
Компонент			Прив'язка функцій і компонентів	Складання документації	Проектування і випробування	Комплексування і випробування
Субкомпонент	Візуалізація	Візуалізація		Прив'язка функцій к субкомпонентам	Проектування	
Деталь					Виготовлення або закупівля	

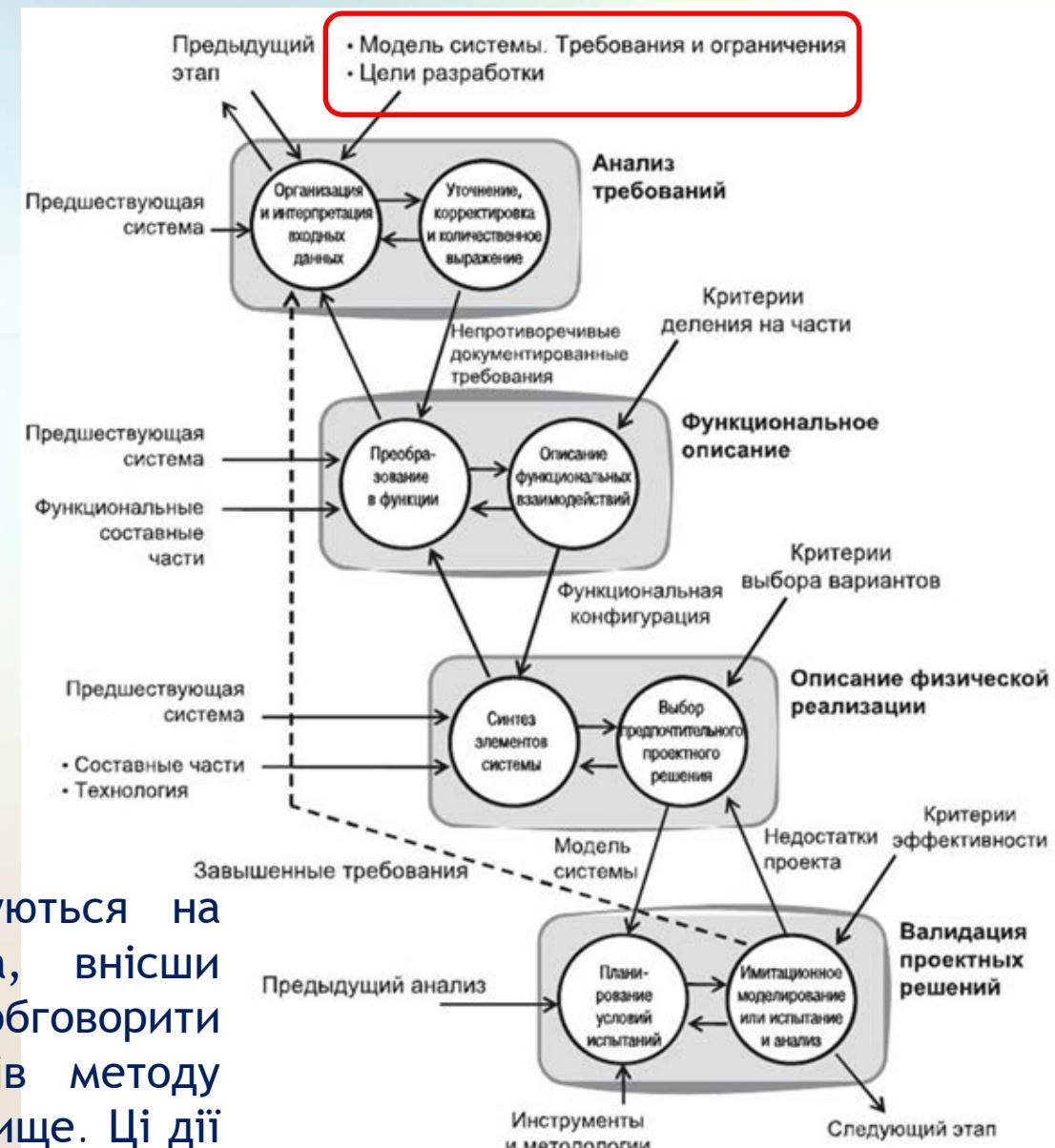
Аналогічно якщо розробка нової системи обумовлена технічним прогресом, тобто інноваційний підхід обіцяє великий виграв в функціональних можливостях, то цілком ймовірно, що частини системи, що не мають прямого відношення до нової технології, будуть засновані на існуючих компонентах системи. Таким чином, в обох випадках статус матеріалізації системи не однаковий для її різних частин, а залежить від того, яким чином конкретна частина утворилася. Проте загальний принцип, показаний в таблиці, корисний для розуміння процесу розробки системи.

	Етап					
Рівень	Розробка концепції			Розробка інженерно-технічних рішень		
	Аналіз потреб	Дослідження концепції	Визначення концепції	Ескізне проектування	Технічне проектування	Комплексування і атестація
Система	Визначення можливостей і ефективності системи	Ідентифікація, дослідження і синтез концепції	Визначення і документування обраної концепції	Валідація концепції		Випробування і атестація
Підсистема			Визначення функціональної і фізичної архітектури	Валідація підсистем		Комплексування і випробування
Компонент			Прив'язка функцій і компонентів	Складання документації	Проектування і випробування	Комплексування і випробування
Субкомпонент	Візуалізація	Візуалізація		Прив'язка функцій к субкомпонентам	Проектування	
Деталь					Виготовлення або закупівля	

Застосування методу системної інженерії до аналізу потреб і вимог

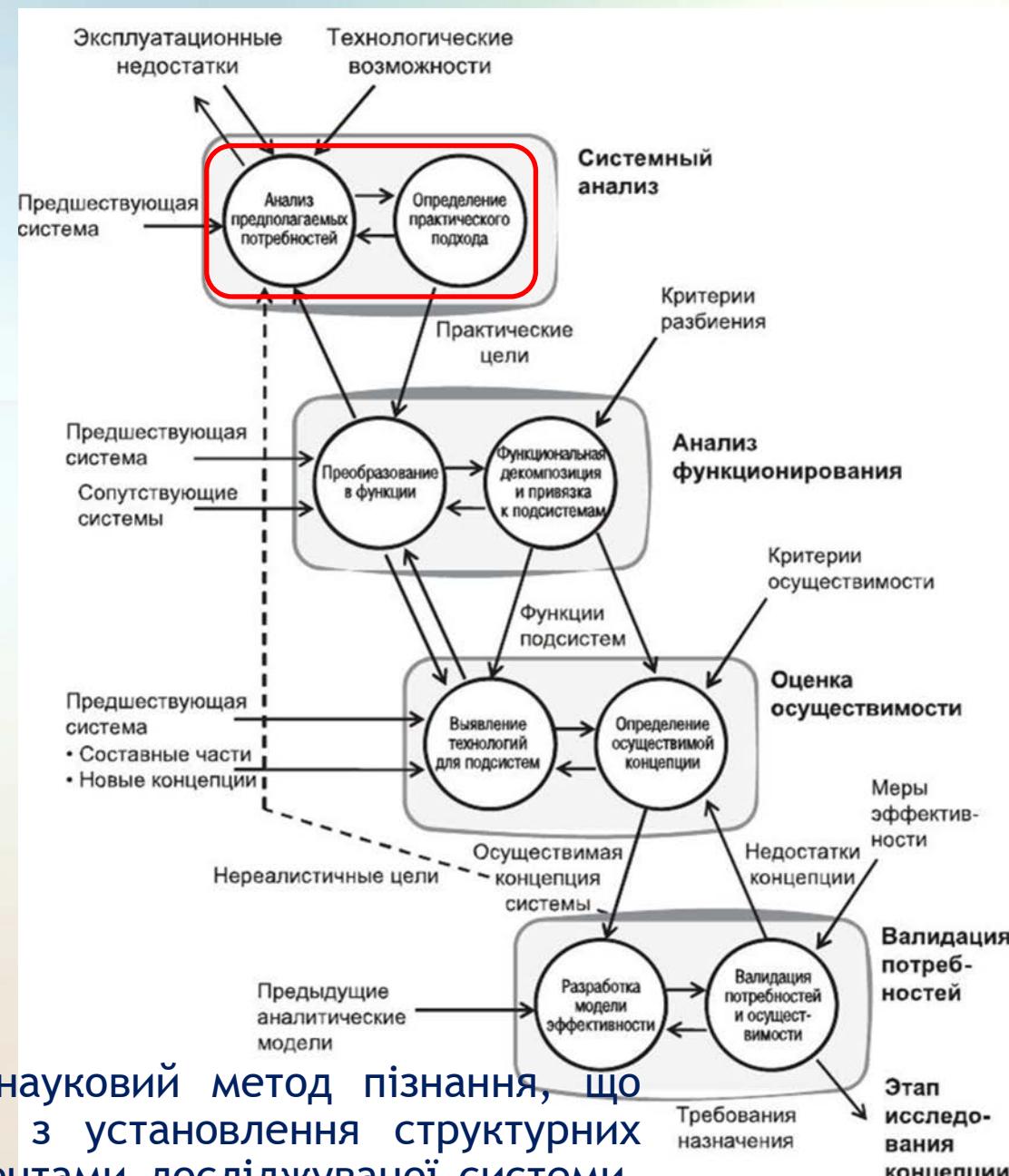
Оскільки етап аналізу потреб є першим кроком в циклі розробки системи, то він по необхідності відрізняється від більшості наступних етапів. Раз не існує попереднього етапу, то вхідні впливи повинні надходити з інших джерел, що залежать, зокрема, від того, обумовлена наявністю потреб або технічним прогресом, і від того, проводиться вона під егідою держави або комерційної компанії.

Проте дії, що виконуються на етапі аналізу потреб, можна, вініши необхідні корективи, з користю обговорити в термінах 4 основних кроків методу системної інженерії, описаних вище. Ці дії перераховані нижче, при цьому в дужках дані узагальнені назви окремих кроків.



Системний аналіз (аналіз вимог). Типові види діяльності:

- аналіз передбачуваних потреб в новій системі в плані наявності серйозних недоліків у існуючих систем або потенційної можливості для істотного поліпшення характеристик або зниження вартості завдяки застосуванню нової технології;
- аналіз ступеня задоволення передбачуваних потреб шляхом їх екстраполяції на весь термін служби нової системи;
- визначення кількісно охарактеризованих практичних цілей, а також концепції функціонування.

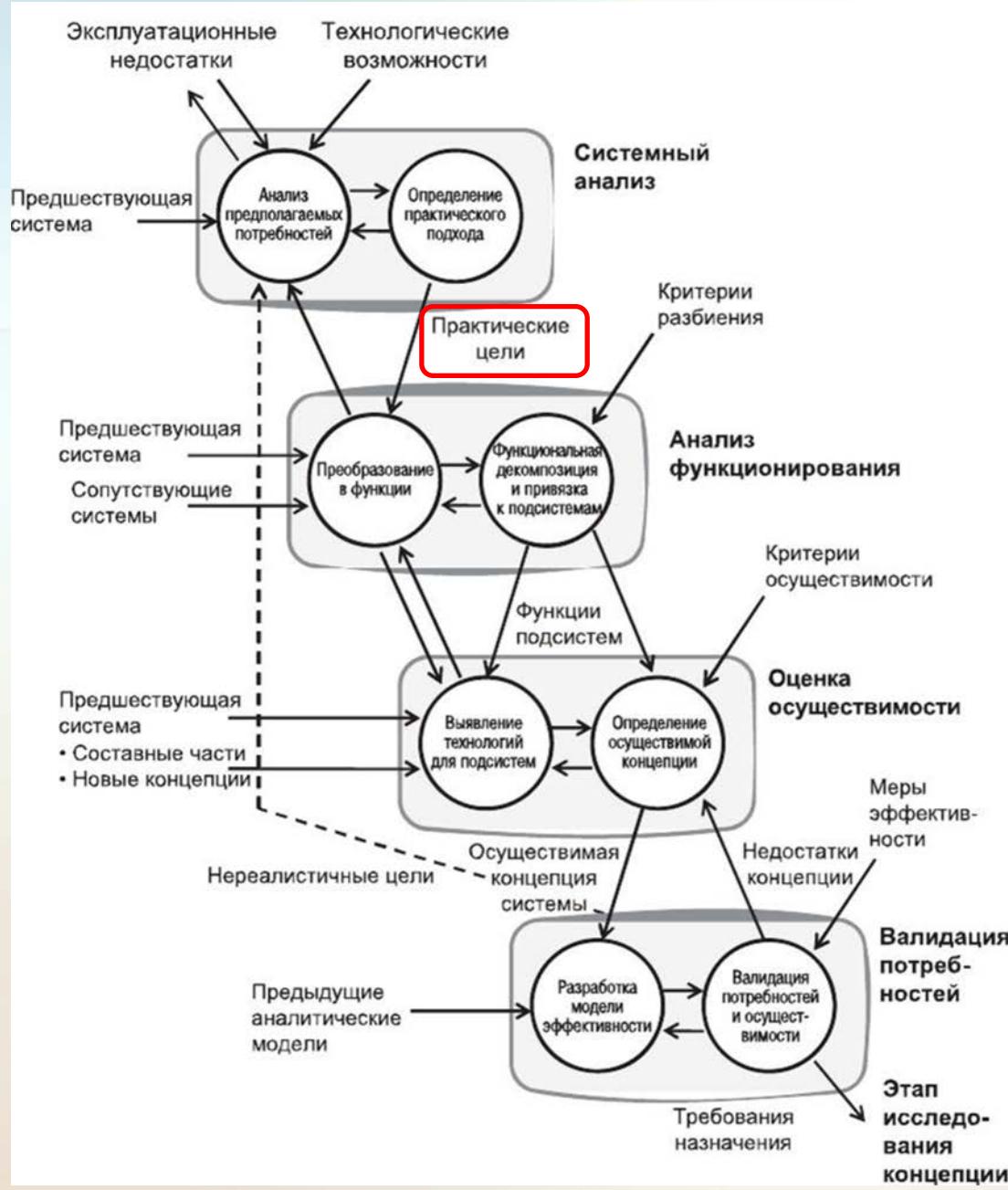


Системний аналіз – науковий метод пізнання, що являє собою послідовність дій з установлення структурних зв'язків між змінними або елементами досліджуваної системи. Спирається на комплекс загальнонаукових, експериментальних, природничих, статистичних, математичних методів.

У загальному випадку результатами цієї діяльності є перелік практичних цілей і можливостей системи.

Мета (Objective) - практична вигода або передбачуваний ефект, виражені у вигляді переваг щодо майбутнього стану (ISO/IEC 15414).

Можливість (Capability) - здатність організації, системи або процесу виробляти продукцію, яка буде відповідати вимогам до цієї продукції (ISO 9000).



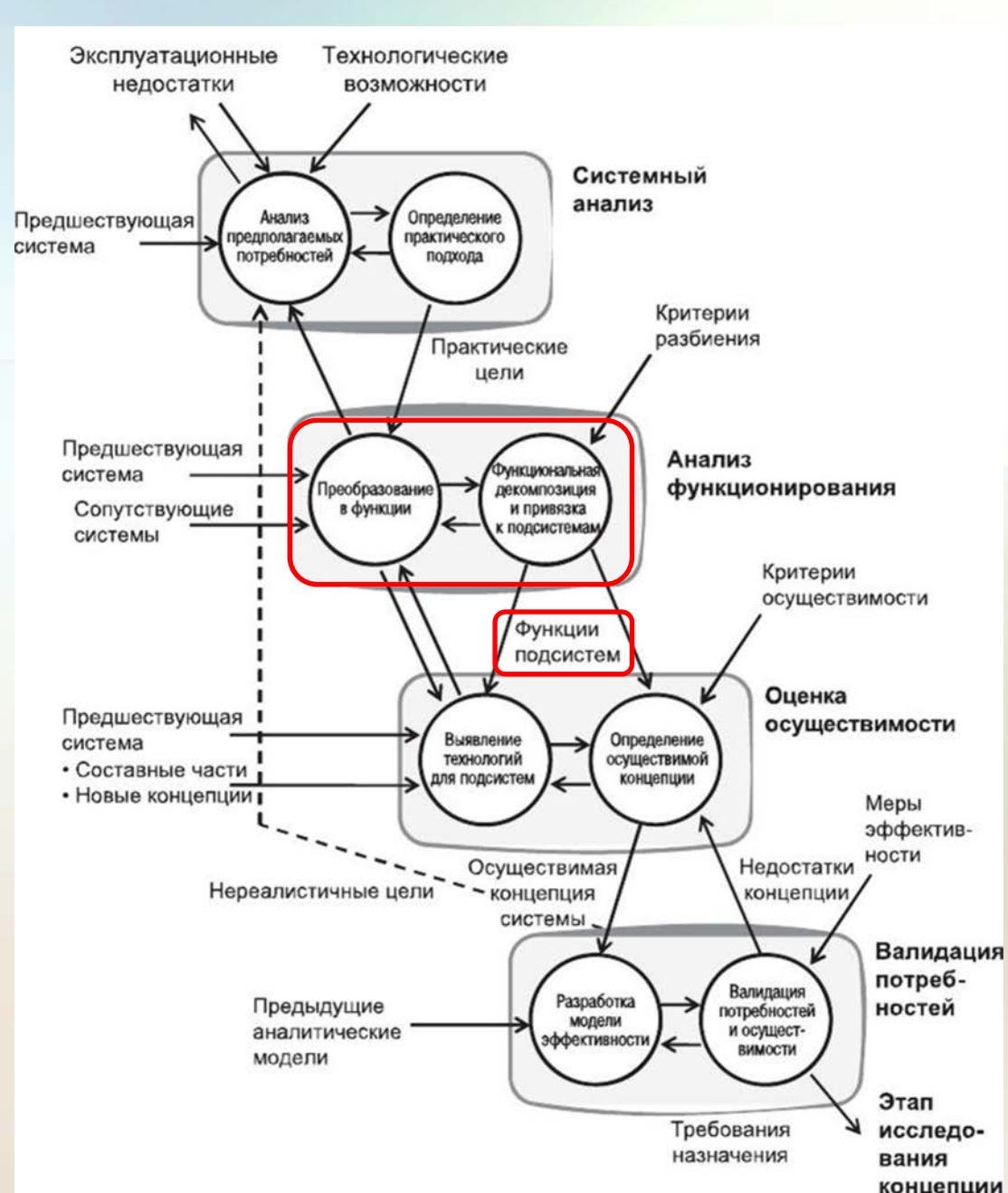
Аналіз функціонування (функціональний опис)

Типові види діяльності:

- перетворення опису практичних цілей в опис функцій, що підлягають виконанню;
- функціональна декомпозиція з прив'язкою функцій до підсистем на основі опису функціональних взаємодій і формування на цій основі модульної конфігурації.

У загальному випадку результатом цієї діяльності є перелік вихідних функціональних вимог.

Функціональна вимога (Functional Requirement) - вимога, що визначає функцію, яку повинна бути здатна виконати система або елемент системи (ISO/IEC 24765).

