Ідея **верифікації** (перевірка на відповідність формальним вимогам) всім звична. Багато важче сприймається ідея, що такої перевірки явно недостатньо: важлива не так відповідність вимогам, як те, щоб системою можна було користуватися — бо при розробці системи помилка могла зафарбуватися в самі вимоги. Тому потрібна не лише верифікація, а й **валідація** — перевірка того, що вимоги конкретного зовнішнього споживача чи користувача продукту, послуги чи системи задоволені.

Часто **система** визначається як «сукупність взаємопов'язаних компонентів, які працюють спільно для досягнення спільної мети»

**Інтерфейс** - елемент апаратного або ПЗ, який пов'язує між собою два або більше елементів системи для передачі інформації між ними. Функціональні зв’язки називаються взаємодіями.

**Модульність** - це міра, що характеризує ступінь взаємної незалежності окремих компонентів системи. Модульність - ступінь, в якій система або програма може бути охарактеризована як така, що складається з окремих елементів, таких, що зміна одного з компонентів призводить до мінімального впливу на інші компоненти

Процес розбиття системи на складові частинимодулі ми будемо називати **функціональною декомпозицією**

Система, для розробки, випробування і застосування якої потрібні системний інженер і системна інженерія, характеризується наступними ознаками:

• **Інженерна насиченість виробу**

• **Гетерогенність**, тобто система складається з різнотипних, різнорідних компонентів з нетривіальними взаємозв'язками і, як наслідок, її створення ведеться з використанням мультидисциплінарного підходу, а сама система відносно складна;

• **Використання передових технологій** так, що саме ці технології життєво необхідні для досягнення найважливіших функціональних можливостей системи і, як наслідок, її створення пов'язане з ризиком і часто обходиться відносно дорого.

**Призначення системної інженерії** полягає в керівництві розробкою складних, комплексних систем.

Далі, **комплексна інженерно насичена система** - в тому сенсі, в якому ми розуміємо її в цій книзі –

1) складається з декількох різнорідних, різнотипних елементів, які пов'язані між собою складним чином

2) вимагає застосування системної інженерії для керівництва розробкою.

**Системна інженерія відрізняється від традиційних дисциплін** тим, що

1) предметом її розгляду є система в цілому;

2) її цікавлять потреби замовника і умови експлуатації;

3) вона спрямовує розробку концепції системи;

4) вона наводить мости між традиційними інженерними дисциплінами і долає нерозуміння між окремими фахівцями.

Системна інженерія є невід'ємною частиною керівництва проектом, оскільки необхідна для планування і напрямки інженерних зусиль. Сучасна системна інженерія з'явилася в результаті того, що передові технології в поєднанні зі зростанням ступеня автоматизації принесли з собою ризики та підвищення складності; при цьому конкурентна боротьба вимагала йти на ризик після ретельної оцінки можливих наслідків, а поглиблення спеціалізації диктувало необхідність міждисциплінарних зв'язків і побудови інтерфейсів.

**До числа інженерно насичених комплексних систем** відносяться, зокрема: - Метеорологічні супутники; - Системи управління повітряним рухом в зоні аеропорту; - Системи стеження за вантажівками; - Системи бронювання авіаквитків; - Медичні інформаційні системи; - Пасажирський літак; - Сучасний збиральний комбайн; - Нафтопереробний завод; - Автоскладальний завод; - Електростанція.

Отже, **успішний системний інженер володіє наступними якостями**:

1) Добре вміє вирішувати завдання і вітає складні проблеми;

2) Має хорошу технічну підготовку і широкий кругозір;

3) Має аналітичний, системний склад розуму і при цьому проявляє творчі здібності;

4) Прекрасно володіє навичками спілкування, природжений лідер.

**На Т-образній моделі представлено поєднання досвіду, освіти, системи наставництва і глибини технічних знань**, яке необхідне для становлення успішного і впливового системного інженера. У загальному і цілому системна інженерія - це дисципліна, що має високий потенціал, вимагає мультидисциплінарних знань і дозволяє агрегувати різноманітні системні елементи.

**Системний інженер повинен уміти виконувати** наближені розрахунки щодо складних випадків, щоб перевірити результат на істинність. І нарешті, він повинен володіти скептичним, але разом з тим позитивним складом розуму - необхідна умова виправданого ризику.

Таким чином, системний інженер шукає **найкращий баланс** критично важливих властивостей системи з точки зору успішності програми розробки і цінності системи

Взаємозалежність між показниками функціонування і вартістю можна зрозуміти виходячи з **закону спадної дохідності**

Відношення значення технічного або функціонального показника до витрат еквівалентно **поняттю економічної ефективності**.

Найважливіша функція системної інженерії - знайти баланс між різними компонентами системи, які, як уже зазначалося вище, проектувалися вузькими предметними фахівцями, що прагнули оптимізувати характеристики конкретних компонентів

**Підхід системної інженерії,** з яким ми познайомилися раніше, передбачає, що в центрі уваги повинні перебувати наслідки і вирішення проблеми з наміром розробити або побудувати систему, яка допоможе впоратися з цим завданням. Цей підхід носить в основному технічний характер і включає опитування потенційних користувачів і розробників системних рішень з метою з'ясування найважливіших потреб, вимог, а також концепції функціонування; лише після цього можна приступати до функціонального і фізичного проектування, розробки проектних специфікацій, виробництва та випробування системи, що вирішує поставлене завдання.

Більш широкий і вільний від помилок погляд на системний підхід до вирішення особливо великих і складних інженерних задач на основі об'єднання досягнень інженерних, управлінських і соціальних наук із застосуванням передових методологій моделювання отримав назву «**системобудування**» (engineering systems). Ідея полягає в тому, щоб, при вирішенні серйозних проблем, які стоять перед суспільством і можуть мати глобальні наслідки, з'ясувати, як складні інженерні об'єкти будуть взаємодіяти один з одним з урахуванням соціальних, економічних і екологічних факторів.

Популярні в системній інженерії **V-подібні схеми** надають можливість показати життєвий цикл розробки, в якому чітко простежуються зв'язки між вимогами і описом системи, з одного боку, і виготовленим, які пройшли випробування виробом - з іншого.

У центрі уваги системної інженерії знаходиться створення успішної системи, яка задовольняє вимогам, а також цілям розробки, придатна до успішної експлуатації в реальних умовах і безперебійно функціонує протягом всього терміну служби. Щоб досягти цього ідеалу, системний інженер повинен знайти **баланс** між можливо високими показниками функціонування, ціновою доступністю і обмеженнями за термінами.

Протягом періоду розробки системний інженер концентрує увагу на всій системі, приймаючи ті чи інші рішення в залежності того, як вони впливають на систему в цілому. Щоб забезпечити таке комплексне рішення, нерідко доводиться наводити мости між різними предметними областями.

Співробітник, що спеціалізується, наприклад, на проектуванні, «**одновимірний**» - він глибоко знає свою технічну область, але йому бракує технічного кругозору і управлінського досвіду. Спеціаліст з планування та управління «**двовимірний**» - у нього є багатий досвід керівництва, помірно широкий технічний кругозір і поверхневі знання в конкретних технічних дисциплінах. Системний інженер «**тривимірний**» - у нього широкий технічний кругозір поєднується з досить глибокими технічними знаннями і досвідом керівництва.

Для розуміння системної інженерії використовується кілька уявлень: від загальноприйнятого підходу **системного мислення** до вирішення завдань до підходу, що бере за основу процес розвитку, характерного для **системної інженерії** і,в ширшій перспективі, - до **системобудування**. Погляд на системну інженерію як на системобудування охоплює не тільки традиційні інженерні дисципліни, але також технічну та управлінську області поряд з

**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** (SoS) - велика, що володіє унікальними можливостями система, утворена в результаті об'єднання кількох систем, здатних незалежно надавати корисну продукцію і/або послуги

**Техніка моделювання** - один з основних інструментів системної інженерії, особливо в ситуації, коли зібрати факти, що піддаються однозначної інтерпретації і мають кількісне вираження, не виходить.

**Підсистема** - Вторинна або підпорядкована система, включена в більшу систему.

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**.