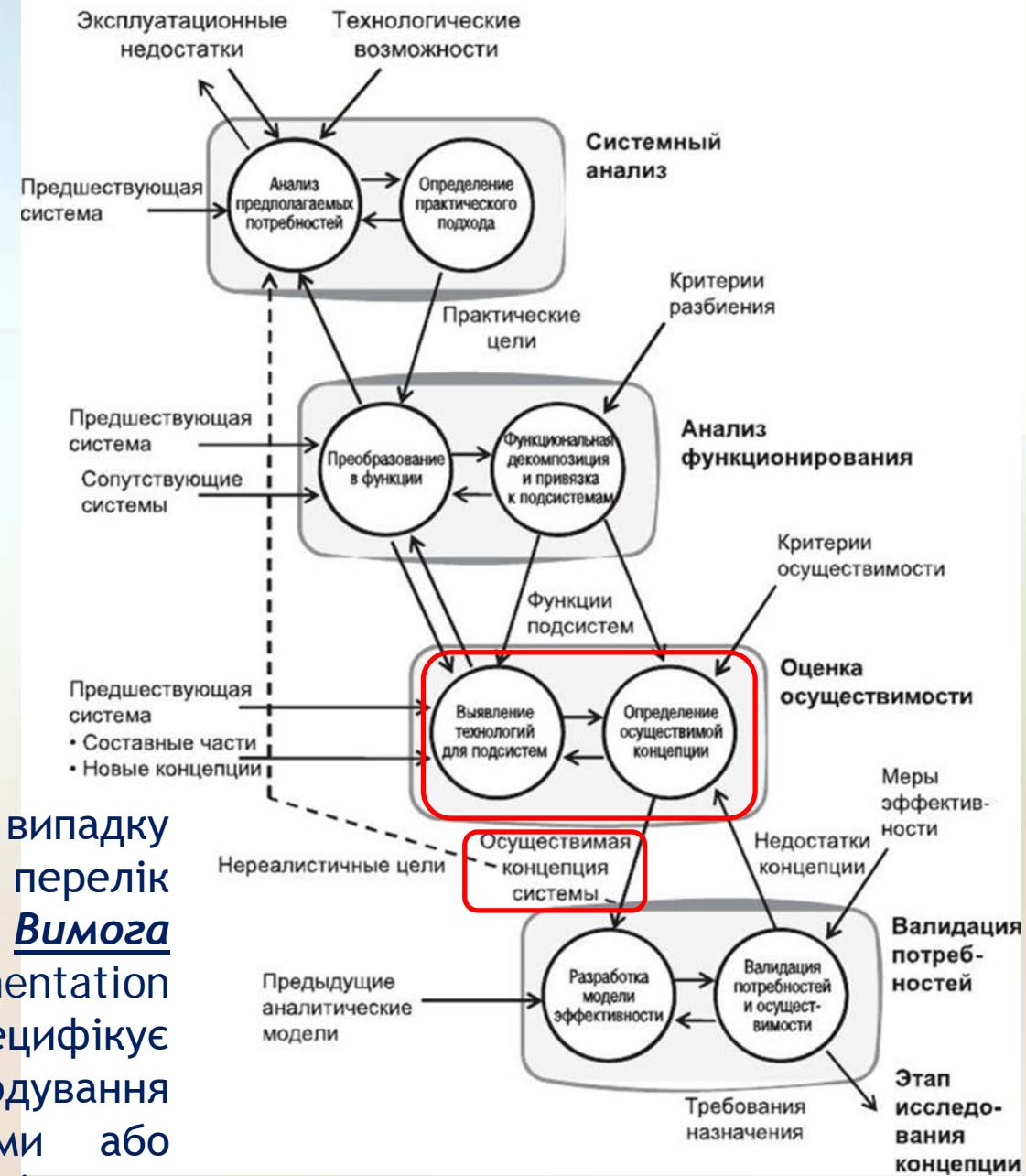


Оцінка здійсненості (опис фізичної реалізації).

Типові види діяльності:

- формування наочного уявлення про фізичну природу підсистем, призначених для виконання необхідних функцій системи;
- визначення здійсненою концепції в термінах можливостей і оцінки витрат за умови застосування різних (аналіз компромісів) підходів до реалізації.

У загальному результатом цієї діяльності є перелік вихідних вимог до реалізації. Вимога до реалізації (Implementation Requirement) - вимога, яка специфікує або накладає обмеження на кодування або на конструкцію системи або елемента системи (ISO/IEC 24765).

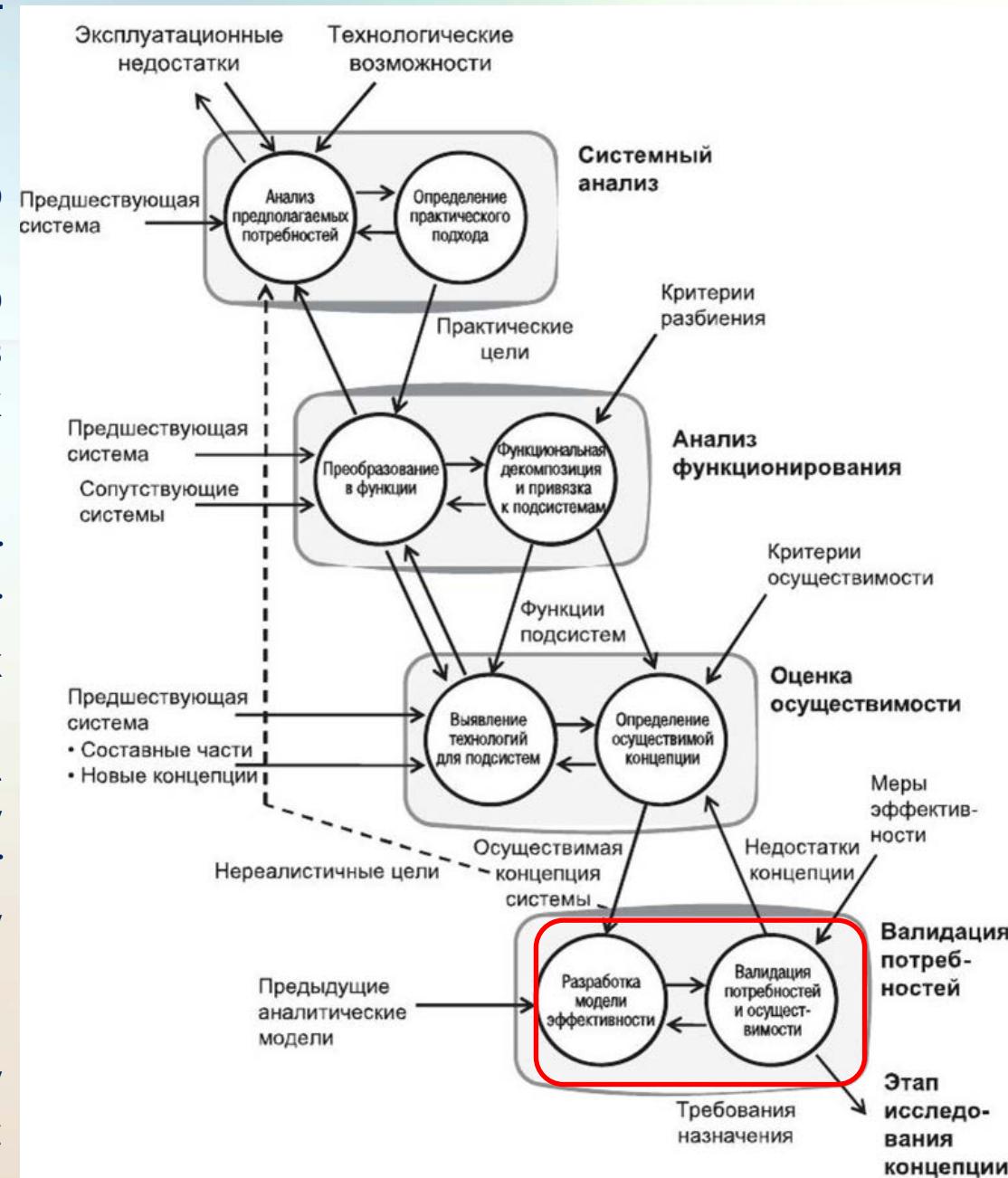


Валідація потреб (валідація проектних рішень).

Види діяльності:

- розробка або адаптація моделі ефективності (аналітичної або імітаційної) згідно з різними сценаріями практичного використання системи і з урахуванням економічних чинників (вартість, ринок і т.д.);
- визначення критеріїв валідації;
- демонстрація економічної ефективності обраної концепції системи після необхідних коригувань і декількох ітерацій;
- вибудування аргументів на користь інвестицій в розробку нової системи, здатної задовольнити прогнозовану потребу.

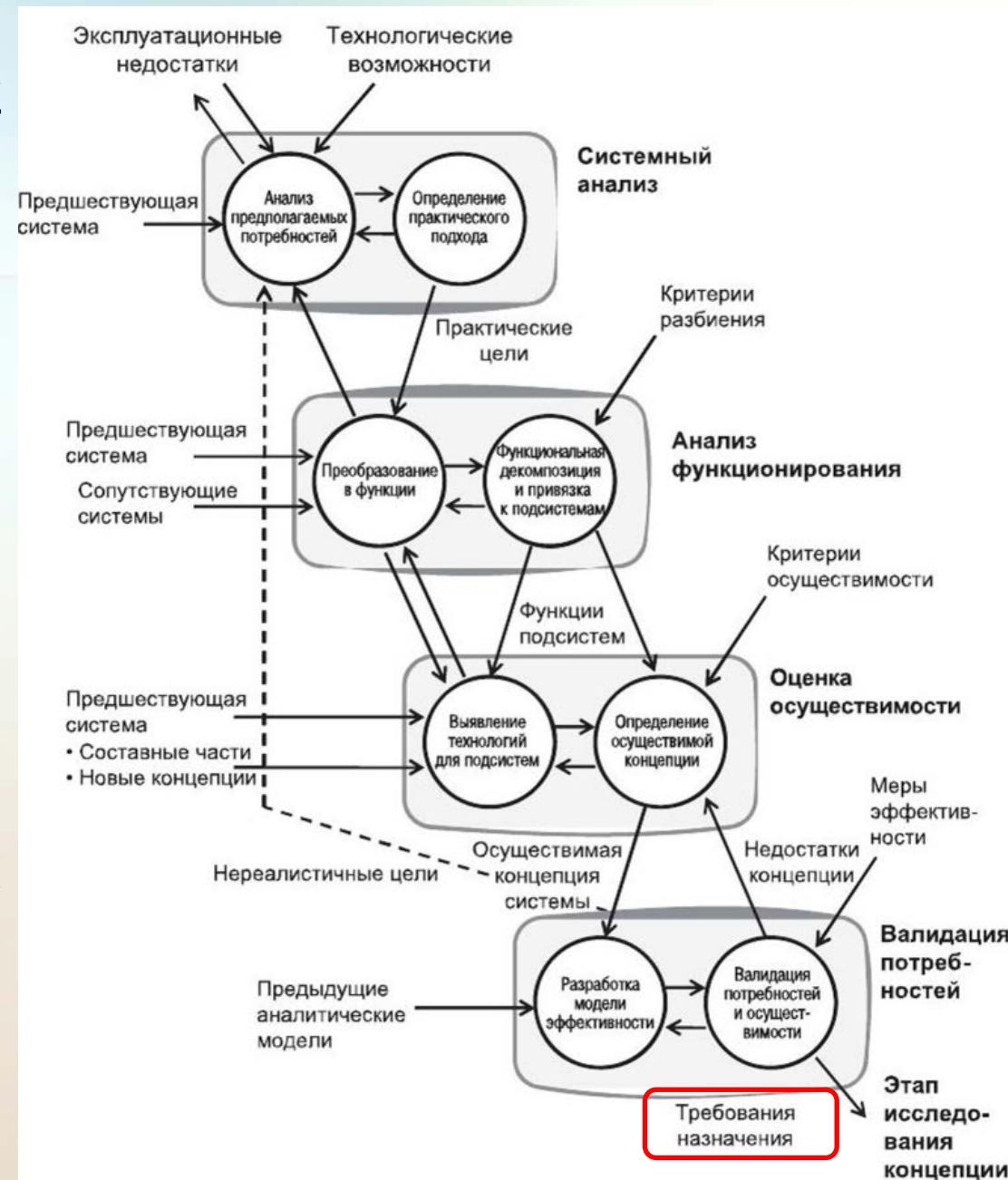
У загальному випадку результатом цієї діяльності є перелік критеріїв валідації.



Для успішного завершення процесу аналізу потреб необхідно перетворити практичні цілі в набір добре формалізованих і кількісно визначених **вимог призначення**.

Вимоги призначення (*operational requirements*).

Відносяться головним чином до призначення і цілям створення системи. Сукупність вимог призначення повинна описати і довести до відома кінцевий стан світу після того, як система буде розгорнута і почне використовуватися за призначенням. Отже, вимоги цього типу досить широкі і розкривають призначення і загальні цілі створення системи. У них система розглядається як єдине ціле. У деяких організаціях вимоги називаються «Вимогами до можливостей системи» або просто «необхідними можливостями».



Інші типи вимог:

Функціональні вимоги (functional requirements). Відносяться головним чином до того, що система повинна робити. Ці вимоги повинні бути орієнтовані на дії і описувати завдання або види діяльності, виконувані системою під час експлуатації. На даному етапі система розглядається як ціле, але функціональні вимоги повинні бути переважно виражені в кількісному вигляді. Далі вони будуть уточнюватися.

IMPORTANCE OF DEFINING FUNCTIONAL & NON-FUNCTIONAL REQUIREMENTS

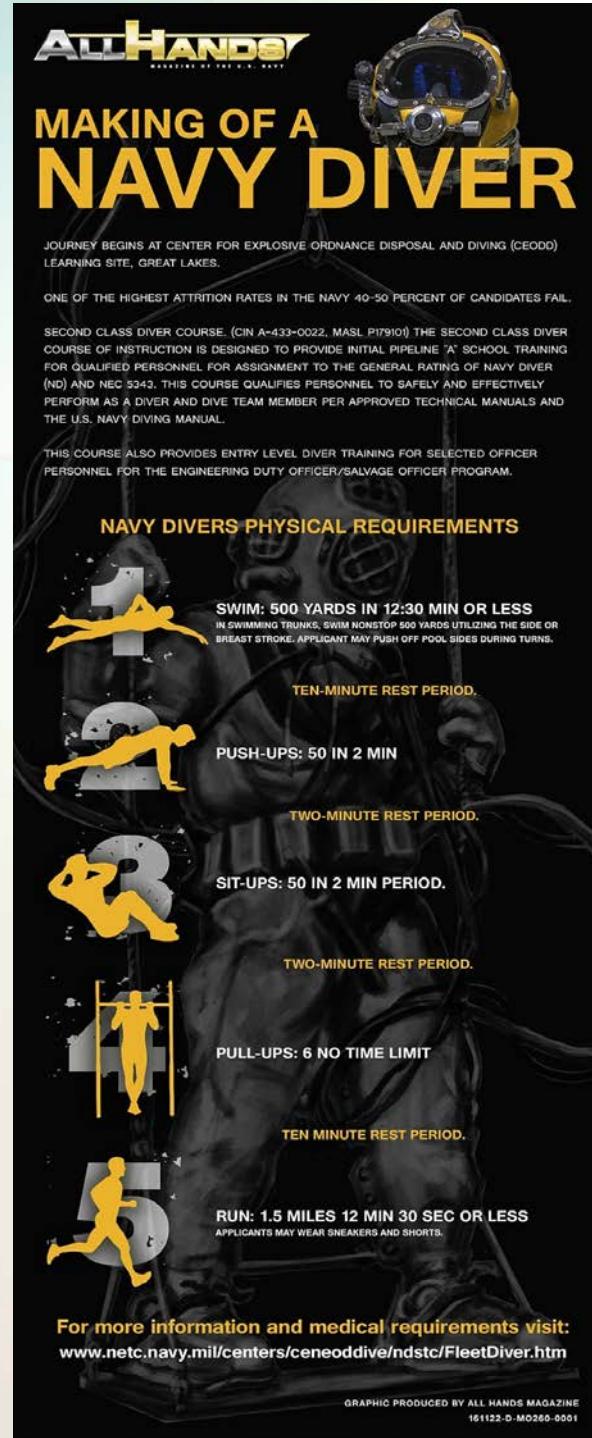


Вимоги до показників функціонування (performance requirements).

Вимога до функціонування (Performance Requirement) - вимірний критерій, який визначає атрибут якості функціонування або ступінь відповідності заданим функціональним вимогам (ISO/IEC 26702). Відносяться головним чином до того, наскільки добре система повинна виконувати вимоги до неї вимоги і впливати на своє оточення. У багатьох випадках ці вимоги відповідають розглянутим вище видам вимог і включають мінімальні числові порогові значення. Майже завжди вони є об'єктивними і кількісними, хоча бувають і виключення. На наступних двох етапах вони піддаються уточненню.

Vehicle Performance Index	Value
Acceleration time 0–50 km/h	≤ 10 s
Acceleration time 50–80 km/h	≤ 15 s
Gradeability during 60 km/h	$\geq 4\%$
Gradeability during 30 km/h	$\geq 12\%$
Maximum gradeability	$\geq 20\%$
Maximum speed	≥ 80 km/h
All-electric range	≥ 80 km

Вимоги к реалізації (Physical Requirements). Фізична вимога (Physical Requirement) - вимога, яке специфікує фізичну характеристику, якою повинна володіти система або елемент системи (ISO/IEC 24765). Відносяться до характеристик і атрибутів фізичного втілення системи і до фізичних обмежень на її конструкцію. Можуть стосуватися зовнішнього вигляду, загальних властивостей, а також обсягу, ваги, потужності, матеріалу і обмежень на зовнішні інтерфейси системи. У багатьох організаціях немає спеціального терміну для цих вимог, їх називають просто обмеженнями або вимогами до системи. На наступних 2 етапах вони уточнюються.



ALL HANDS
MAKING OF A NAVY DIVER

JOURNEY BEGINS AT CENTER FOR EXPLOSIVE ORDNANCE DISPOSAL AND DIVING (CEODD) LEARNING SITE, GREAT LAKES.

ONE OF THE HIGHEST ATTRITION RATES IN THE NAVY 40-50 PERCENT OF CANDIDATES FAIL.

SECOND CLASS DIVER COURSE. (CIN A-433-0022, MASL PI7910) THE SECOND CLASS DIVER COURSE OF INSTRUCTION IS DESIGNED TO PROVIDE INITIAL PIPELINE "A" SCHOOL TRAINING FOR QUALIFIED PERSONNEL FOR ASSIGNMENT TO THE GENERAL RATING OF NAVY DIVER (ND) AND NEC 5343. THIS COURSE QUALIFIES PERSONNEL TO SAFELY AND EFFECTIVELY PERFORM AS A DIVER AND DIVE TEAM MEMBER PER APPROVED TECHNICAL MANUALS AND THE U.S. NAVY DIVING MANUAL.

THIS COURSE ALSO PROVIDES ENTRY LEVEL DIVER TRAINING FOR SELECTED OFFICER PERSONNEL FOR THE ENGINEERING DUTY OFFICER/SALVAGE OFFICER PROGRAM.

NAVY DIVERS PHYSICAL REQUIREMENTS

1. SWIM: 500 YARDS IN 12:30 MIN OR LESS
IN SWIMMING TRUNKS, SWIM NONSTOP 500 YARDS UTILIZING THE SIDE OR BREAST STROKE. APPLICANT MAY PUSH OFF POOL SIDES DURING TURNS.