**Компонент** - сутність з дискретною структурою, така як збірка або програмний модуль всередині системи, яка аналізується на обраному рівні спільності

**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 сутності

**деталі** - представляє елементи, які здатні до виконання якої-небудь значущої функції тільки в поєднанні з іншими деталями

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

1. **Інформація** - зміст будь-якого знання і повідомлення. **Інформація** - значні дані

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.

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.

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.

**Оточенню системи** можна дати широке визначення - все, що знаходиться поза системою і взаємодіє з нею

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?

**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.

**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.

**Взаємодія** — широкий загальний термін, що позначає таку сумісну дію кількох об'єктів або суб'єктів, при якій результат дії одного з них впливає на інші, що змінює їхню динамічну поведінку

**Система**. Вона зображується суцільною фігурою - овалом, кругом або прямокутником, в центрі якого знаходиться тільки назва системи без будьякої додаткової інформації.

**вплив** - активна дія суб'єкта на об'єкт, не обов'язково явна або зі зворотним зв'язком

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.**

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 навколишнього середовища та ін.

**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.

**Вхід** - будь-який предмет, зовнішній або внутрішній по відношенню до проекту, необхідний процесу для свого продовження. Може бути виходом попереднього процесу (PMBOK).

**Вихід** - продукція, результат або послуга, створена процесом. Може бути входом наступного процесу (PMBOK)

**Оператор** - особа або організація, які здійснюють експлуатацію системи

**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 (PMBOK). Це теж клас зовнішніх об'єктів; погрози бувають як **природні**, так і **штучні**

**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

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**

Межі між окремими компонентами всередині системи встановлюють її **внутрішні інтерфейси**

Взаємодія між двома елементами системи здійснюється за допомогою **з'єднуючого інтерфейсу**

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.

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

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

**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.

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

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 напрочуд 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 розібрати 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.

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.

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»

Під **інженерією систем масштабу підприємства** (enterprise systems engineering) розуміється застосування принципів і практичних прийомів системної інженерії до інженерії систем, що входять до складу 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 вищенаведеними термінами як синонімами, однак насправді вони відносяться до різних рівнів абстракції.

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 проектуванн**я 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 конструктивними ознаками ми виділили шість категорій:

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

**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.

**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.

Еволюція нової системи з моменту усвідомлення потреби в ній і ідентифікації технічного підходу, придатного для реалізації задуму на всьому протязі розробки і подальшого введення в експлуатацію, є складною послідовністю перетворень, яку ми далі будемо називати **процесом розробки системи**

Термін «**життєвий цикл системи**» зазвичай вживається для позначення покрокової еволюції нової системи від задуму через розробку до виробництва, експлуатації та, в кінцевому рахунку, ліквідації.

**Модель управління закупівлями МО США**. Модель включає 5 стадій: аналіз рішення про матеріали, розробка технології, розробка інженерних і виробничих рішень, виробництво і розгортання, експлуатація та супровід. Два види діяльності - визначення потреб користувача і технічних можливостей і ресурсів - вважаються частиною процесу, але не представлені в якості формальної складової частини циклу закупівель.

**Стадія** (Stage) - період часу протягом ЖЦ об'єкта, який відноситься до певного стану його реалізації або опису (ISO/IEC 12207, ISO/IEC 15288).

**стадія розробки концепції** - вона охоплює початковий період, коли формується і вибирається концепція системи, реалізація якої дозволяє найкращим чином задовольнити встановлені потреби;

**стадія розробки інженерно-технічних рішень** - вона охоплює перехід від концепції системи до минулого успішну валідацію проекту фізичної реалізації системи, що відповідає експлуатаційним, вартісним і тимчасовим вимогам;

**построзробницька** стадія - вона включає виробництво, розгортання, експлуатацію та супровід системи протягом усього терміну її служби. Назви стадій обрані відповідно до основним типом діяльності.

Построзробницька стадія для нової системи починається після того, як система успішно пройде процес випробувань та атестації, який іноді називають **приймальними випробуваннями**

**Концепція** — система поглядів, те або інше розуміння явищ і процесів; єдиний, визначальний задум.

У нашій моделі ЖЦ для системного інженера стадія розробки концепції ЖЦ включає 3 етапи: **аналіз потреб, дослідження концепції та визначення концепції**. Ці етапи, основні види діяльності на кожному з них, входи і виходи показані на рисунку в такому ж форматі, як і раніше

**Етап аналізу потреб**. На цьому етапі виявляється потреба в новій системі. Тут ставлять запитання типу «Чи дійсно потрібна нова система?» І «Чи існує практично здійсненний спосіб задовольнити цю потребу?»