2. TEN-MINUTE REST PERIOD.

3. PUSH-UPS: 50 IN 2 MIN
TWO-MINUTE REST PERIOD.

4. SIT-UPS: 50 IN 2 MIN PERIOD.
TWO-MINUTE REST PERIOD.

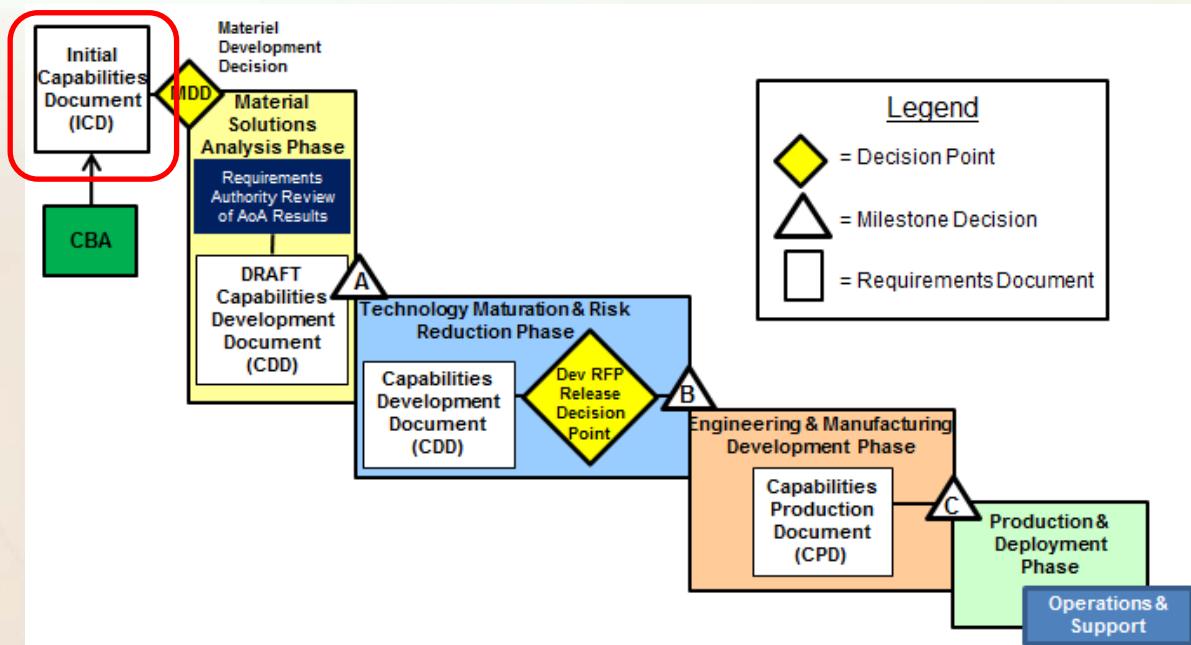
5. PULL-UPS: 6 NO TIME LIMIT
TEN MINUTE REST PERIOD.

6. RUN: 1.5 MILES 12 MIN 30 SEC OR LESS
APPLICANTS MAY WEAR SNEAKERS AND SHORTS.

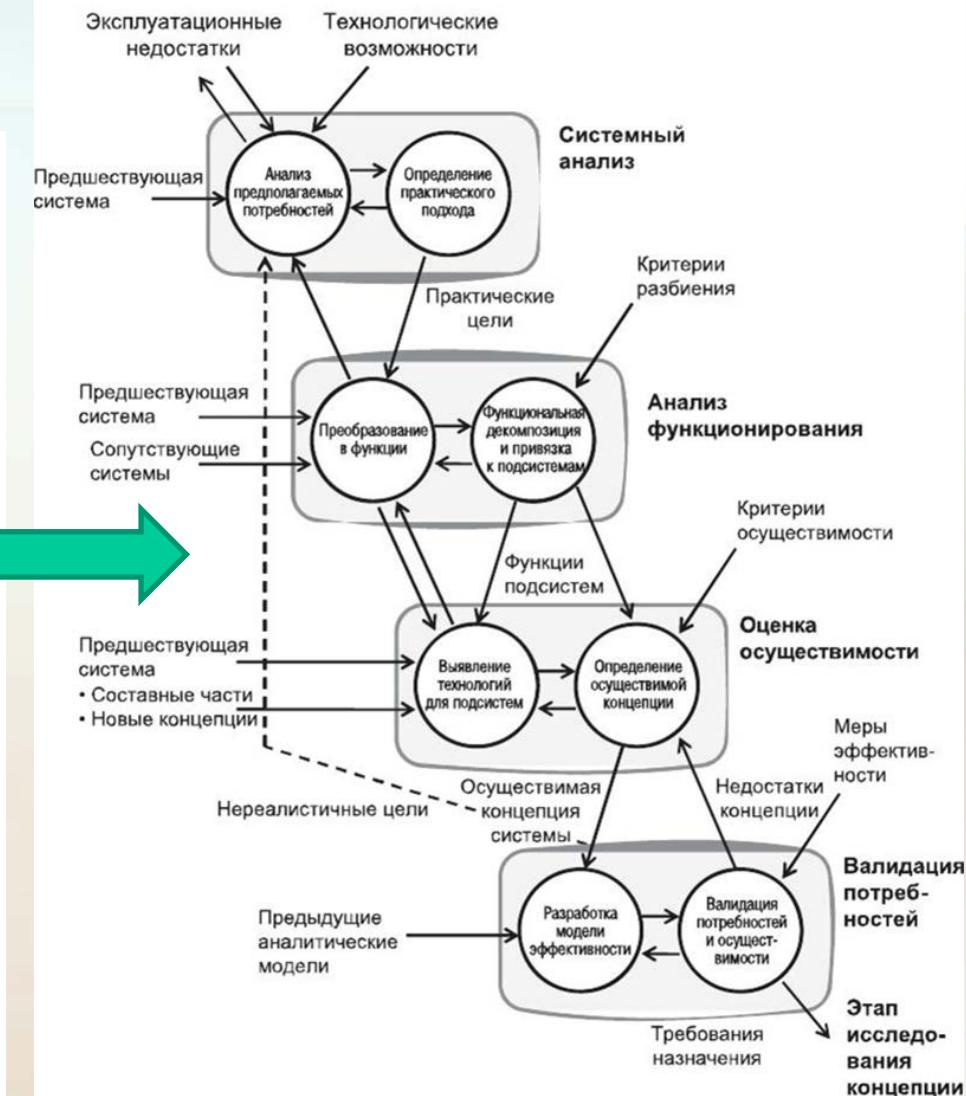
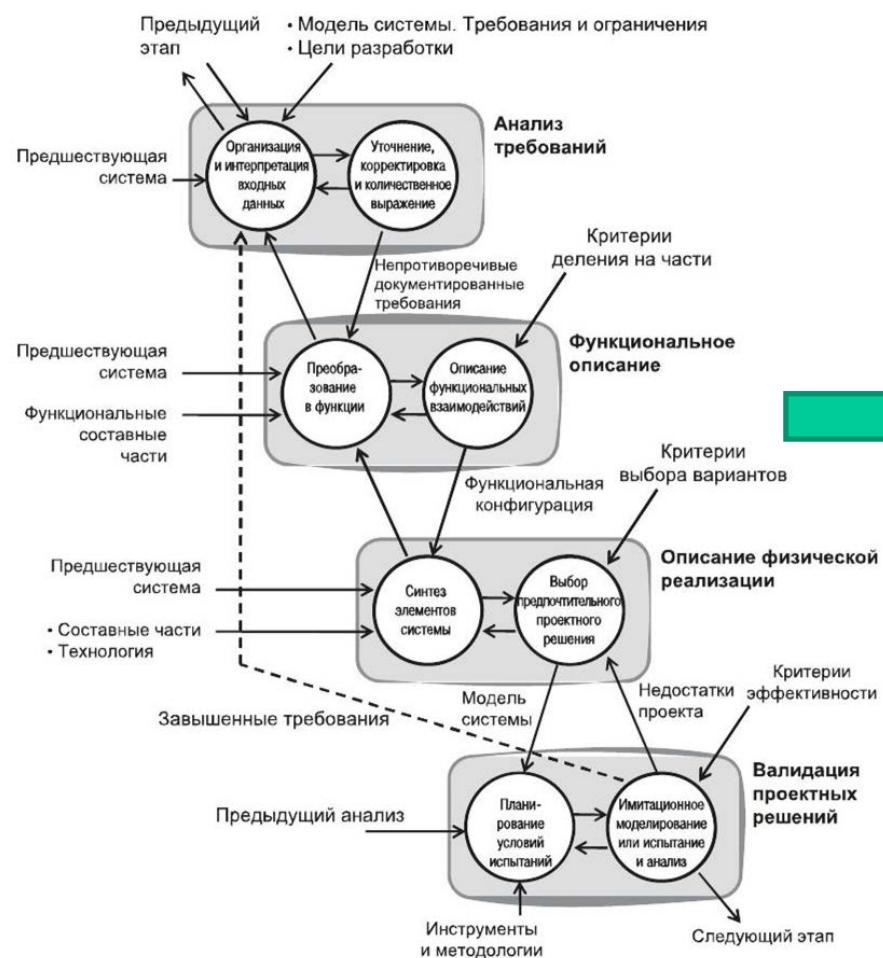
For more information and medical requirements visit:
www.netc.navy.mil/centers/ceneodive/ndstc/FleetDiver.htm

GRAPHIC PRODUCED BY ALL HANDS MAGAZINE
161122-D-M0260-0051

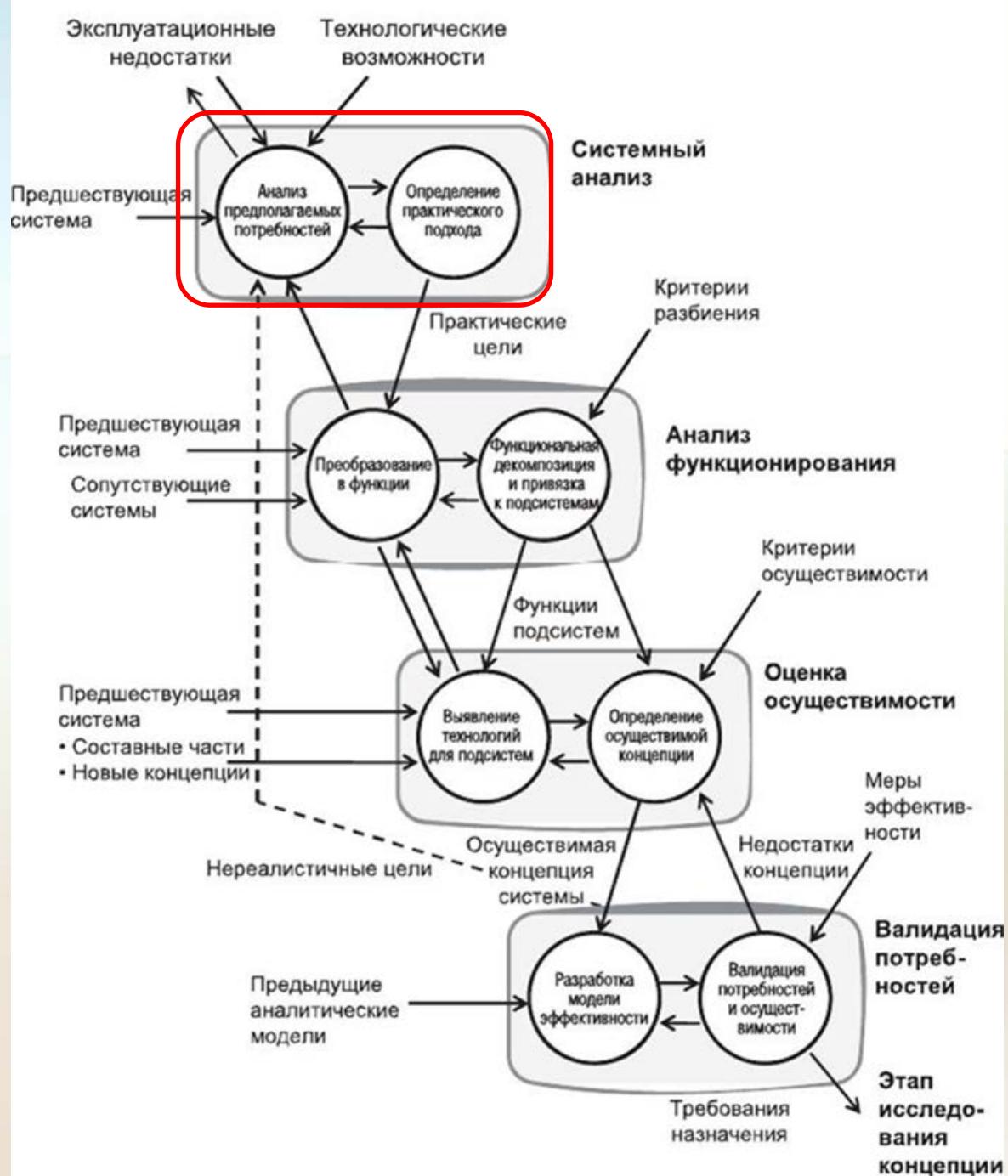
При розробці системи з нуля результатом першої ітерації на етапі аналізу потреб є набір вимог призначення, занадто загальних і не повністю конкретизованих. У військовому відомстві США, наприклад, схожий на опис вимог документ складається за результатами аналізу потреб і формально називається **описом вихідних можливостей** - ICD. Цей термін використовується також поза МО для позначення узагальненого опису бажаних можливостей. Так чи інакше, документ, подібний ICD, містить узагальнений опис концепції системи, в якій відчувається потреба, і зосереджений насамперед на вимогах призначення або можливостях системи. Включаються тільки високорівневі функціональні вимоги, а також високорівневі вимоги до показників функціонування і до фізичної реалізації. У документах, які розробляються пізніше, цей вихідний список повинен бути уточнений і деталізований.



На рисунку зображені елементи методу системної інженерії стосовно щойно розглянутого етапу аналізу потреб. Це пряма адаптація рисунка до видів діяльності на даному етапі. Прямокутні блоки представляють чотири основні кроки, окружності - основні види діяльності, а стрілками позначений напрямок потоку інформації.

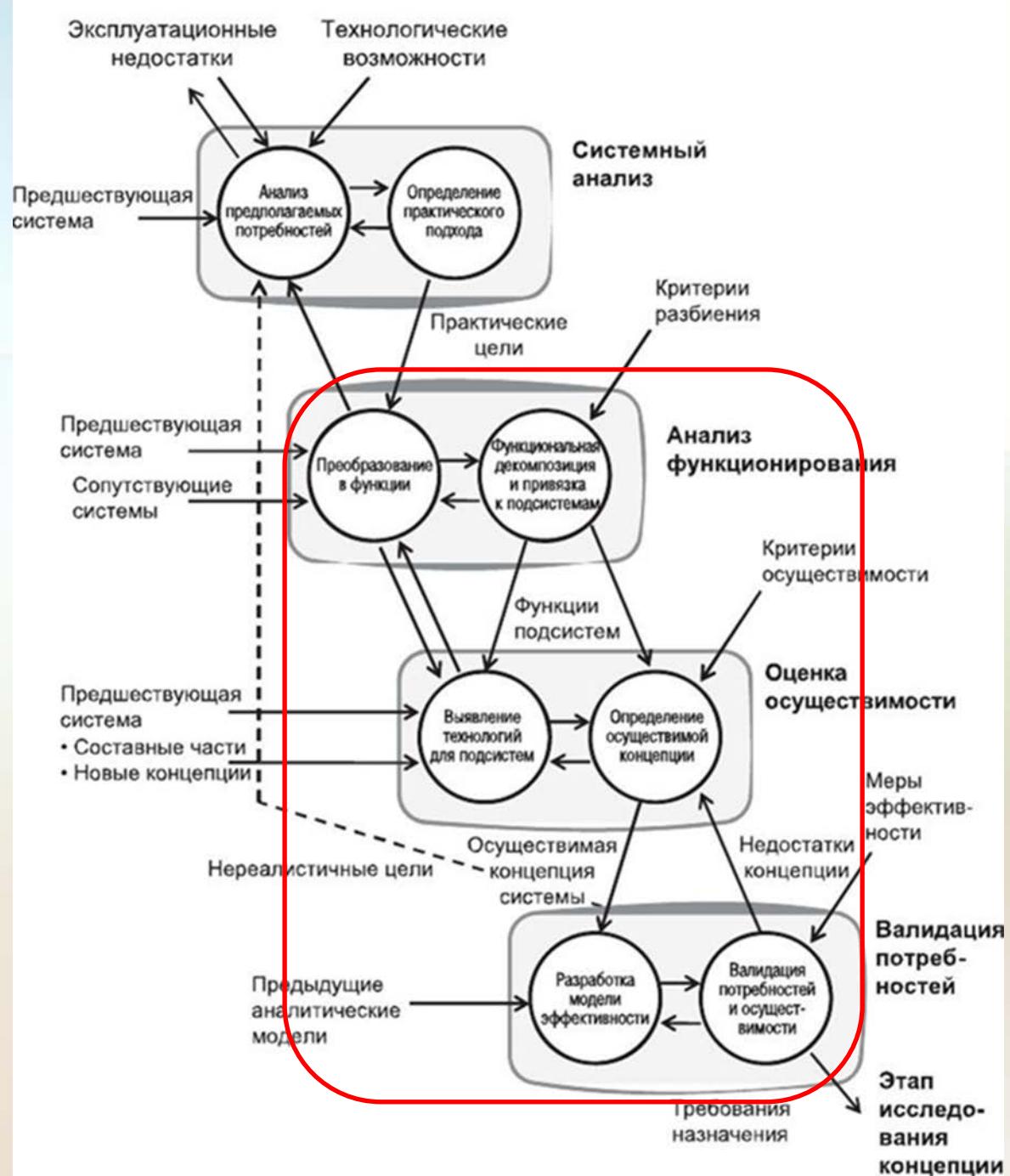


У верхній частині показані входи цього етапу: експлуатаційні недоліки і технологічні можливості. Потреби визначаються недоліками існуючих систем - в силу морального старіння або інших причин. Нові технологічні можливості, що з'явилися в результаті технічного прогресу і дозволяють істотно поліпшити характеристики або знизити ринкову вартість системи, - технологічні стимули розробки нових систем. В останньому випадку повинна існувати концепція функціонування, в якій є місце нової технології.



Другий і третій кроки відносяться до визначення наявності хоча б однієї концепції, здійсненою з розумними витратами і прийнятним ризиком.

Аналіз завершується кроком валідації, на якому також піддається перевірці значимість даної потреби: чи є шанс, що інвестиції в розробку нової системи окупляться. Кожен з цих 4 кроків розглядається більш детально далі.



Діяльність на етапі аналізу потреб

Системний
аналіз
осмислення
потреби в
новій
системі

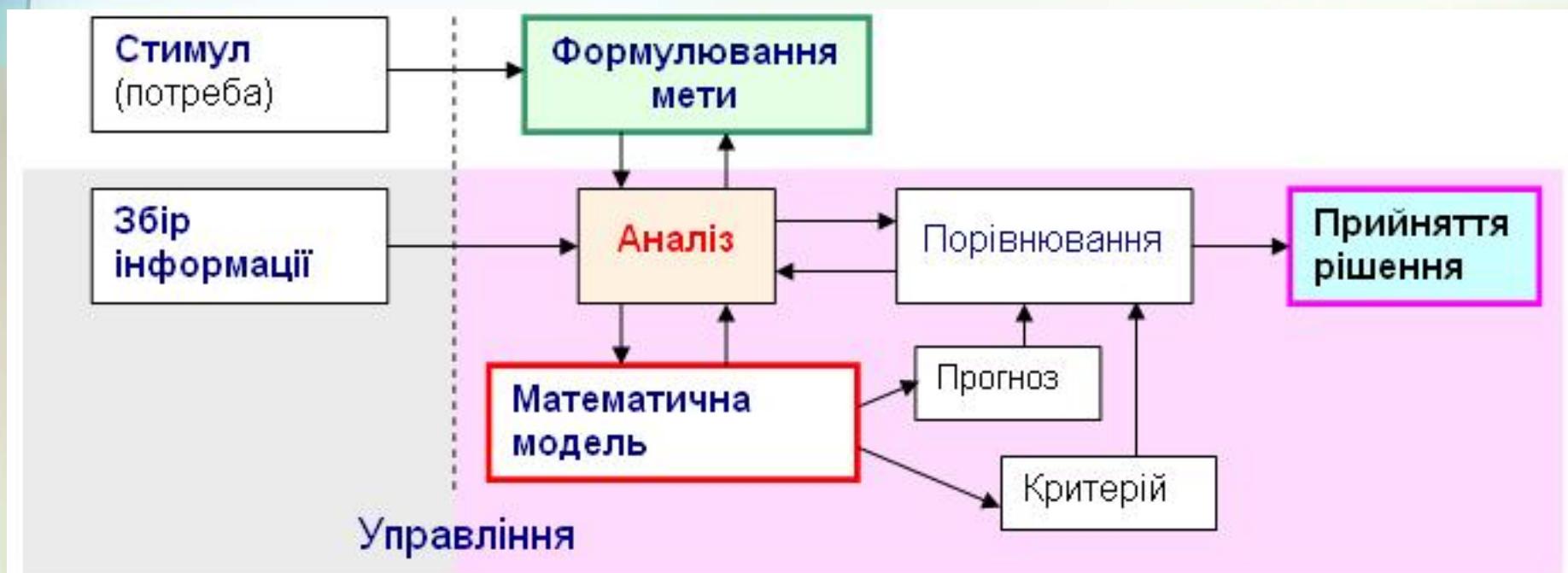
Аналіз
функціонування
визначення
функцій,
необхідних для
того,
щоб система могла
успішно
використовуватися
за призначенням

Оцінка
здійсненості
виявлення
здійсненного
підходу до
реалізації

Валідація
потреб
демонстрація
економічної
ефективності

2. Системний аналіз

Незалежно від того, обумовлена розробка передбачуваної системи потребами або технічним прогресом, перше, що потрібно розглянути, - це питання про дійсну наявність потреби (потенційного ринку) в новій системі. Розробка нової або суттєво вдосконаленої існуючої системи, швидше за все, обійтися дуже дорого і зазвичай розтягується на кілька років. Тому рішенню про початок такої розробки має передувати ретельне і продумане вивчення питання.