**Етап дослідження концепції**. На цьому етапі досліджуються можливі варіанти концепцій системи і ставлять запитання типу «Якими повинні бути характеристики нової системи, щоб задовольнити виявлені потреби?» і «Чи існує хоча б один спосіб досягнення таких характеристик з прийнятними витратами?». Якщо відповідь на ці питання позитивна, то ще до витрат значних сил і засобів на розробку проекту нової системи відомо, що у нього є чітко визначена і досяжна мета.

**Аналіз вимог** (Requirements Analysis) - процес вивчення потреб користувача в цілях визначення вимог до системи, до апаратних або програмних засобів (ISO/IEC 24765).

**Етап визначення концепції.** На цьому етапі визначається краща концепція. Слід відповісти на питання: «Які ключові характеристики концепції системи, при яких досягається сприятливий баланс між функціональними можливостями, терміном служби і вартістю?» Для цього потрібно розглянути кілька альтернативних концепцій і порівняти їх характеристики, практичну корисність, ризики розробки і вартість. Отримавши задовільну відповідь, можна приймати рішення про виділення серйозних ресурсів на розробку нової системи.

На виході виходять 2 подання однієї і тієї ж системи: **набір функціональних специфікацій**, що описують, що і наскільки добре повинна робить система, **і прийнята концепція**. Остання може бути представлена в одному з двох видів. Якщо складність системи відносно мала, то для формування загальної стратегії проектування досить простого **опису концепції**. Якщо ж система по-справжньому складна, то такого опису недостатньо і необхідно представити **всебічну системну архітектуру**, яка відображатиме різні погляди на систему. Незалежно від ступеня деталізації концепцію слід описати в кількох ракурсах - головним чином **функціональному і фізичному**. Якщо складність особливо велика, то цілком можуть знадобитися і інші ракурси.

**Етап ескізного проектування**. ідентифікація зон ризику, зниження цих ризиків за допомогою аналізу, розробки і випробувань, а також визначення проектних специфікацій системи (В-специфікацій)..

На етапі ескізного проектування стоять два основні завдання: 1) **ідентифікація і зниження ризиків розробки** і 2) **розробка проектної документації на систему**. Цей етап особливо важливий, коли концепція системи передбачає використання передової технології, яка раніше не застосовувалася в подібних розробках, або коли для досягнення необхідних характеристик доводиться піддавати компоненти більшого навантаження, ніж було прийнято раніше. Мета ескізного проектування полягає в тому, щоб отримати уявлення про конструкцію складових частин системи, рішення по яких не опрацьовані, і продемонструвати практичну можливість виконання вимог до цих частин, а також закласти основу для перетворення функціональних вимог до системи в документацію на систему і в технічні вимоги до компонентів.

**Етап технічного проектування** попереднє і остаточне проектування, створення і випробування апаратних і програмних компонентів, наприклад елементів конфігурації.

Завдання цього етапу полягає **в перетворенні специфікацій на компоненти** в набір проектних рішень щодо компонентів. Зрозуміло, відразу після проектування, а іноді і одночасно з ним необхідно провести випробування компонентів. Є і ще одна задача, рішення якої виконується на даному етапі - уточнення програми випробувань і атестації

Два результату першорядної важливості на цьому етапі - **програма випробувань і атестації** та **розробка прототипу**. Прототип може приймати різні форми, і зовсім необов'язково розглядати його за аналогією з прототипом програми. Залежно від різновиду системи прототип, створюваний на цьому етапі, може бути віртуальним, фізичним або гібридним

**Етап комплексування і атестації**. збірка компонентів в готовий дослідний зразок, атестація дослідного зразка і виправлення недоліків . Ми розглядаємо процес комплексування і атестації системи як окремий етап ЖЦ. Результатами цього етапу є**: 1) специфікації, що служать керівництвом при виготовленні** системи, які зазвичай називаються «технічні умови на виробництво системи» (або вихідною виробничою документацією) і **2) власне готова система**.

**Комплексування** (Integration) - Процес об'єднання компонентів ПЗ і апаратних компонентів або того й іншого в загальну систему (ISO/IEC 24765). Процес складання системи згідно з проектом архітектури (ISO/IEC 15288).

**Атестація** - визначення технічних характеристик, споживчих якостей товарів споживання та продукції виробничого призначення.

**Етап виробництва**. Црозробка інструментів і оснастки; виробництво системної продукції, поставка системи користувачам і введення її в експлуатацію.

**Етап експлуатації та супроводу**. забезпечення експлуатації, технічного обслуговування і ремонту системи, а також підготовка та здійснення заходів з модернізації системи без її виведення з експлуатації.

З урахуванням сказаного розробка системи зазвичай є **гібридною**, тобто в процесі розробки перевірені на практиці компоненти і підсистеми поєднуються з новими, ще не випробуваними в справі

Кроки розробки нової системи можна розглядати як поступову «**матеріалізацію**» системи - поступовий перехід від абстрактної потреби до складання і монтажу придатних до роботи компонентів, що спільно виконують складні функції заради задоволення цієї потреби

Важливість цього факту для розуміння процесу розробки системи була в повній мірі усвідомлена, і сукупність дій, що повторюються від етапу до етапу, отримала особливу назву - в різних публікаціях вона називається **процесом інженерії систем** (systems engineering process) або **підходом системної інженерії** (systems engineering approach). Подібну сукупність ітеративних дій ми будемо називати **методом системної інженерії** (systems engineering method); до його вивчення ми звернемося далі.

Першою організацією, що запропонувала формальний опис процесу системної інженерії, було Міністерство оборони США. Відповідний документ отримав назву військового стандарту MIL-STD-498. З тих пір цей процес зазнав декількох ітерацій, і остання офіційна редакція стандарту (перш ніж його підтримка була припинена) мала номер MIL-STD-499B. Це процес показаний на рисунку і включає 4 основні дії: **аналіз вимог, аналіз функцій і їх прив'язка, синтез, а також системний аналіз і управління**.

13 процесів розбиті на 5 категорій: **технічне керівництво, придбання і постачання, проектування системи, реалізація продукції і технічна атестація**. Процеси з першої і останньої категорії майже безперервно присутні протягом усього ЖЦ розробки системи. Планування, оцінка та управління не припиняються після завершення початкових етапів розробки, а аналіз системи, валідація вимог, верифікація системи та валідація кінцевої продукції починаються задовго до появи продукції в фізичному вигляді. Процеси, що входять в одну з 3 проміжних категорій, протікають лінійно, але зі зворотним зв'язком і ітераціями.

Метод системної інженерії можна уявити собі як систематичне застосування наукового методу до інженерної діяльності по створенню складної системи. Можна вважати, що він включає чотири основних види діяльності, які застосовуються послідовно, як показано на рисунку: 1**. Аналіз вимог. 2. Функціональний опис. 3. Опис фізичної реалізації. 4. Валідація проектних рішень.**

**1. Аналіз вимог (постановка завдання).** визначається, чому необхідні ті чи інші вимоги. Типові дії включають: - збір та систематизацію всіх вхідних умов, в тому числі вимог, планів, точок прийняття рішень і моделей, отриманих на попередньому етапі; - відповідь на питання «навіщо» стосовно до всіх вимог - в термінах практичних потреб, обмежень, оточення та інших високорівневих цілей; - прояснення вимог до того, що, наскільки добре і в рамках яких обмежень повинна робити система; - виправлення невідповідностей і вираз вимог у вимірних показниках там, де це можливо.

**2. Опис функцій (аналіз функціонування і прив'язка функцій)**. вимоги переводяться на мову функцій. Типові дії: - переклад вимог (навіщо, чому) на мову функцій (дій та робіт), які повинна виконувати система (що); - декомпозиція вимог з прив'язкою до функціональних складових частин; - опис взаємодій між функціональними елементами, що дозволяє закласти основу для побудови модульної конфігурації.