Аналіз передбачуваних потреб

У комерційному секторі для оцінки результатів використання існуючих товарів та потенційного попиту на нові безперервно проводяться дослідження ринку. Користувачів просять висловити свою думку про характеристиках продукту. Систематично розслідаються причини уповільнення збути. Аналізуються сильні і слабкі сторони конкурючих систем і напрямки їх ймовірного розвитку.



Стосовно до військових систем в кожному роді військ існує одна або кілька аналітичних організацій, в завдання яких входить постійна оцінка боєздатності і боєготовності. У цих організацій є доступ до даних розвідки про військовий потенціал потенційних супротивників, які і є вихідними даними для вивчення ефективності. Крім того, періодичні експлуатаційні випробування, наприклад бойові навчання на морі, висадка десанту і т.д., дають інформацію про потенційні недоліки, яка може стати сигналом про необхідність розробки більш боєздатної системи. Особливо важливим є питання, чи дозволить модифікація доктрини, стратегії або тактики краще задовольнити виявлену потребу існуючими силами і засобами і тим самим відсторочити необхідність придбання нових дорогих засобів.



Недоліки існуючих систем. У переважній більшості випадків потреба, яку передбачається закрити за допомогою нової системи, вже задовольняється, принаймні частково, якоюсь існуючою системою. Тому одним з перших кроків процесу аналізу потреб є детальна ідентифікація виявленіх недоліків існуючої системи. Якщо поштовхом до розробки нової системи є поява нової технології, то слід порівняти параметри існуючої системи з прогнозованими параметрами нової.



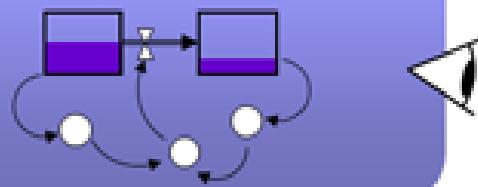
Оскільки розробка системи наступного покоління або навіть масштабна модернізація існуючої системи, ймовірно, виявиться технічно складним завданням і вимагатиме багатьох років напруженої роботи, то дослідження експлуатаційного оточення повинно орієнтуватися на умови, які складуться років через десять. Це означає, що власник або користувач системи повинен постійно екстраполювати умови експлуатації системи і переглядати оцінку її експлуатаційної ефективності. У цьому сенсі аналіз потреб в якомусь вигляді проводиться протягом усього терміну служби системи.



Описаний вище процес найбільш ефективний, коли накопичені дані випробувань поєднуються в ньому з аналізом, часто із застосуванням імітаційного моделювання існуючої системи. У такого підходу є дві основних переваги: узгоджена і точна оцінка показників функціонування системи і документована історія результатів, якою можна скористатися для підтримки формального процесу аналізу потреб, якщо нова програма розробки буде визнана необхідною.

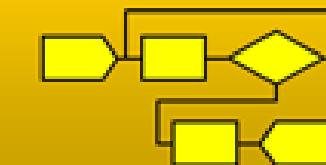
Системная динамика

Связанные переменные,
Накопители, Обратные связи



Дискретно-событийное

Заявки, Ресурсы, Процессы
(последовательности операций)



Индивидуальные свойства
и правила поведения.
Прямое или косвенное
взаимодействие

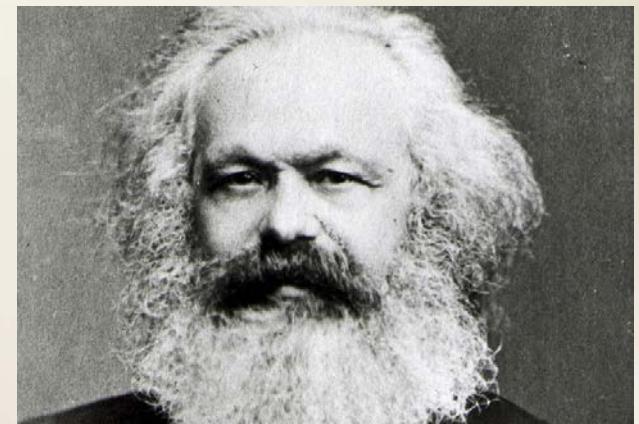


Агентное моделирование

Моральне старіння. Найпоширеніший стимул розробки нової системи - моральна відсталість існуючої. Система може застаріти з багатьох причин, наприклад: зміна умов експлуатації, значне подорожчання ТО, відсутність запасних частин для ремонту, випуск конкурентом кращого продукту або розвиток технології до такого рівня, коли стають можливі значні удосконалення при тих же або менших витратах. Наведені фактори необов'язково незалежні, їх поєднання може значно прискорити моральна відсталість системи. Затримка в усвідомленні старіння може дорого обійтися всім зацікавленим сторонам. Через це початок етапу аналізу потреб може відсунутися до моменту, коли необхідність в ньому стане вже критичною. Пильна самооцінка повинна стати стандартною процедурою, що виконується протягом усього терміну служби системи.

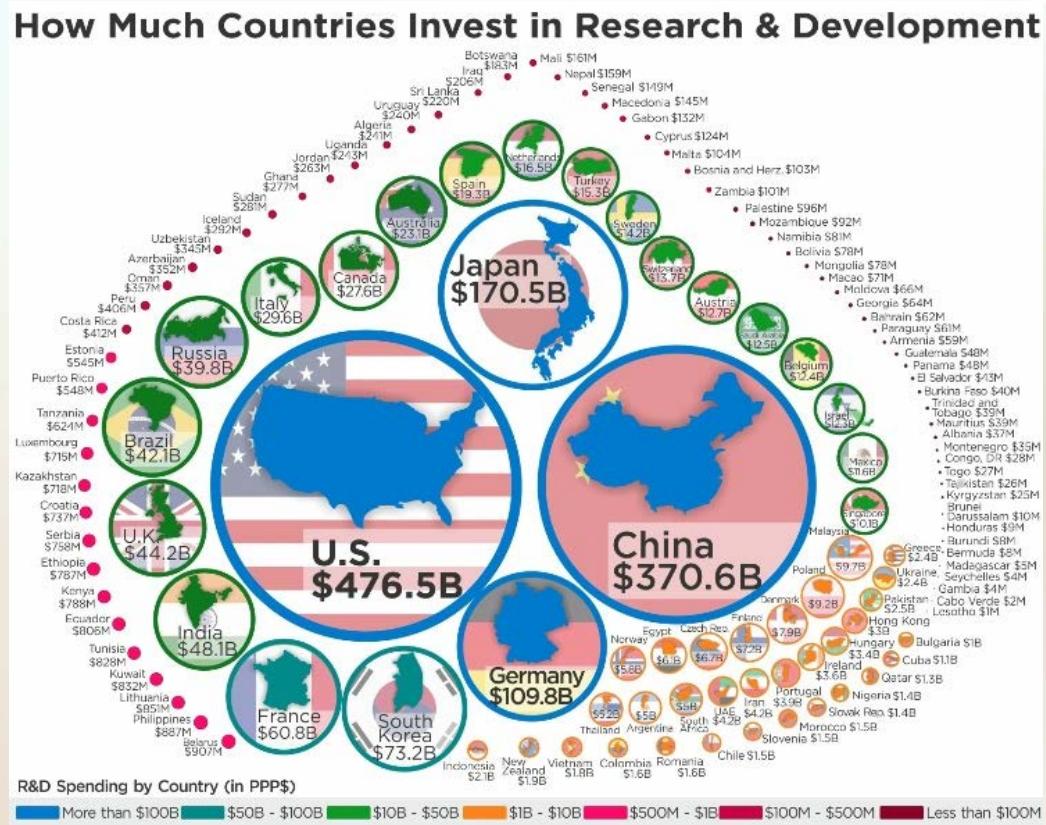
Закон морального старіння машини вперше був чітко сформульований Карлом Марксом (1818-1883), який вказав, що моральне старіння відбувається в результаті:

- 1) здешевлення виробництва аналогічної машини;
- 2) створення нової, більш якісної машини.



Важливим фактором підтримки життєздатності системи є відстеження досягнень технічного прогресу. У багатьох агентствах і галузях промисловості проводяться різні науково-дослідні і дослідно-конструкторські розробки (НДДКР). Вони фінансуються з державних або приватних фондів, а іноді з обох джерел. В оборонній промисловості підрядникам дозволено використовувати частину своїх доходів на дослідження, відносячи ці витрати на собівартість. Це називається ініціативними НДДКР.

Існують дослідницькі розробки, які повністю або частково фінансиються державою. Більшість великих виробників комерційної продукції надає підтримку організаціям, що ведуть НДДКР в прикладних областях. Розсудливий спонсор, власник або оператор системи повинен залишатися в курсі таких досліджень і бути готовий при першій можливості звернути їх результати собі на користь. Конкуренція на всіх рівнях - могутній стимул такого роду діяльності.



Практичні цілі

Основним результатом досліджень практики експлуатації є визначення цілей (в термінах експлуатаційних можливостей), яких нова система повинна досягти, щоб виправдати витрати на розробку. В разі розробки, обумовленої потребами, досягнення цих цілей повинно забезпечити подолання змін оточення або недоліків існуючої системи, під впливом яких виникла думка про необхідність її вдосконалення. Якщо ж розробка обумовлена технічним прогресом, то цілі повинні наділяти в конкретну форму концепцію функціонування, яку можна співвіднести з важливою потребою.



Ми використовуємо термін «цілі», а не «вимоги», тому що на цій ранній стадії опису системи останній ще недоречний; слід віддавати собі звіт, що потрібно ще чимало ітерацій, перш ніж буде знайдений баланс між показниками функціонування, технічним ризиком, витратами і іншими факторами, що впливають на розробку. Людині, яка не має досвіду в проведенні аналізу потреб, розробка цілей може здатися дивним процесом. Зрештою, інженери зазвичай мислять в термінах вимог і специфікацій, а не високорівневих цілей.Хоча цілі, по ідеї, повинні бути об'єктивними і мати кількісний вираз, реальність така, що на цій ранній стадії вони здебільшого якісні та суб'єктивні.

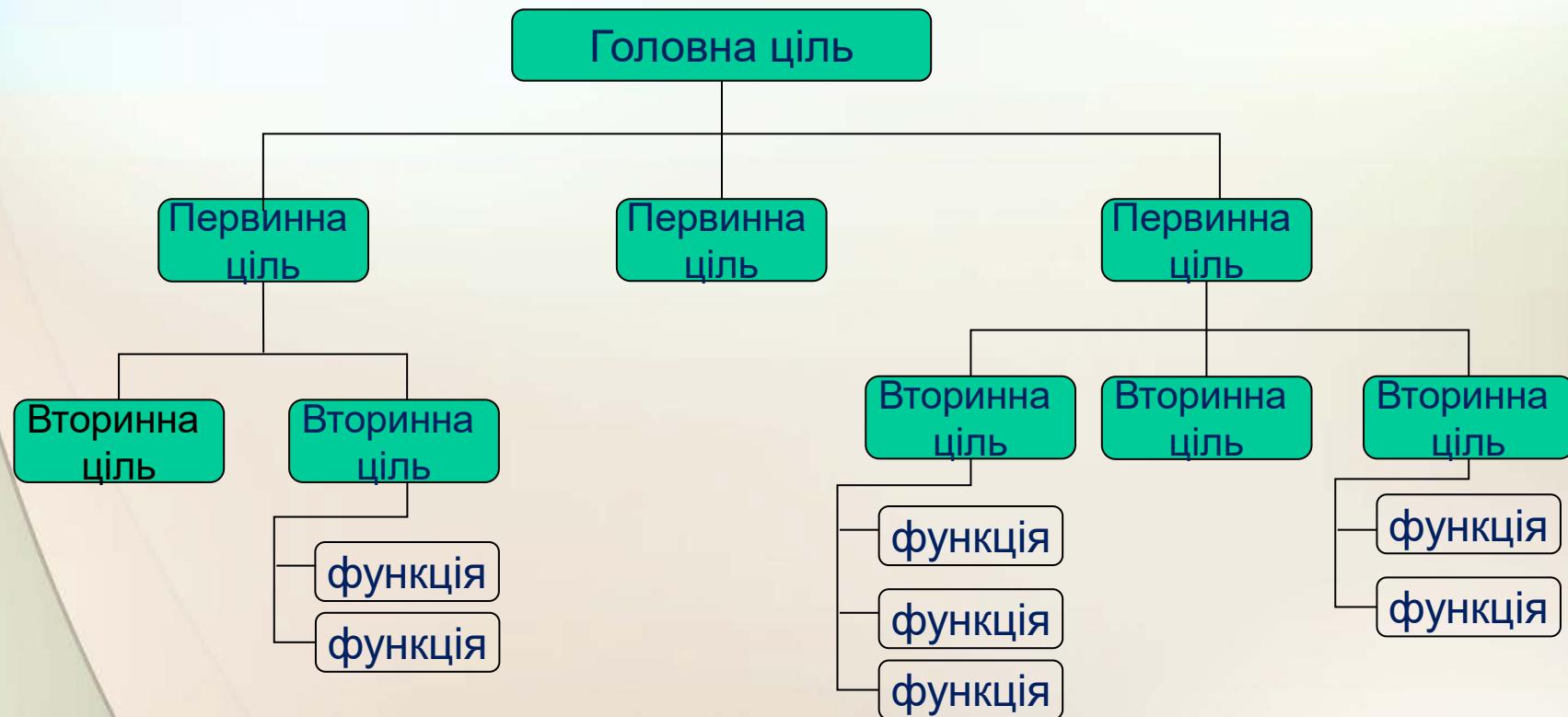


Можуть виявитися корисними наступні евристичні правила:

- цілі повинні відноситися до кінцевого стану середовища, де експлуатується система, або до сценарію практичного використання - вони фокусуються на тому, чого повинна досягти система за великим рахунком;
- цілі повинні описувати, в чому полягає призначення системи і в якому випадку потребу можна вважати задоволеною;
- в сукупності цілі повинні відповідати на питання «чому» - чому система необхідна;
- як правило, опис цілі починається дієсловом «забезпечити», але це не обов'язково.



Аналіз цілей. Під «аналізом цілей» розуміється процес формування і уточнення цілей, що стоять перед системою. Зазвичай результатом цієї роботи є дерево цілей, в якому цілі верхнього рівня - одна або невеликий набір - розбиваються на безліч первинних і вторинних цілей. Таке дерево зображене на рисунку. Проводьте декомпозицію до тих пір, поки не дійдете до цілі, що допускає верифікацію, або поки не зловите себе на тому, що почали визначати функції системи. У цей момент зупиніться. На малюнку функції показані світло-сірими прямокутниками - вони не увійдуть в дерево цілей. Наш досвід показує, що в більшості випадків дерева цілей мають один-2 рівня; немає потреби поглиблювати їх далі.



Як приклад аналізу цілей розглянемо новий автомобіль. Припустимо, що автовиробник хоче сконструювати новий пасажирський автомобіль, який зможе позиціонувати на ринку як «зелений», тобто екологічний. Розуміння поставлених цілей дозволило б визначити пріоритети кінцевої конструкції. Тому керівництво компанії ініціює дослідження цілей. Аналіз цілей змусить компанію - як керівництво, так і інженерно-технічний персонал - оцінити і вирішити, що важливо при розробці нової системи. Отже, має сенс витратити якийсь час, сили і засоби на визначення загальних цілей системи. До того ж наявність лаконічного формулювання, з яким всі згодні, допоможе команді розробників сконцентруватися на тому, що їм належить зробити.

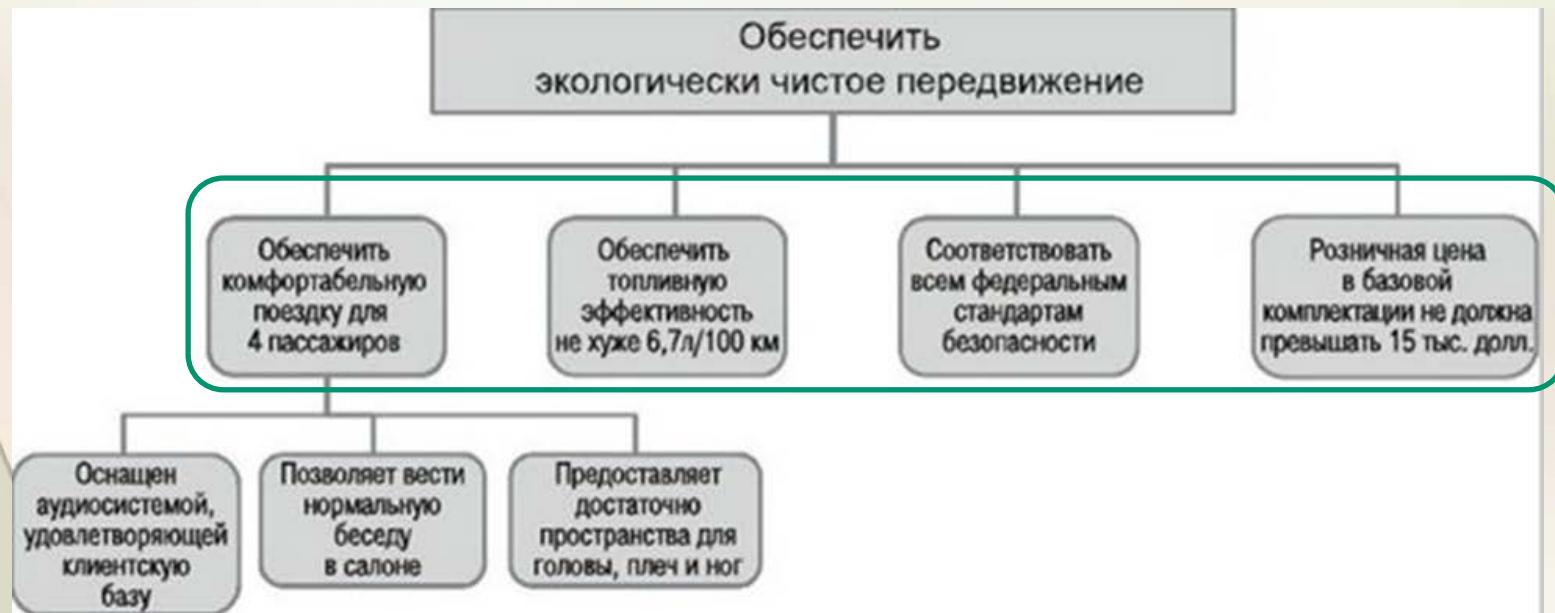


У прикладі з автомобілем компанія, скоріше за все, швидко прийде до висновку, що головна мета нового транспортного засобу - забезпечити екологічно чисте пересування. Мета верхнього рівня не включає ходові характеристики, вантажопідйомність, можливість їзди по бездоріжжю і т.д. У формулюванні головної мети є всього 2 ключових слова: чистота і пересування. Теж інше мають на увазі різні аспекти, або властивості, нової машини. Оскільки ці слова ще не мають чіткого визначення, необхідно провести подальшу декомпозицію. Однак основна мета зрозуміла: автомобіль повинен бути екологічно чистим і забезпечити можливість пересування.



Перший крок декомпозиції направляє думки команди розробників в певну сторону. Зрозуміло, що обидва ключових слова необхідно конкретизувати. В даному випадку «чистий» може означати як «хороший показник витрати палива (в кілометрах на один літр)», так і «комфортабельний». Під пересуванням розуміється також безпечне і приємне перебування в автомобілі, коли він переміщається з точки А в точку Б. Можлива і ще одна мета, тісно пов'язана з чистотою і пересуванням, - вартість.

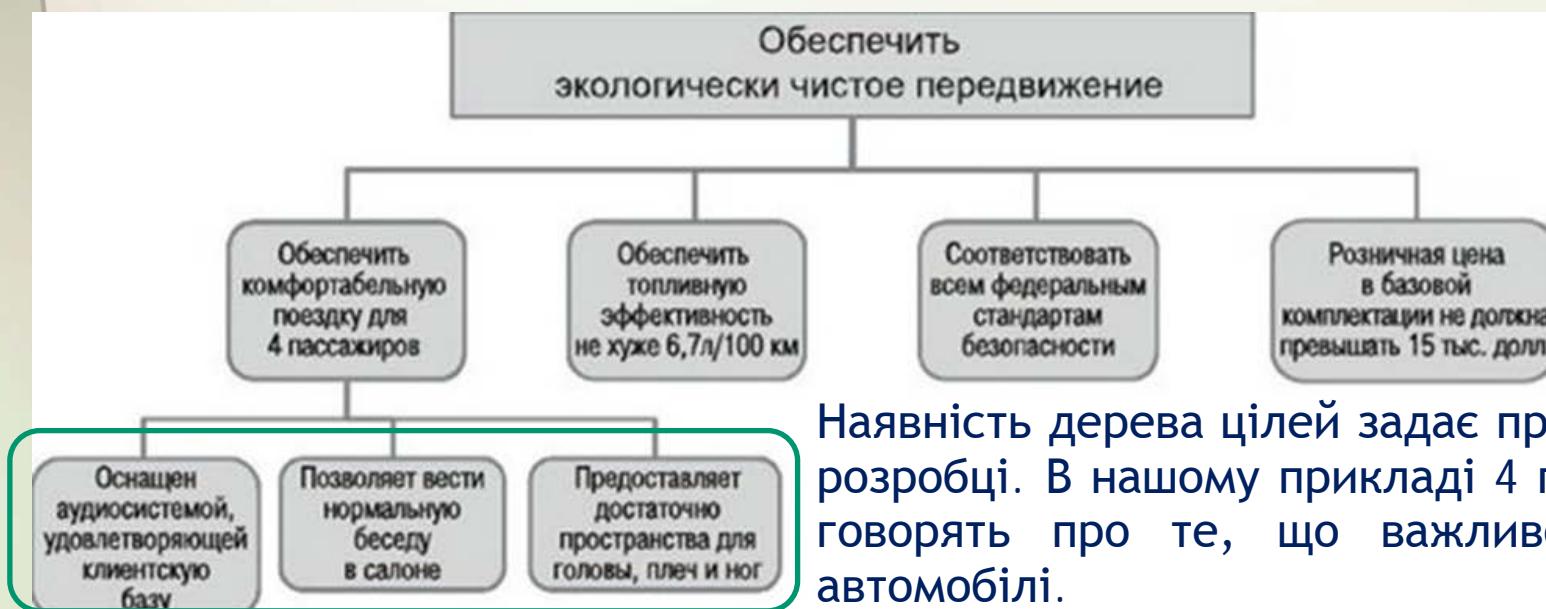
Таким чином, в нашому прикладі команда розробників акцентує увагу на 4 первинних цілях, розташованих під головною метою: комфортабельність, витрата палива, безпека і вартість. Ці 4 слова повинні бути включені в мету всього підприємства. На рисунку представлено одне з можливих дерев цілей.



Вирішуючи питання про необхідність подальшої декомпозиції, слід задати собі наступні питання:

- чи достатньо зрозуміло і ясно витлумачена ціль?
- чи допускає ціль верифікацію?
- чи приведе декомпозиція до кращого розуміння?
- чи випливають безпосередньо з цілі вимоги і функції?

У прикладі 3 з 4 первинних цілей представляються достатніми в тому вигляді, в якому сформульовані, і всі 3 допускають верифікацію. Лише суб'єктивна ціль, що відноситься до комфорtabельності, потребує подальшої декомпозиції. Комфорtabельність можна розбити на 3 складових: аудіосистема, рівень шуму в салоні і фізичний простір. Ці 3 цілі можуть бути верифіковані різними способами (1 - вивченням ступеня задоволеності споживачів, 2 - визначенням рівня шуму, що не перешкоджає нормальній бесіді, 3 - на основі оцінки вимог до об'ємних характеристик салону).



Наявність дерева цілей задає пріоритети при розробці. В нашему прикладі 4 первинні цілі говорять про те, що важливо в новому автомобілі.

У багатьох ситуаціях, коли використовуються дерева цілей, початкове дерево виявляється схоже на наведене в цьому прикладі - в ньому відображені лише цілі з найвищими пріоритетами. Потім дерево розкривається, в нього включаються інші аспекти, які потребують уваги. У випадку з автомобілем до числа таких «інших» аспектів могли б ставитися питання ТО і ремонту, очікуваний людино-машинний інтерфейс, вантажний відсік і т.д. Сенс побудови дерева цілей полягає в тому, щоб ідентифікувати функції і вимоги до відповідних показників функціонування. Тому логічно, що наступним після аналізу цілей кроком є аналіз функціонування.



3. Аналіз функціонування

На цьому, початковому, етапі процесу розробки системи аналіз функціонування є продовженням вивчення практики експлуатації і спрямований на вирішення питання про те, чи існує технічно здійснений підхід до побудови системи, яка здатна задовольнити практичним цілям. На даній стадії термін «здійснений» є синонімом слова «можливий» і означає, що існує досить висока ймовірність того, що подібна система може бути створена при поточному рівні розвитку технологій, хоча беззастережних доказів не наводиться.

Fujifilm підтвердила технічну здійсненість стрічкового картриджа ємністю 400 ТБ.



Перетворення практичних цілей в функції системи

Щоб здійснити подібне перетворення на практиці, необхідно наочно уявити тип системи, здатної виконувати певні дії у відповідь на дії з боку її оточення, яке, в свою чергу, повинно відповісти передбачуваному призначенню системи. Для цього потрібно провести аналіз різних типів функціональних можливостей, якими повинна володіти система, щоб виконати бажані практичні дії. В випадку систем, розробка яких обумовлена виникненням потреби, в центрі уваги під час аналізу знаходяться функціональні характеристики, необхідні для досягнення практичних цілей, але відсутні в належному обсязі у існуючих систем. Якщо говорити про системи, які своєю появою зобов'язані технічному прогресу, то тут поліпшення функціональних характеристик, ймовірно, буде пов'язано з розглянутою технологією.

В будь-якому випадку повинні бути переконливо продемонстровані здійсненність планованих підходів і їх здатність реалізувати приріст необхідний функціональних можливостей.



Візуалізація здійсненої концепції системи - по суті своїй абстрактний процес, що спирається на міркування за аналогією. Це означає, що всі елементи концепції необхідно функціонально співвіднести з елементами реальних систем. Для перетворення практичних цілей в функції корисно розглянути тип первинного середовища (сигнали, дані, матеріал або енергія), яке з найбільшою ймовірністю потрібне для досягнення тих чи інших практичних цілей. Зазвичай подібна асоціація вказує на клас підсистем, функціонуючих в такому середовищі, наприклад: датчики або підсистеми зв'язку в разі сигналів, обчислювальні підсистеми в разі даних і т.д.

При цьому повинно бути показано, що всі основні функції системи, особливо відповідальні за розвиток в порівнянні з колишніми системами, подібними до тих, які вже продемонстрували можливість практичної реалізації. Винятком з цього процесу міркування за аналогією є ситуація, коли важливу частину пропонованої системи становить абсолютно новий тип технології або додатки; в такому випадку може виявитися необхідним вихід за рамки аналізу і демонстрація здійсненості шляхом моделювання і, в кінцевому рахунку, експерименту.



При ідентифікації високорівневих функцій системи навіть на цій ранній стадії важливо наочно уявити весь ЖЦ системи, в тому числі етапи, які не пов'язані з експлуатацією. Ми не хотіли б, щоб з наведеного вище обговорення ви зробили висновок, ніби всі розгляди на цій стадії носять якісний характер. Навпаки, коли зачіпаються переважно кількісні питання, як, наприклад, забруднення навколишнього середовища автомобілем, необхідно, щоб аналіз був настільки кількісним, наскільки дозволяють наявні ресурси і рівень знань.

Количественный анализ

Числовые и
категориальные
данные

Количественные
предсказания

Более объективные
выводы

Качественный анализ

Текстовые,
визуальные и
аудио данные

Качественные
предсказания

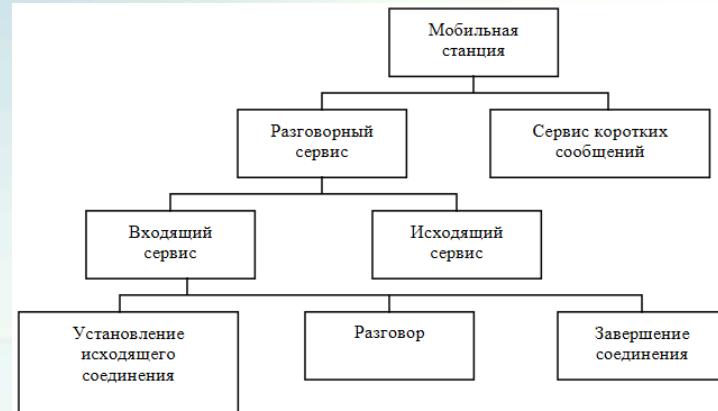
Более субъективные
выводы

Функціональна декомпозиція і прив'язка до підсистем

Декомпозиція функціональна

(Functional Decomposition) - різновид модульної декомпозиції, що характеризується тим, що система розділяється на елементи відповідно до функцій системи або зі складовими цих функцій (ISO/IEC 24765).

Навіть в тих випадках, коли всі практичні цілі можна безпосередньо асоціювати з функціями системного рівня, аналогічними функціям різних реальних систем, дуже важливо наочно продемонструвати, як ці функції можна розподіляти, поєднувати і реалізувати в новій системі. Для цього необов'язково наочно уявляти найкращу конфігурацію системи. Досить лише показати, що розробка і виробництво системи, що відповідає поставленим цілям, дійсно можливі. З цією метою слід візуалізувати високорівневу концепцію системи, в якій реалізовані всі задані функції, і тим самим продемонструвати, що необхідні можливості можна отримати в результаті прийнятного поєднання заданих функцій і технічних можливостей. Тут особливо важливо, щоб всі взаємодії та інтерфейси, як зовнішні, так і внутрішні, були ідентифіковані і асоційовані з функціями системи і щоб розгляд різних атрибутів системи було проведено ретельно і збалансовано - із застосуванням аналізу компромісів. Як правило, це робиться стосовно до вихідної концепції функціонування.

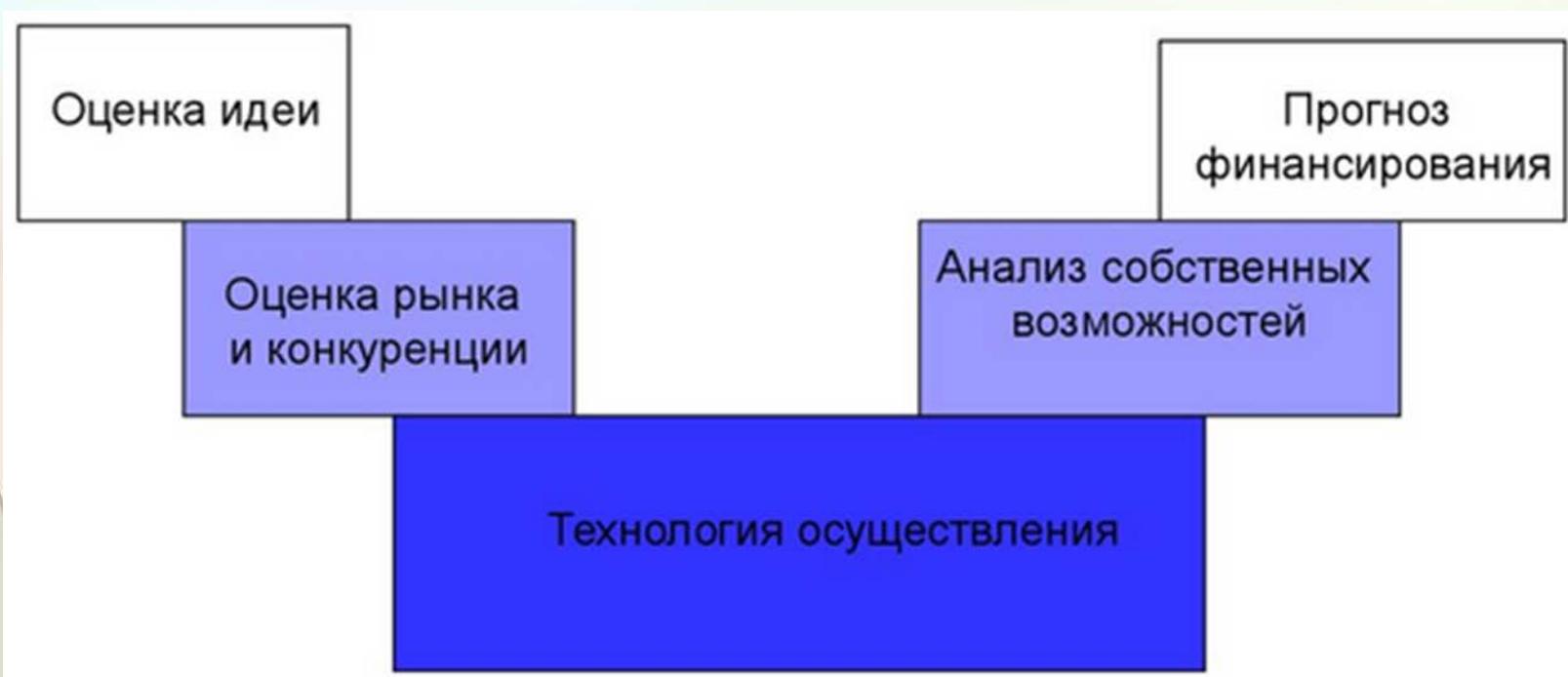


4. Оцінка здійсненості

У здійснності концепції системи (а отже, в можливості задоволення даної потреби) неможливо переконатися тільки на основі розгляду уявлення про її функціонування. При вирішенні питання про здійсненність необхідно враховувати також фізичну реалізацію. Зокрема, найважливіше значення завжди має вартість системи, особливо в порівнянно з альтернативами, і вирішити це питання на функціональному рівні не можна. Тому навіть на цьому початковому етапі розробки системи важливо візуалізувати фізичний макет системи в тому вигляді, в якому передбачається її виробляти. Потрібно також отримати уявлення про всі зовнішні обмеження і взаємодії, в тому числі про сумісність з іншими системами.

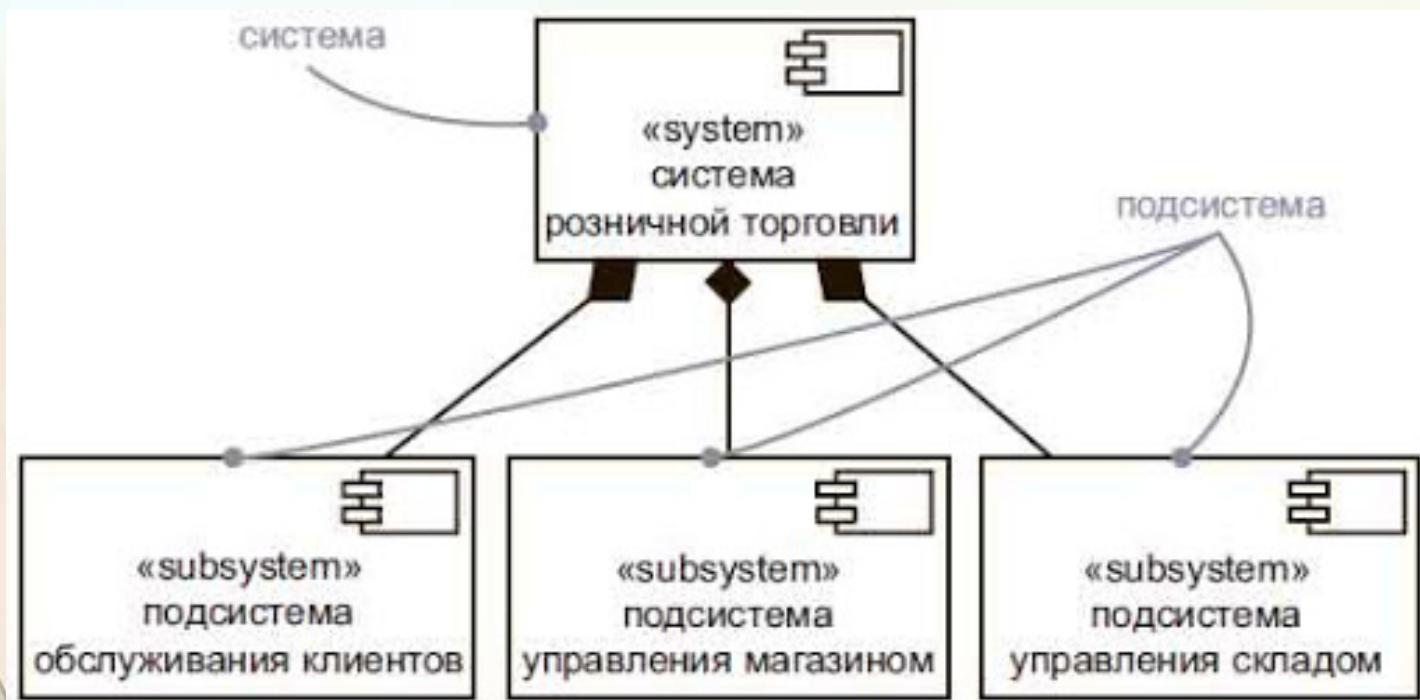


Але необхідність розгляду фізичної реалізації передбачуваної системи на етапі аналізу потреб ще не означає, що в цей час приймаються будь-які проектні рішення. Зокрема, не слід намагатися шукати оптимальні конструкції; ці питання вирішуються на набагато пізніших кроках процесу розробки. На даному етапі акцент робиться на з'ясуванні здійсненості концепції системи, що відповідає поставленим практичним цілям. Саме валідація цілей і є основним завданням на етапі аналізу потреб. У наступних підрозділах ми обговоримо деякі питання, які підлягають розгляду, але тільки оціночним, на цьому етапі.