**3. Опис фізичної реалізації (синтез, аналіз фізичної реалізації та розміщення елементів).**

синтезуються альтернативні варіанти фізичної реалізації. Типові дії: - синтез кількох альтернативних компонентів системи, що представляють різноманіття проектних підходів до реалізації необхідних функцій і дозволяють найбільш простим чином здійснити взаємодії і реалізувати інтерфейси між елементами структури; - вибір найкращого підходу, де в основі прийняття рішення лежить досягнення компромісу на основі аналізу сукупності заздалегідь визначених критеріїв із заданими пріоритетами (показниками ефективності) в інтересах отримання найкращого «балансу» між показниками функціонування, ризиками, витратами і термінами; - опрацювання проектних рішень з необхідним ступенем деталізації.

**4. Валідація проектних рішень (верифікація та оцінка).** - моделюється оточення системи. Типові дії: - проектування моделей оточення системи (логічної, математичної, імітаційної і фізичної), що відображають всі істотні аспекти вимог і обмежень; - імітація або випробування і аналіз системного рішення (рішень) на моделях оточення; - при необхідності - виконання ітерацій для коригування моделі системи або моделей оточення або для ослаблення занадто жорстких вимог, до тих пір, поки проектні рішення і вимоги не будуть повністю узгоджені.

**Організація і інтерпретація**. При добре налагодженому процесі на вході нового етапу ЖЦ системи виділяються 3 основних складових, які були визначені на попередньому етапі (або в результаті його виконання): 1. **Модель системи**, в якій відображені і зафіксовані всі проектні рішення, прийняті і схвалені на попередніх етапах. 2. **Вимоги (або специфікації),** які відносяться до проекту, показниками функціонування і сумісності інтерфейсів системи або її елементів, що підлягають розробці на наступному етапі. Ці вимоги виводяться з раніше розроблених високорівневих вимог з урахуванням уточнень і / або коригувань, що мали місце на більш пізньому етапі. 3**. Конкретні результати**, які повинні бути досягнуті кожним із підрозділів організації в ході наступного етапу, в тому числі ідентифікація всіх технічних проектних даних, апаратних / програмних продуктів і пов'язаних з цим результатів випробувань. Ця інформація зазвичай наводиться у вигляді послідовності звітів про взаємозалежних завданнях.

**Перетворення в функції**. Елементи системи, які можуть служити функціональними складовими частинами, коротко обговорювалися вище. Базові складові частини знаходяться на рівні компонентів і представляють елементи, що виконують деяку значущу функцію і взаємодіючі тільки з однієї середовищем

Декомпозіція і прив'язка кожного з отриманих в результаті чергової ітерації наборів вимог і функцій, які планується реалізувати на наступному по порядку рівні опису системи, - одна з основних обов'язків системного інженера. Вперше це відбувається на стадії розробки концепції слідом за визначенням архітектури системи. Завдання полягає в ідентифікації та описі всіх функцій, які передбачається реалізувати згідно з відповідними кількісними вимогам до кожної підсистемі, з тим щоб були досягнуті повноваження, встановлені для даного системного рівня. Потім ця інформація відбивається в **функціональних специфікаціях на систему**, які беруться за основу на наступній стадії розробки інженерно-технічних рішень. Надалі на етапі ескізного проектування ці функції підсистем верхнього рівня і вимоги до них прив'язуються до окремих компонентів системи в складі кожної підсистеми. Як зазначалося вище, це найнижчий рівень ієрархії проектних рішень, що має пряме відношення до системної інженерії; виняток становлять лише особливі випадки, коли низькорівневі елементи виявляються критично важливими для роботи системи.

**Аналіз компромісів**. Вибір відповідних функціональних елементів, як і всі інші аспекти проектування, являє собою індуктивний процес, в рамках якого вивчається набір постульованих альтернатив і вибирається одна з них, визнана найкращою з урахуванням поставленої мети. Метод системної інженерії для прийняття проектних рішень використовує **аналіз компромісів**

**Функціональні взаємодії**. Один з найважливіших кроків при проектуванні системи - опис функціональних і фізичних взаємозв'язків її елементів, а також їх взаємодії. Необхідна складова частина цієї діяльності - рання ідентифікація всіх значущих функціональних взаємодій і способів, за допомогою яких можуть бути агреговані функціональні елементи з тим розрахунком, щоб інтенсивно взаємодіють елементи виявилися включені в одну групу, а взаємодії між групами були якомога простішими.