Формування уявлення про реалізацію підсистем

Знаючи розподіл функцій по підсистемах, необхідно наочно уявити, як ці функції могли б бути реалізовані. На цій стадії слід лише підібрати приклади аналогічних функціональних блоків в існуючих системах, щоб можна було оцінити придатність подібної технології до нової системи. Як і в попередньому розділі, для пошуку систем зі схожими функціональними елементами, фізична реалізація яких, може певною мірою вважатися взірцем для нової системи, корисною може виявิตися ідентифікація робочого середовища, характерного для кожної з ключових функцій (сигнал, дані, матеріал, енергія).



Співвіднесення з існуючою системою. Якщо вже існує система, яка задовольняє ту ж загальну потребу, для задоволення якої призначена нова система, то зазвичай мається ряд підсистем на роль кандидатів для включення в нову систему, можливо, після деякої модифікації. Може бути, вони не будуть використані, але для обґрунтування здійсненості нової системи і часткової оцінки вартості її розробки і виробництва їх варто брати до уваги.



Наявні аналітичні та імітаційні моделі існуючої системи особливо корисні для такого роду аналізу, тому що зазвичай вони вже верифіковані щодо даних, зібраних в ході експлуатації системи. Їх можна використовувати для відповіді на питання «що, якщо?» і пошуку заданих параметрів, це допомагає не відволікатися на сторонні питання в процесі аналізу. Ще один важливий інструмент, який застосовується в поєднанні з імітаційним моделюванням системи, - модель ефективності та аналітичні прийоми аналізу ефективності; про це мова піде далі.



Певну роль відіграють і деякі менш відчутні чинники, наприклад наявність допоміжної інфраструктури. У разі автомобільного двигуна багато років успішної експлуатації привели до створення найширшої інфраструктури для підтримки традиційних поршневих двигунів - станцій ТО, постачальників запчастин і популярності у населення. Через витрати на переробку цієї інфраструктури зустрічають опір такі новаторські розробки, як роторно-поршневий двигун Ванкеля або конструкції на базі циклу Стірлінга. Урок в тому, що безумовно вигідні з технічної точки зору інновації найчастіше відкладаються в сторону через економічний або психологічний опір змінам.



Застосування передових технологій. У системах, зобов'язаних своєю появою технічному прогресу, для демонстрації здійсненності недостатньо посилання на існуючі програми. Буває, що для обґрунтування доводиться залучати теоретичні та експериментальні дані, отримані в ході НДДКР по даній технології. Якщо і цього мало, то для доказу принципової здійсненності програми може знадобитися виготовлення дослідного зразка з обмеженою функціональністю. Для підвищення впевненості в результатах дослідження здійснності іноді корисна консультація сторонніх експертів.

На жаль, гучна реклама технічних досягнень може ґрунтуватися на неперевірених заявах з ненадійних джерел. Іноді технологія начебто обіцяє дуже значний виграш, але їй не вистачає зрілості і достовірно встановлених даних. У таких випадках обґрунтування включення цієї технології має супроводжуватися резервною альтернативою з порівняльними можливостями. Системні інженери повинні брати участь у всіх деталях цього процесу, щоб системні пріоритети були розставлені правильно.



Вартість. Оцінка вартості завжди є важливою стороною аналізу потреб. Це завдання стає особливо складним, коли є конгломерат старих, нових і модифікованих підсистем, компонентів і деталей. У подібному випадку буде незайвим звернутися до моделі витрат і залучити відомості про ТО існуючої системи в минулому з поправкою на інфляцію. Порівняння схожих компонентів і видів діяльності у час розробки може хоча б закласти гідний довіри фундамент, на якому потім можна будувати оцінку витрат. У разі нової технології в кошторис варто закладати витрати на значні обсяги розробки та тестування, необхідні а для визнання її придатною для використання.



Визначення здійсненої концепції

Для того щоб всі завдання етапу аналізу потреб можна було вважати вирішеними, розгляд має завершуватися визначенням і описом прийнятної концепції системи, а також добре документованим обґрунтуванням її технічної здійсненості та економічності. В опис системи необхідно включити обговорення процесу розробки, очікуваних ризиків, загальної стратегії розробки, підходу до проектування, методів оцінки, питань організації виробництва і концепції функціонування. Слід також описати, як проводилася оцінка витрат на розробку і виробництво системи. Необов'язково вдаватися в деталі, але потрібно показати, що жоден з основних аспектів здійсненості системи не залишився без уваги.



5. Валідація потреб

Заключний і найважливіший крок застосування методу системної інженерії - методична перевірка достовірності результатів, отриманих на попередніх кроках. У разі аналізу потреб в процесі валідації необхідно прийняти рішення про вагомість аргументів на користь існування потреби в новій системі і можливості задоволити цю потребу з розумними витратами і прийнятним ризиком.



Модель експлуатаційної ефективності

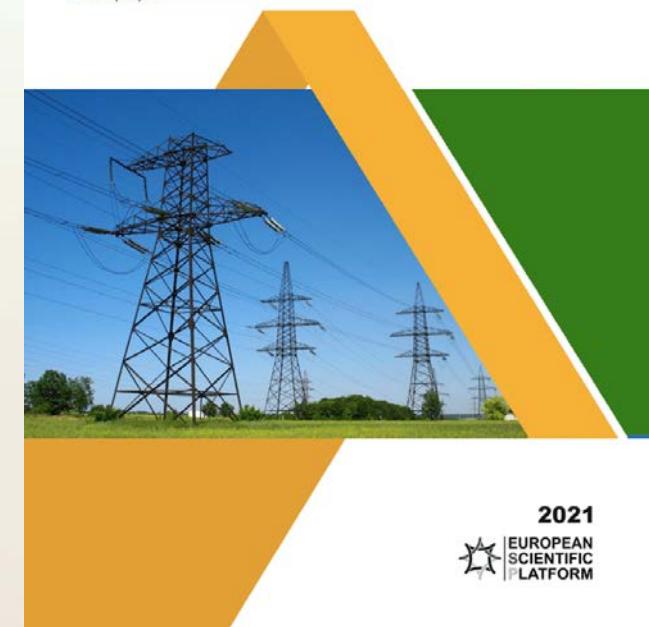
На стадії розробки концепції аналітична діяльність, що ставить за мету оцінити, якою мірою від даної концепції системи можна очікувати задоволення заданих вимог призначення, називається аналізом експлуатаційної ефективності. В основі цієї роботи лежить математична модель умов експлуатації та варіанти концепції системи, що підлягає розгляду.

У процесі аналізу ефективності умови експлуатації моделюються з використанням набору сценаріїв - передбачуваних дій, що містять діапазон можливих подій, на які система повинна реагувати. Зазвичай спочатку вибираються сценарії, що представляють найбільш ймовірні ситуації, а потім складніші випадки для перевірки граничних умов, заданих у вимогах призначення. Для кожного сценарію в ролі критерію оцінки виступає те, наскільки прийнятними виявляються відгуки системи в термінах результатів функціонування. Щоб анімувати зв'язок між моделлю системи і сценаріями, при побудові моделі ефективності зазвичай передбачається можливість отримання змінних, що характеризують функціонування системи, з моделі системи. Більш докладно сценарії практичного використання розглядаються далі.

ЗАЙЦЕВ Є.О., КУЧАНСЬКИЙ В.В., ГУНЬКО І.О.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ
НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ
РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ
ТА ЕЛЕКТРОУСТАКОВАННЯ

Монографія



Аналіз ефективності повинен включати не тільки різні режими експлуатації системи, а й операції, не пов'язані безпосередньо з експлуатацією: транспортування, зберігання, установку, обслуговування та ремонт, а також і логістичне забезпечення. У сукупності всі значущі вимоги призначення і обмеження повинні бути враховані в сценаріях практичного використання і в супровідній документації, що містить опис умов експлуатації.

Складові ефективності:

1. Ефект (результат діяльності):

а) виробничий — продукція у натуральному чи вартісному виразі

б) господарський — присуток у вартісному виразі

2. Витрати:

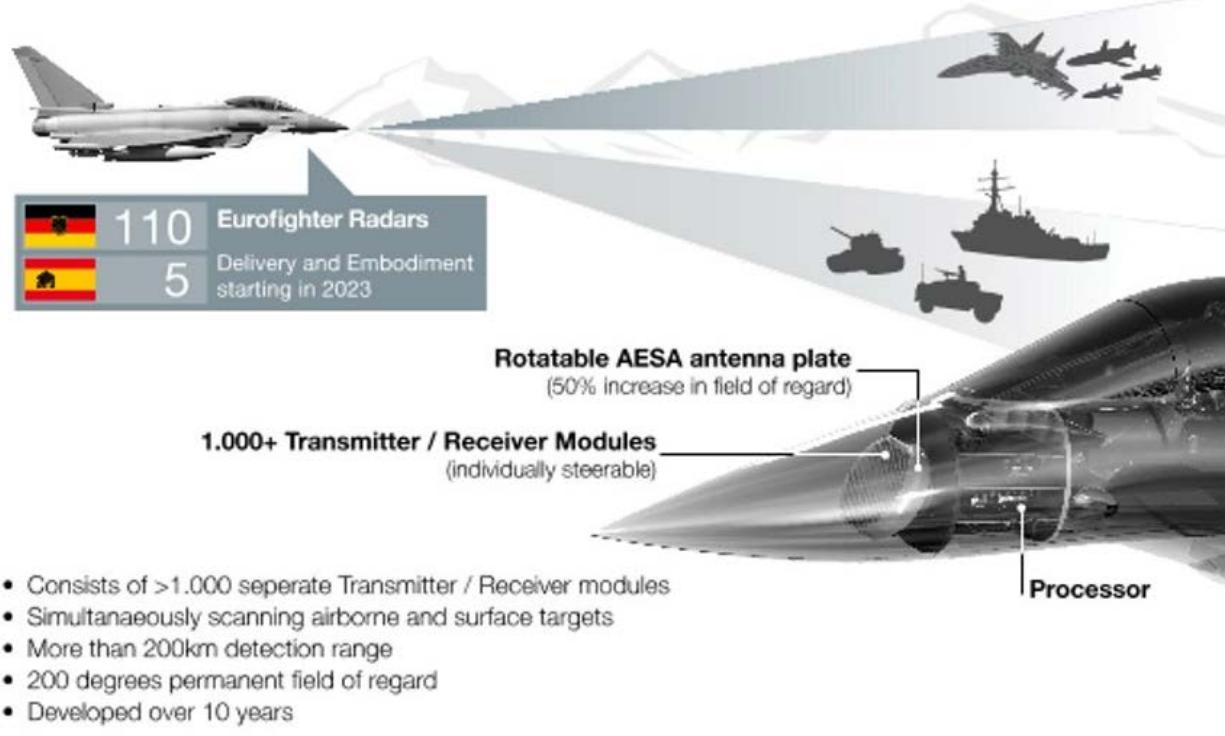
а) ресурси — авансовані витрати (середня вартість):
- основні засоби ($Z_{\text{ос}}$);
- оборотні заходи ($Z_{\text{об}}$);
- ресурси праці (РП)

б) поточні витрати:
- амортизація основних засобів ($AZ_{\text{ос}}$);
- матеріалів, сировини, палива тощо (МГ);
- оплата праці (ОП).

Характеристики функціонування системи. Від моделі системи на вхід аналізу ефективності передаються значення характеристик функціонування, які визначають відгук системи на її оточення. Наприклад, якщо радар повинен виявляти наявність об'єкта (припустимо, літака), то задається значення його чутливості, щоб визначити, на якій відстані може бути виявлений об'єкт. Якщо він повинен реагувати на присутність об'єкта, то задається час відгуку. Модель ефективності дає впевненість в тому, що при побудові моделі системи враховані всі суттєві функціональні можливості.

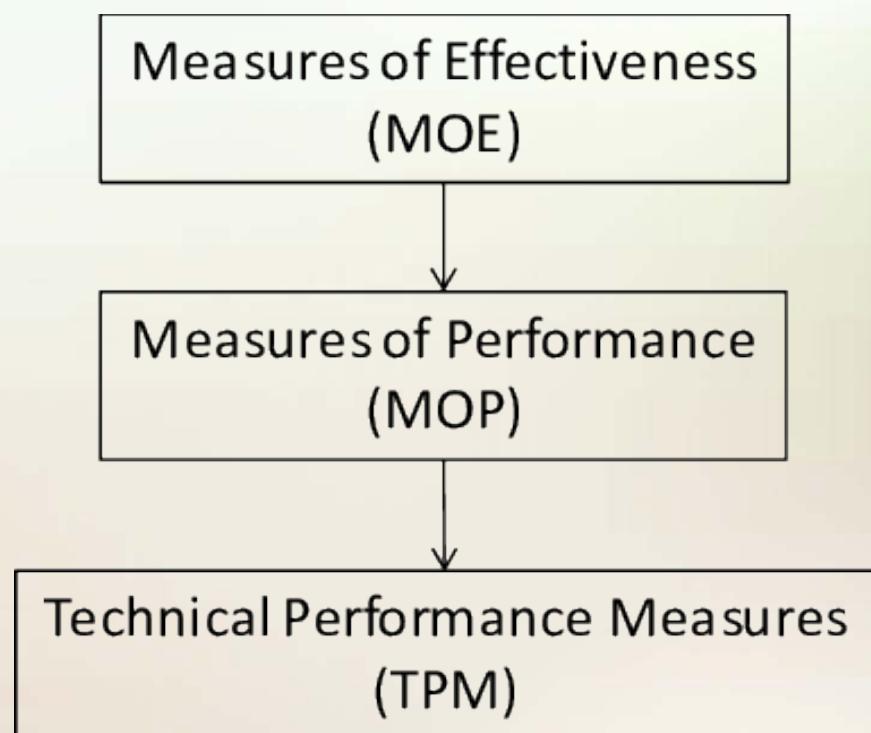
Eurofighter Radar Captor-E

The world's most capable fighter jet radar



Показники ефективності. Для оцінки результатів моделювання ефективності встановлюється набір критеріїв, що визначають такі характеристики відгуку системи на її оточення, які є критичними з точки зору її практичної користі. Ці критерії називаються **показниками ефективності.** Вони повинні бути безпосередньо пов'язані з конкретними цілями і впорядковані відповідно до відносної важливості для експлуатації. **Показники ефективності** (measures of effectiveness - МОЕ) і **показники функціонування** (measures of performance - МОР) докладніше описуються нижче.

Розробка адекватної моделі ефективності великої системи вимагає значних зусиль, але це того варте. Після того як модель готова, вона стає цінною підмогою протягом усього життя системи, в тому числі для, можливої в майбутньому модернізації. Якщо ж є попередня система, то в більшості випадків нова модель ефективності може бути побудована шляхом розвитку вже наявної моделі.



Аналітична піраміда. При оцінці або вимірі ефективності системи аналітик повинен вирішити, під яким кутом зору її описувати. Наприклад, ефективність системи можна описати в ширшому контексті, де дана система є лише однією з багатьох сильно або слабо пов'язаних систем, що спільно досягають результату. З іншого боку, ефективність можна описати в термінах реакції окремої системи на обраний стимул в конкретній ситуації, коли взаємодія з іншими системами мінімальна.

На рисунку показана добре відома аналітична піраміда. В її основі лежать фундаментальні знання з області фізики і феноменології. На цьому кінці спектра аналіз полягає в детальній оцінці взаємодій з оточенням, іноді аж до молекулярного рівня.

Феноменологія – термін, який використовують у природознавстві, особливо у фізиці, для позначення сукупності знань, які визначають взаємозв'язок між різними спостереженнями явищ (феноменів) загалом не порушуючи принципів фундаментальнії теорії, але безпосередньо не виводячи цих взаємозв'язків із неї. Феноменологічна теорія зв'язує результати спостережень математичними формулами, не вникаючи в їхнє фундаментальне значення.



Піднімаючись вгору по піраміді, аналітик абстрагується від деталей і розширює кут зору. На вершині піраміди технічні деталі вже зовсім неважливі, а предметом аналізу є стратегічні і політичні варіанти і їх наслідки.

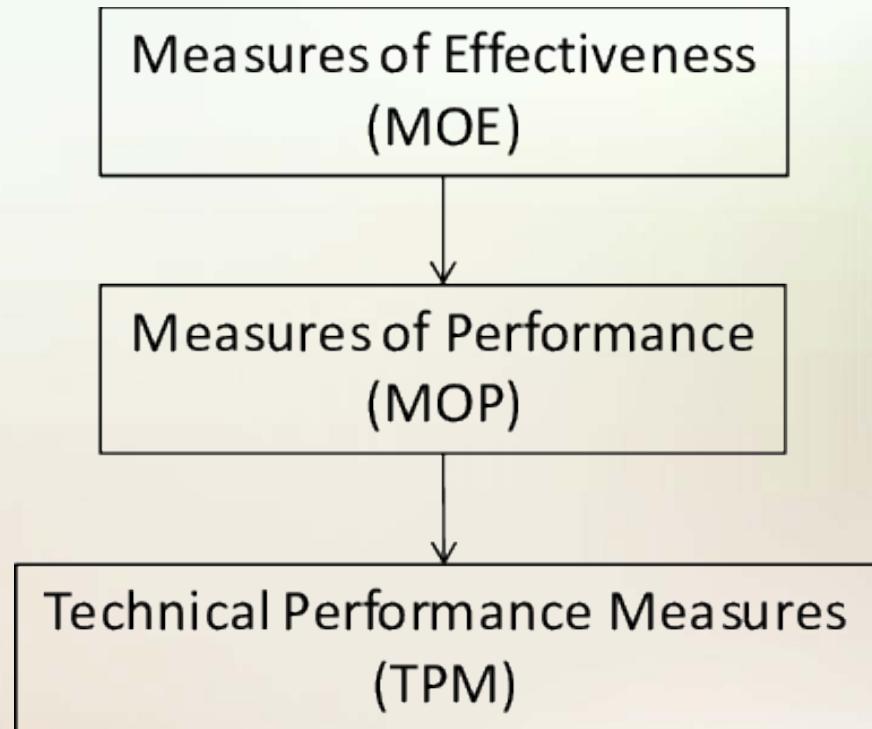


Системний інженер зазвичай виявляє, що на етапі аналізу потреб зручний кут зору характерний для областей поблизу вершини піраміди.Хоча стратегія необов'язково є предметом інтересу при розробці системи, ефективність системи в контексті багатоцільового застосування або використання для вирішення одного завдання обов'язково повинна бути досліджена. На самому нижньому рівні піраміди аналіз зазвичай не проводиться через відсутність певної системи. У міру конкретизації уявлень про систему аналітична діяльність зміщується вниз по піраміді. Ми ще повернемося до аналітичної піраміди згодом, коли будемо розглядати роль системної інженерії на етапах розробки.

Показники ефективності та показники функціонування

Познайомившись з аналізом експлуатаційної ефективності, ми повинні досліджувати концепцію і сутність деяких показників. В кінці-кінців показники - ключ до опису системи, до встановлення значущих вимог, що допускають перевірку, а також до випробувань системи. Тому так важливо правильно, недвозначно і несуперечливо визначати показники протягом усього ЖЦ розробки.

Існує багато способів для опису метрик, що характеризують ефективність і функціональні можливості системи. Найбільш поширені такі метрики, як показник ефективності (measures of effectiveness - МОЕ) і показник функціонування (measures of performance - МОР). На жаль, для цих термінів не існує універсального визначення. Однак концепція, що стоїть за ними, вкрай важлива для розуміння і роз'яснення концепції системи. Ми пропонуємо такі визначення.