**Синтез альтернативних елементів системи**. Для реалізації елементів функціональної архітектури потрібно визначити конкретний спосіб фізичного втілення. Йдеться про вибір матеріалів, форми елемента, компонування, а також конструкції з'єднувачів. У багатьох випадках вибирається також технологічний підхід - від застосування новітніх досягнень до використання перевірених способів.

**Вибір кращого підходу**. Протягом ЖЦ системи в різних точках прийняття рішень доводиться вибирати найкращий підхід (або підходи). Важливо розуміти, що особливості подібного вибору змінюються в залежності від етапу ЖЦ

**Опис інтерфейсу**. На кроці опису фізичної реалізації неявно присутній опис як внутрішніх, так і зовнішніх інтерфейсів і управління ними. Будь-який елемент, доданий або перероблений в процесі проектування, повинен бути з'єднаний з сусідніми елементами або з зовнішніми входами або виходами

**Моделювання оточення системи**. Щоб виконати валідацію моделі системи, необхідно створити модель оточення, з яким система зможе взаємодіяти, і переконатися, що досягаються необхідні робочі показники функціонування. Завдання моделювання оточення регулярно виникає в процесі розробки системи.

**Випробування і аналіз результатів випробувань**. Визначальний крок при валідації проектних рішень - проведення серії випробувань, в яких модель системи (або її значна частина) взаємодіє з моделлю оточення таким чином, щоб можна було виміряти результати і проаналізувати їх в світлі вимог до системи. Обсяг випробувань залежить від ступеня матеріалізації системи;

Ітеративна природа процесу розробки системи, коли метод системної інженерії послідовно застосовується для покрокової матеріалізації системи, знайшла відображення в так званій **спіральній моделі життєвого циклу.**

**Випробування** - це процес виявлення невідомих дефектів проекту. В ході випробування перевіряється, що проблеми з усіма відомими невідомими розв’язані, і виявляються невідомі невідомі і їх причини. Якщо невідомі будуть виявлені із запізненням, це може обійтися надзвичайно дорого, тому планування випробувань і аналіз їх результатів - одна з найважливіших обов'язків системного інженера.

Щоб краще розібратися в численних і різноманітних функціях системної інженерії, ми обговоримо деякі основні особливості загальної схеми управління проектом, зокрема **ієрархічну структуру робіт** (work breakdown structure - WBS), **організацію проекту і план управління системної інженерією** (systems engineering management plan - SEMP). Тут же порушується питання про управління ризиком, описуються організація заходів системної інженерії та інтегрована модель зрілості можливостей в тому вигляді, в якому вона може бути застосовна до системної інженерії.

Розробку системи часто ініціює сторона, що має деяку потребу, наприклад замовник, у якого в конкурентному середовищі звернення за допомогою нерідко відбувається в формі **запиту пропозиції** (request for proposal - RFP).

Найважливіший елемент пропозиції - **технічне завдання** (statement of work - SOW). Це словесний опис робіт, які належить виконати для того, щоб створити систему, що відповідає потребам замовника.

Одна з найбільш важливих методик - системна організація проектних завдань у формі **ієрархічної структури робіт** (work breakdown structure - WBS) або, в більш рідкісних випадках, **ієрархічної структури проекту або системи**. **Ієрархічна структура робіт** - орієнтована на результат поставки ієрархічна декомпозиція робіт, виконуваних командою проекту для досягнення цілей проекту і необхідних результатів поставки (PMBOOK).

**Виробництво системи** - це повна сукупність зусиль, спрямованих на розробку, виготовлення і комплексування системи разом з допоміжним обладнанням, необхідним для її функціонування.