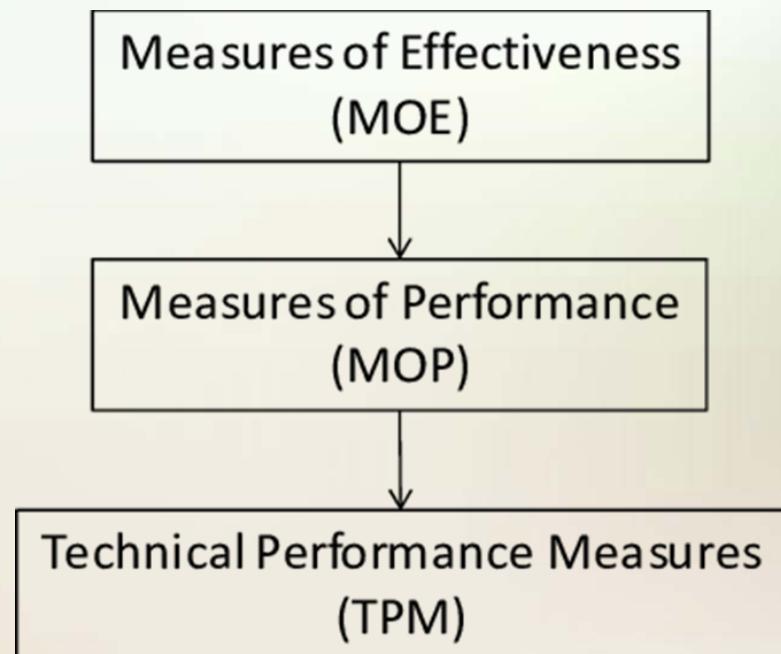


Показник ефективності: якісний або кількісний показник характеризує поведінку системи в цілому і призначений для оцінки ступеня, де система досягає своїх цілей в заданих умовах. МОЕ завжди відноситься до системи в цілому.

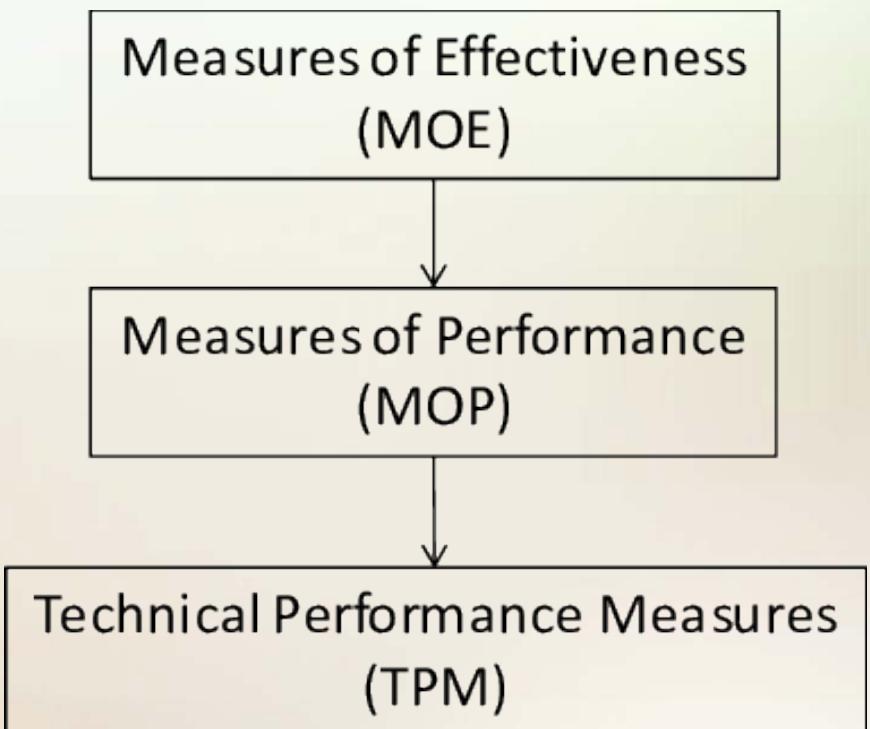
Показник функціонування: кількісний показник, який служить для опису характеристик системи або її окремих властивостей або підсистеми. Зазвичай, МОР є мірою фізичної величини, яка характеризує функціонування системи на нижчих ієрархічних рівнях.

Незалежно від використовуваного визначення загальновизнано, що МОЕ важливіше МОР. Інакше кажучи, якщо помістити обидва показники в ієрархію, то показники ефективності завжди виявляться вище показників функціонування.

Технічні показники ефективності
(Technical performance measures, TPM) визначають наскільки добре система або системний елемент задовольняє визначеним вимогам.



Зазвичай МОЕ і МОР складаються з трьох частин: показник, одиниця виміру і умови, або контекст, в якому цей показник застосовується. Так, в якості МОЕ нового легкого літака (наприклад, варіант легкого двомісного літака Piper Cub) слід було б вибрати максимальну дальність, виражену в морських милях при польоті на рівні моря в умовах стандартної атмосфери. Показником є «максимальна дальність», одиницею виміру - «морська миля», а умовами - «стандартна атмосфера (чітко визначене поняття) на рівні моря». Цей показник відноситься до літака в цілому і описує один аспект його функціонування для досягнення заявленої мети - виконання польоту.



Існують різні форми показників ефективності, але можна виділити три загальні категорії: вимірювані, імовірнісні і логічні. Вимірюваний показник ефективності піддається прямому вимірюванню (в реальній системі, підсистемі або математичної або фізичної моделі). Він може бути детермінованим або випадковим. Імовірнісні показники відповідають ймовірності деякої події і можуть включати інші МОЕ. Наприклад, до цієї категорії відноситься ймовірність того, що літак досягне максимальної висоти 6000 м. В даному випадку імовірнісний показник ефективності визначається в термінах іншого МОЕ - вимірюваного. Нарешті, логічний МОЕ має всього два значення: подія або відбулася, або ні.

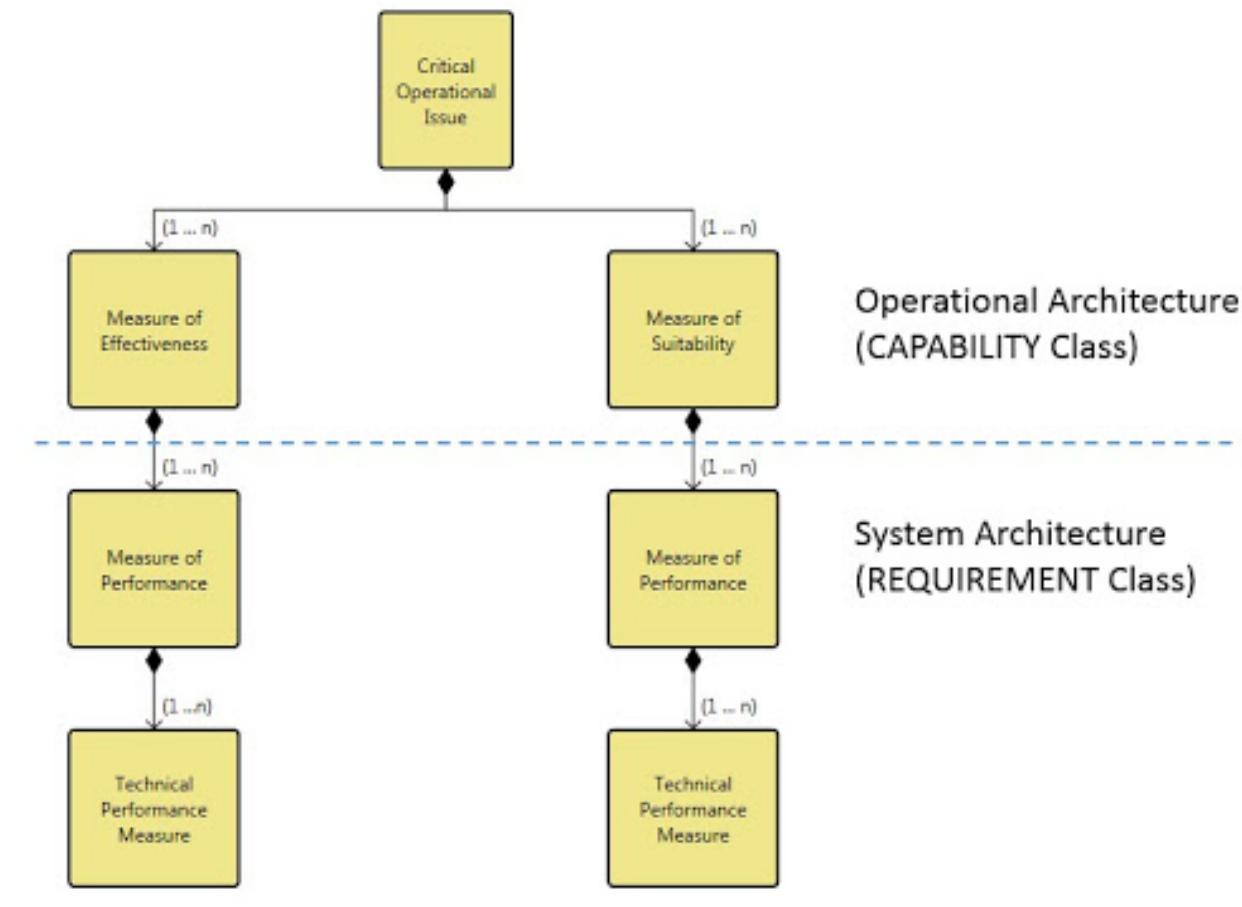


Якщо МОЕ визначено в результаті вимірювання або іншим способом, то результат вимірювання називається значенням МОЕ. Так, в прикладі з літаком, якщо виміряна максимальна дальність нового літака становить 1675 морських миль, то значенням буде «1675». Зрозуміло, значення МОЕ, як і будь-яких показників, можуть залежати від умов або взагалі бути випадковими величинами.

Нарешті, логічні МОЕ застосовуються інженерами для того, щоб визначити, чи виходить деяка характеристика за рамки порогових значень. Наприклад, можна було б зазначити порогове значення максимальної дальності дорівнює 1500 морських миль на рівні моря в умовах стандартної атмосфери. А потім ввести в розгляд логічний МОЕ, який показує, чи перевищує виміряне значення заданий поріг чи ні. Так, в прикладі вище цей логічний МОЕ дорівнює «так», оскільки виміряне значення +1675 морських миль більше порога 1500.



Поняття МОЕ і МОР важкі для засвоєння! Людині, яка раніше не працювала з показниками, вони можуть здатися незрозумілими. Багато студентів, які вивчають системну інженерію, у відповідь на прохання навести приклад МОЕ наводять опис вимоги. Інші наводять значення величини. Деякі просто не можуть ідентифікувати показник ефективності для нової системи. Однак ідея показників використовується в системній інженерії повсюдно.



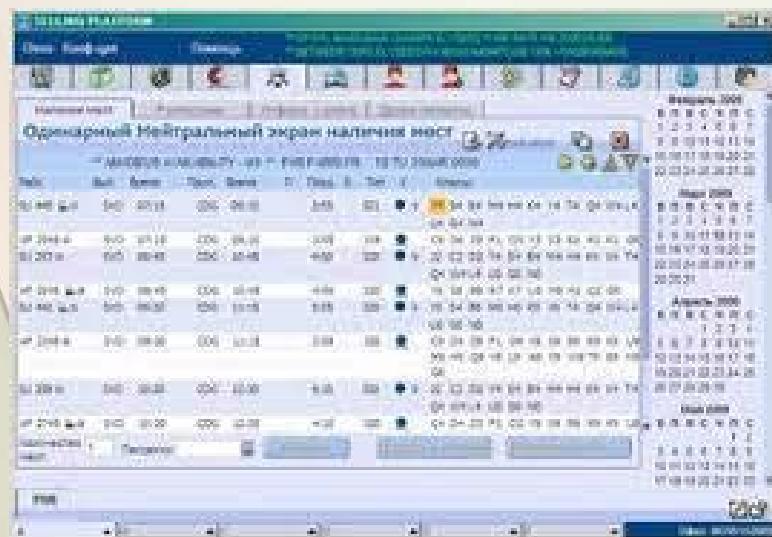
Валідація здійсненості і потреби

Нарешті, описаний вище аналіз ефективності в першу чергу спрямований на вирішення питання про те, чи є концепція системи, що сформувалась в процесі опису функціональних можливостей або способу фізичної реалізації, 1) здійсненою і 2) відповідає практичним цілям, досягнення яких необхідно для задоволення даної потреби. Передбачається, що правомірність такої потреби було встановлено раніше. Це припущення не завжди надійне, особливо в разі розробки систем, обумовлених технічним прогресом, коли потенційна сфера застосування системи нова і прийняття подібного припущення залежить від багатьох невловимих факторів.



Одна така ситуація, для якої існують сотні конкретних прикладів, - впровадження засобів автоматизації в сферу, де раніше застосовувався переважно ручна праця (система резервування авіаквитків - приклад успішної реалізації великого проекту подібного роду). Валідація потреби в такій системі вимагає технічного аналізу поряд з аналізом функціонування і аналізом ринку з метою врахування безлічі складних факторів, які можуть вплинути на вирішення питання про придатність автоматизованої системи і ймовірний прибуток від її впровадження.

У таких складних випадках від валідації можна очікувати лише дуже попередніх результатів, які повинні бути підвердженні солідними дослідними розробками і експериментами. Але навіть попередня валідація здатна виявити більшість критичних місць і іноді показує, що шанси на задоволення деяких передбачуваних потреб занадто проблематичні і не віправдовують великих інвестицій при поточному рівні.

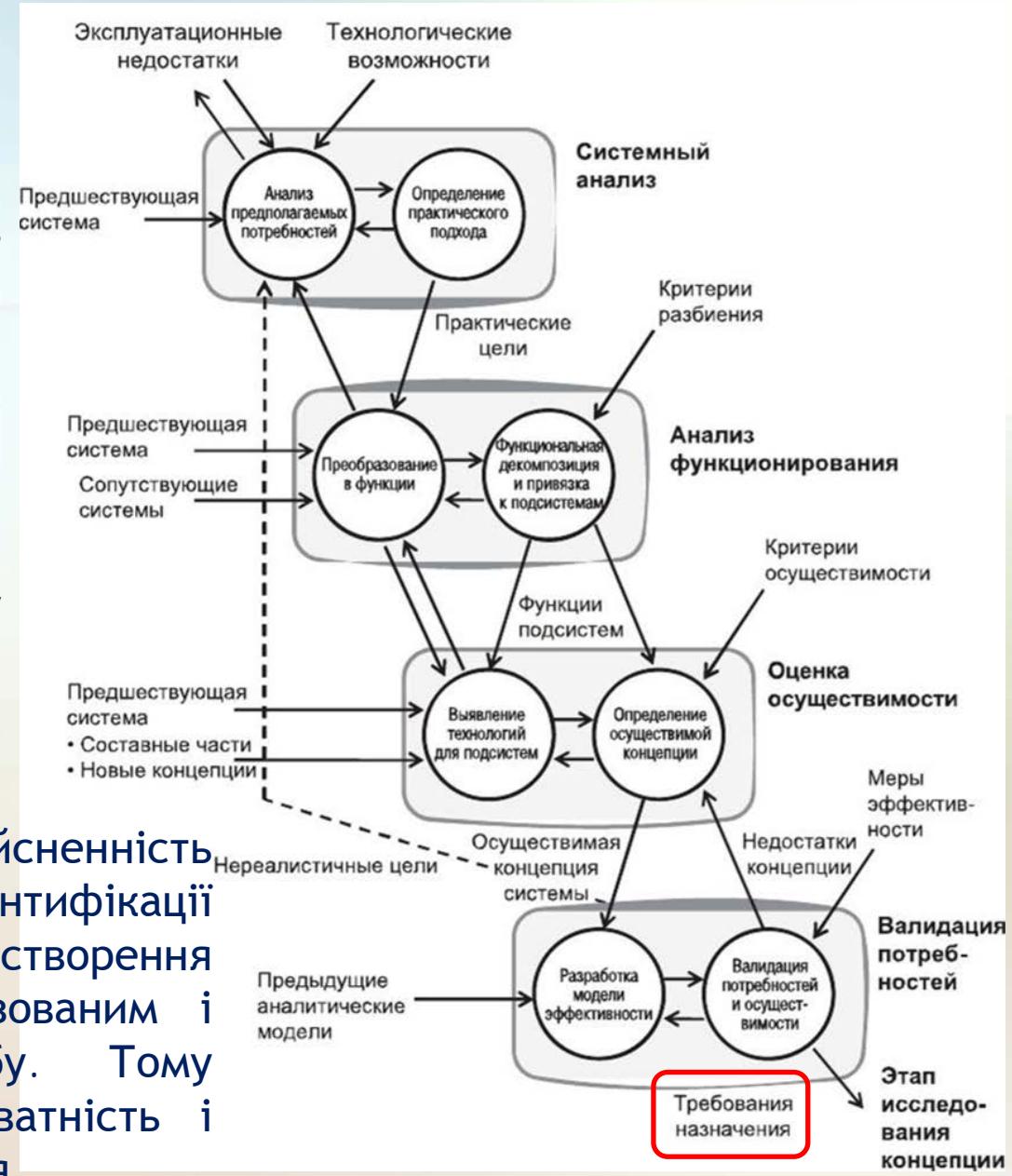


** SPECIAL MERCURE WEEKEND PUBLIC HOLIDAYS AND THURSDAY									
Dual Neutral availability									
** AMADEUS AVAILABILITY - AN ** PARIS.FR 49 MO 02AUG 0000									
Flight	Dep	Time	Arr	Time	T	Dur	S	Typ	Classes
AF 7713	NCE	06:40	CDG	06:15		1:35	319	●	Y9 S9 B9 K9 H5
AF 6201	NCE	07:10	ORY	06:35		1:25	320	●	Y9 S9 B9 K9 H5
AF 7711	NCE	07:25	CDG	09:00		1:35	320	●	Y9 S9 B9 K9 H5
** AMADEUS AVAILABILITY - AN ** NICE.NICE.FR 59 TH 12AUG 0000									
Flight	Dep	Time	Arr	Time	T	Dur	S	Typ	Classes
AF 6240	ORY	07:00 (+10)	NCE	08:25 (+10)		1:25	319	●	Y9 S9 B9 K9 H5
AF 7700	CDG	07:20 (+10)	NCE	06:55 (+10)		1:35	320	●	Y9 S9 B9 K9 H5

6. Вимоги призначення системи

Вихідний результат аналізу потреб - це набір практичних цілей, які в подальшому перетворюються в набір вимог призначення. В свою чергу, вимоги призначення системи, які є підсумковим результатом етапу аналізу потреб, встановлюють орієнтири, з якими в подальшому порівнюється система що розробляється. Тому так важливо, щоб ці вимоги були зрозумілими, повними, несуперечливими і здійсненними.

Передбачається, що здійсненність вже була встановлена шляхом ідентифікації щонайменше одного підходу до створення системи, який визнаний реалізованим і здатним задовільнити потребу. Тому залишається подбати про адекватність і несуперечності вимог призначення.



Сценарії практичного використання

Логічно послідовний метод розробки вимог призначення полягає в тому, щоб запропонувати ряд сценаріїв, які в сукупності становлять всю гаму ситуацій, очікуваних в процесі практичного використання.

Сценарій (Scenario) - опис певної послідовності дій (ISO/IEC 24765).



В основу сценаріїв має бути покладене ретельне вивчення умов застосування (експлуатації), бесіди з досвідченими користувачами попередньої системи і її аналогів, а також всебічне осмислення минулого досвіду і продемонстрованих недоліків існуючих систем. Особливо важливо правильно розставити призначені для користувача пріоритети щодо необхідних удосконалень, і, зокрема, тих, які здаються найбільш важкими для реалізації. Хоча склад і зміст сценаріїв істотно залежать від програми, можна виділити п'ять основних компонентів, властивих багатьом сценаріям.

Компоненти сценаріїв

1. Призначення і цілі. Сценарій повинен в цілому виявити цілі, пов'язані з можливістю використання системи за призначенням, а також місце і роль системи (або систем) в досягненні цих цілей. У деяких випадках цей компонент не залежить від системи, тобто роль якоїсь окремої системи не представлена, а дано лише загальний опис основного завдання і переслідуваних цілей. У разі комерційної системи призначення може полягати в захопленні частки ринку, в разі державної - в наданні деякого набору послуг виборцям, а в разі військової - в отриманні контролю над якоюсь конкретною фізичною установкою.

місія-гасло -

- в дуже короткій формі відбиває головний принцип існування підприємства на ринку.

місія-призначення -

- дає загальне уявлення про причину виникнення і сенс існування підприємства, характеризує види діяльності, характер продуктів, які виробляються, і послуг, що надаються, а також коло (сегменти) їх споживачів.

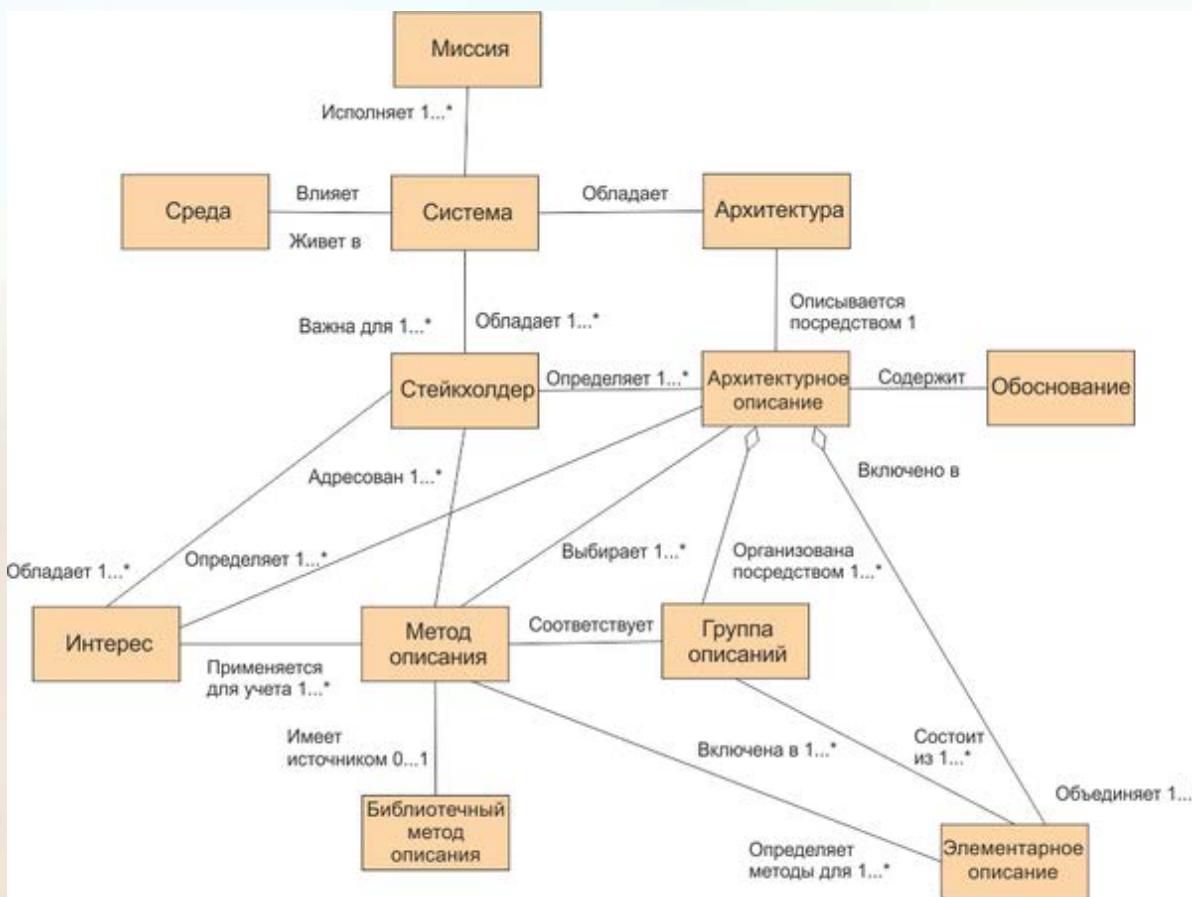
місія-орієнтація -

- визначає систему цінностей, яких дотримується керівництво і персонал підприємства, і які обумовлюють їх поведінку, стосунки з клієнтами і партнерами.

місія-політика -

- синтезує в собі головні цілі підприємства і його поведінку при їх досягненні, уявлення менеджерів і власників про майбутній стан підприємства.

2. Архітектура. Сценарій повинен виявити базову архітектуру системи. Сюди входить перелік систем, організацій та основні відомості про структуру. Якщо є відомості про методи управління, їх слід включити. Цей компонент повинен також містити загальні відомості про інтерфейси системи і опис інформаційно-технологічної інфраструктури. По суті, надається опис доступних ресурсів. Для комерційної системи в цьому сценарії описуються ресурси корпорації, для державної - організації та установи, які беруть участь у вирішенні задачі, для військової - військові формування з усім їх оснащенням.



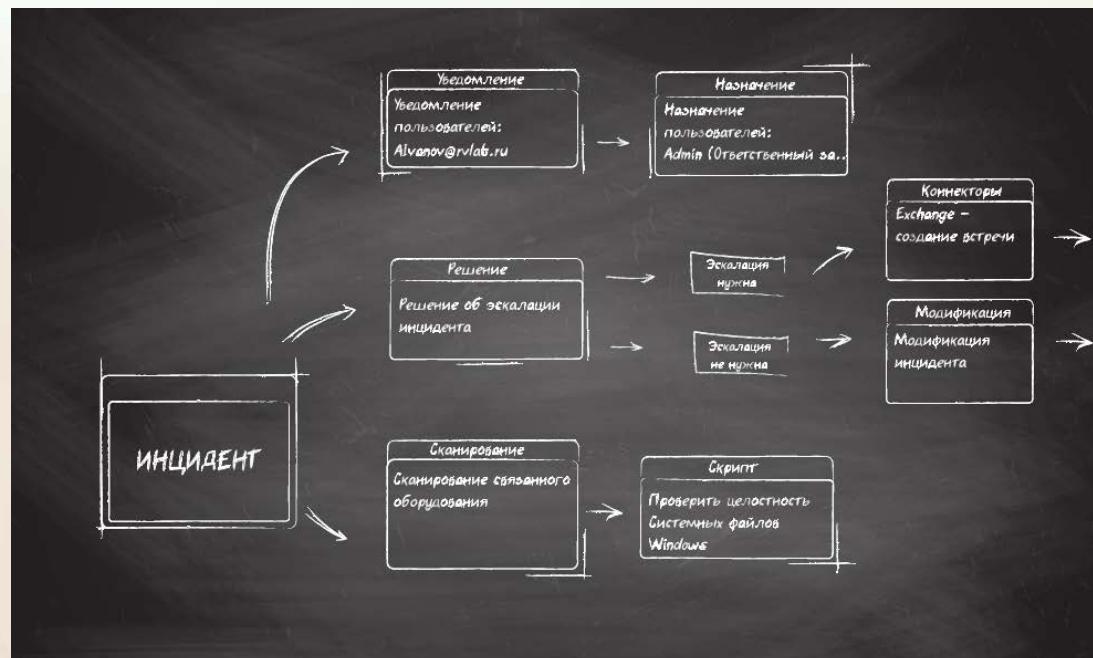
3. Фізичне оточення. Сценарій повинен виявити оточення, в якому він розгортається. Сюди входить як фізичне оточення (наприклад, рельєф місцевості, погодні умови, транспортна мережа і енергосистема), так і ділове (наприклад, період спаду або зростання економіки). У цій темі описуються «нейтральні» об'єкти. Зокрема, можна описати замовників і їх характеристики або нейтральні країни і їх ресурси.



4. Конкуренція. Сценарій повинен виявити наявних конкурентів. Це можуть бути сторони, які прямо протидіють успішному вирішенню завдань, наприклад хакер, або інший «противник», або ваш конкурент на ринку, або зовнішні фактори, що впливають на ваших замовників. Сюди ж можна включити стихійні лиха, такі як цунамі або ураган.



5. Загальна послідовність подій. Сценарій повинен виявити загальну послідовність подій в контексті завдання. Ми свідомо використовуємо розпливчасте слово «загальну». Сценарій повинен залишати свободу дій учасників. Оскільки ми застосовуємо сценарії для складання вимог призначення та оцінки ефективності системи, необхідна можливість змінювати різні параметри і події в рамках загального опису сценарію. Сценарій - не твердо прописаний текст ролі; це інструмент аналізу, а не пута, стримують розробку системи. Тому зазвичай в сценаріях описується лише загальна послідовність подій, а деталі залишаються аналітику, який цим сценарієм користується. Іноді в сценарії може бути представлена докладна послідовність подій аж до деякого моменту часу, з якого починається аналіз; після цього моменту дії можуть змінюватися.



Сценарій може включати і набагато більше, все залежить від застосування і переслідуваної мети. Обсяг сценарію також може змінюватися: від короткого графічного опису, що складається з декількох малюнків, до сотень сторінок тексту з даними.

Незважаючи на те що сценарії практичного використання, розроблені на цьому етапі, часто не розглядаються в якості невід'ємної частини офіційного документа, що містить вимоги призначення, в складних системах сценарії слід представляти як важливий вихідний матеріал для етапу дослідження. Досвід показує, що в документі з вимогами рідко вдається охопити всі параметри функціонування. До того ж для процесу аналізу ефективності необхідні дані про функціонування, представлені в формі сценарію. Тому набір сценаріїв функціонування рекомендується докладати до документа з вимогами, чітко вказуючи, що вони містять лише репрезентативне, а не вичерпне визначення вимог.

Як уже зазначалося, в сценаріях слід відображати не тільки активні функціональні взаємодії системи зі своїм оточенням, але також вимоги до її транспортування, зберігання, установці, технічного обслуговування та ремонту, а також і логістичного забезпечення. На цих етапах фізичні та обмеження і умови, що відносяться до навколишнього оточення, часто бувають більш жорсткими, ніж за нормальніх умов експлуатації. Єдиний спосіб кваліфіковано судити про повноту або неповноту вимог - розглянути всі можливі ситуації. Наприклад, температура і вологість в місці зберігання системи можуть радикально відбитися на терміні її служби.

Визначення вимог призначення

Спочатку вимоги призначення повинні бути описані скоріше в термінах результатів практичного використання, а не поведінки системи. Ці вимоги не можна визначати ні в розрізі можливої реалізації, ні в розрізі переваги, що чиниться якомусь конкретному концептуальному підходу. Всі вимоги призначення повинні бути виражені у вигляді, що піддається вимірюванню (перевірці). У тих випадках, коли в новій системі передбачається використовувати значні частини існуючої, це повинно бути спеціально обумовлено.

Необхідно включити явно або за посиланням логічне обґрунтування всіх вимог. Важливо, щоб системні інженери, які очолюють розробку системи, розуміли зв'язок вимог призначення до потреб користувачів, це не дозволить випадково прибулим неоднозначним тлумаченням привести до невиправданого ризику або витрат.

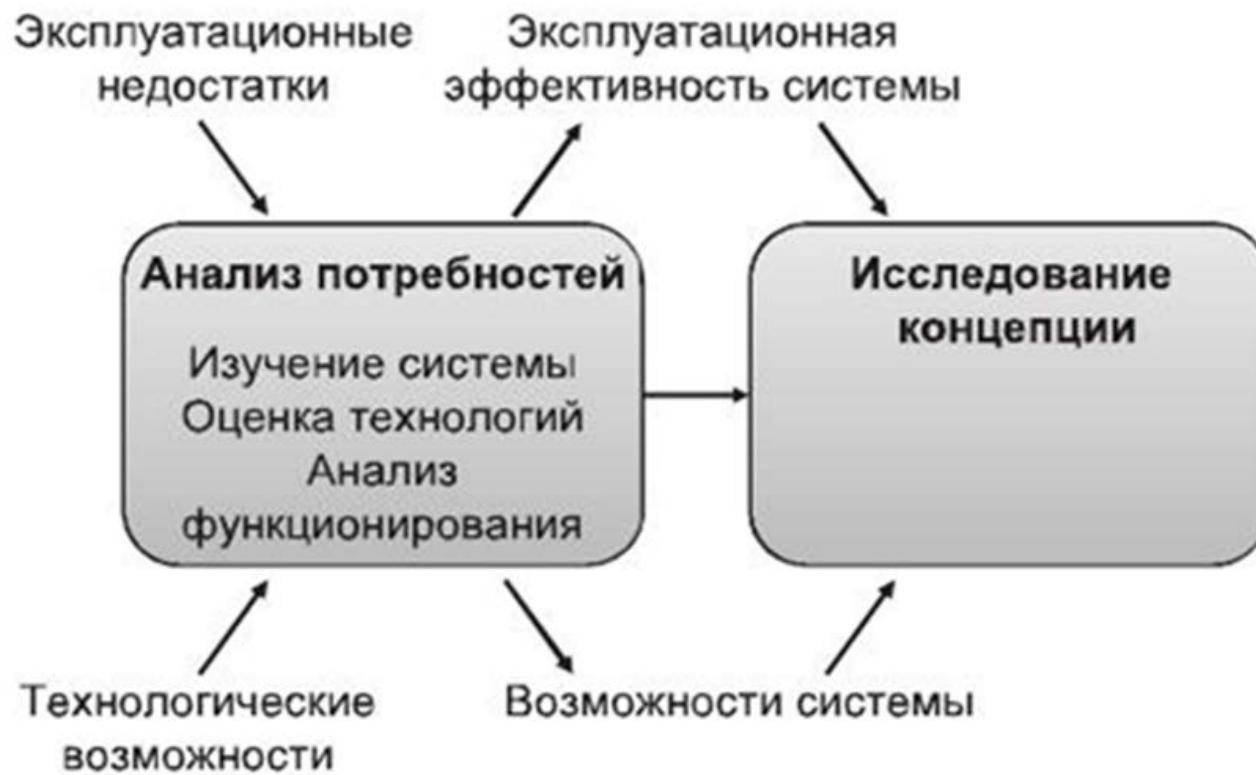


Момент, коли виникне необхідність в новій системі, неможливо визначити на основі виключно функціональних факторів, в певних обставинах критичний момент може виникнути в силу фінансових міркувань, морального старіння існуючих систем, графіків введення в експлуатацію платформ для розміщення системи (наприклад, літаків і аеропортів) і т.п. Це може накладати обмеження на терміни розробки системи, а значить, і на ступінь відмінності від існуючої системи.

Оскільки початковий варіант вимог призначення для нової системи рідко буває заснований на вичерпаному аналізі, замовник і потенційний розробник повинні розуміти, що вимоги будуть уточнюватися в ході розробки в міру появи додаткових знань про потреби та умови експлуатації системи.



З усього вищевикладеного зрозуміло, що результати роботи, виконаної на етапі аналізу потреб, слід вважати попередніми. На подальших етапах буде проведено більш детальний розгляд всіх аспектів, що відносяться до системи. Однак досвід показує, що загальний концептуальний підхід, що оформився під час аналізу потреб, часто залишається в силі і на наступних етапах. Цього і слід було очікувати, тому що даному процесу зазвичай приділяється багато часу і сил - від двох до трьох років. І хоча фінансування на цьому етапі обмежене, в процес часто втягується багато організацій.



Валідація здійсненості

Аналіз ефективності нерозривно пов'язаний з функціональними якостями системи і тому сам по собі не може використовуватися для валідації здійсненості фізичної реалізації системи. Особливо це справедливо у випадку, коли для забезпечення певних функціональних можливостей застосовується неперевірена технологія.

Непрямий підхід до валідації здійсненості полягає в тому, щоб привести переконливу аргументацію на основі аналогії з уже наявними додатками пропонованої до використання техніки. Такий підхід може виявитися адекватним за умови, що взятий в якості прикладу додаток дійсно представляє характерні особливості нової системи. Важливо, проте, щоб порівняння було кількісним, а не тільки якісним і доводило можливість досягнення заданих характеристик в результаті застосування пропонованої технології.



Пряний підхід до валідації здійсненості нової фізичної реалізації полягає в проведенні експериментальних досліджень розглянутої технології з метою продемонструвати, що прогнозовані характеристики дійсно досяжні на практиці. Такі «вирішальні експерименти» для вивчення нових концепцій реалізації часто ставляться на ранніх етапах програми.

Оскільки рішення про початок фактичної розробки системи ще не прийнято, на етапі аналізу потреб ресурси нерідко вкрай обмежені, і для виконання процесу валідації їх не вистачає. Тому якість процесу валідації у величезній мірі залежить від досвіду і винахідливості системних інженерів. Фактор досвіду особливо важливий, оскільки ця робота залежить від знання умов експлуатації, попередньої системи, досліджень і аналізів, що проводилися раніше, технологічної бази і методів системного аналізу та системної інженерії.



Важливість демонстрації здійснності

При визначенні підстав для розробки нової системи етап аналізу потреб покликаний не тільки продемонструвати існування важливої незадоволеної практичної потреби, а й представити аргументи, які доводять, що задовольнити цю потребу можливо. Для отримання таких доказів здійснюється візуалізація реалістичної концепції системи, яка має характеристики, що необхідні для досягнення практичних цілей. Цей процес ілюструє базовий принцип системної інженерії, згідно з яким процес встановлення реалістичних вимог до системи включає одночасний розгляд концепції системи, яка таким вимогам могла б відповісти. Даний принцип вступає в протиріччя з широко поширеною думкою про те, що вимоги, виведені з потреб, повинні визначатися до початку розгляду будь-якої концепції системи, яка могла б їх задовольнити.



Висновок

Завдання етапу аналізу потреб - ідентифікувати дійсно існуючу потребу в новій системі і розробити здійснений підхід до її задоволення. Такий стимульзований потребами підхід до розробки систем характерний для більшості оборонних та інших державних програм і, як правило, є результатом обмеженості можливостей існуючої системи. Розробка подібного типу вимагає використання технічного підходу, що гарантує здійсненність з прийнятними витратами.

Принципово інший підхід - це розробка системи, що стимульована технічним прогресом. Він характерний для розробки більшості комерційних систем і є результатом технологічної можливості, що відкрилася, для кращого задоволення будь-якої потреби. При розробці такого типу необхідно продемонструвати доцільність і можливість збути.

На етапі аналізу потреб виконуються наступні види діяльності:

- *системний аналіз* - осмислення потреби в новій системі;
- *аналіз функціонування* - визначення функцій, необхідних для того, щоб система могла успішно використовуватися за призначенням;
- *оцінка здійсненості* - виявлення здійсненного підходу до реалізації;
- *валідація потреб* - демонстрація економічної ефективності.

Проводяться дослідження і аналіз для формулювання і осмислення практичних потреб в новій системі. В результаті будується дерево цілей, яке описує ієрархію очікувань і результатів.

Ідентифікуються і упорядковуються вихідні функції системи, які дозволять досягти заявлених практичних цілей. Ці функції перевіряються шляхом аналізу і презентації користувачам і зацікавленим сторонам.

Приймається рішення про вибір підходу до розробки системи, воно доводиться до відома зацікавлених сторін, і дається приблизний кошторис витрат.

Крім того, озвучується початкова здійсненна концепція. Нарешті, починається розробка вимог призначення.

Раніше перевірений набір практичних потреб тепер піддається валідації шляхом аналізу експлуатаційної ефективності, зазвичай на декількох рівнях аналітичної піраміди. Концепції системи, що задовольняють практичні потреби, оцінюються за допомогою узгоджених показників ефективності і дають можливість отримати уявлення про повний ЖЦ системи.

Дякую за увагу!