**Підтримка системи** (або інтегроване логістичне забезпечення) має на увазі надання обладнання, приміщень і послуг, необхідних для розробки та експлуатації системи

**Випробування системи** починаються після того, як за результатами випробувань буде виконана валідація проектних і конструкторських рішень для окремих компонентів

**Інтеграційне тестування** (integration testing). Ця категорія супроводжує покрокове комплексування компонентів і підсистем до тих пір, поки не буде зібрана система в цілому

**Системне тестування** (system testing). Дана категорія включає виконання всіх перевірок системи в цілому з подальшою оцінкою результатів випробувань.

**Приймальні випробування** (acceptance testing). Ця категорія являє випробування готової системи на заводі, а також випробування поставленої споживачу системи після її установки на місці експлуатації.

**Експлуатаційні випробування** та атестація (operational testing and evaluation). Дана категорія призначена для перевірки ефективності всієї системи в умовах реальної експлуатації.

Загальний опис цілей і змісту випробувань, а також перелік обов'язкових випробувань повинні бути викладені у зведеному документі з планування та управління випробуваннями, який в США стосовно галузі оборонних закупівель називається «**план управління випробуваннями і атестацією**»

**Керівництво проектом** включає завдання, до яких відносяться всі дії, пов'язані з плануванням і контролем проекту, в тому числі підготовка та супровід WBS, складання графіків і кошторисів, оцінка ефективності, аналіз ходу робіт і звітність і т.д.

**Задачі системної інженерії** включають діяльність системних інженерів по керівництву розробкою системи на всіх етапах концептуального і технічного проектування

Ще одна важлива діяльність - підключення спеціального проектування на ранніх етапах проекту, іншими словами, те, що прийнято називати **паралельної інженерією** (concurrent engineering).

**Метод критичного шляху** - важливий інструмент управління проектом, що дозволяє простежити, як великі елементи системи з'являються в міру розробки їх складових частин. Оцінити можна не тільки вартість, але і тимчасові витрати на кожному кроці. Шлях, яким відповідають завдання, для виконання яких потрібно максимальний час для завершення, називається **критичним**. Різниця між цим часом і часом, обчисленим для будьякого іншого шляху, називається **резервом** цього шляху

**План управління системної інженерією** містить детальний опис того, як повинні бути реалізовані функції системної інженерії в ході розробки системи. Вважають, що існують 3 види дій:

1. **Планування і контроль програми розробки**: обумовлюються завдання системної інженерії по управлінню програмою розробки, в тому числі: - опис робіт; - організація; - календарне планування; - аналіз ходу робіт за програмою, проектних рішень та готовності до випробувань; - управління ризиком.

2. **Процес системної інженерії**: описується процес системної інженерії в частині його застосування до розробки системи, в тому числі: - вимоги до функціональних можливостей; - аналіз функцій; - аналіз системи і стратегія прийняття компромісних рішень; - стратегія випробувань і атестації системи.

3**. Інтеграція спеціальної інженерної** діяльності: описується, яким чином включити в проектування і розробку основної системи питання, які стосуються спеціальної інженерної діяльності, а саме: - надійність, ремонтопридатність, придатність до використання; - підготовка виробництва; - забезпечення безпеки, в тому числі техніку безпеки; - ергономічне проектування.

**Управління ризиком** - процес безперервної ідентифікації, оцінки, обробки і моніторингу ризиків

Як ми побачимо нижче, на етапі ескізного проектування **оцінка ризиків** - корисний підхід, що дозволяє виявити і охарактеризувати особливості запропонованих проектних рішень, що викликають досить високий проектний ризик (тобто ймовірність зазнати невдачі при задоволенні вимог) і надають настільки сильний вплив на програми, щоб обґрунтувати необхідність аналізу і, якщо знадобиться, розробки і випробування

Для порівняння потенційної значущості різних джерел ризику необхідно розглянути два параметра ризику: **ймовірність того, що даний компонент може відмовити, що не дозволить використовувати його за призначенням, і вплив, або критичність, такої відмови для успіху програми в цілому**

**Імовірність ризику: ймовірність відмови**. Невизначеностей занадто багато, щоб можна було чисельно розрахувати ймовірність того, що певна мета програми буде досягнута, тому при кількісній оцінці ризиків немає сенсу домагатися точних оцінок, досить встановити відносні пріоритети.

**Критичність ризику: вплив відмови**. Вище вже зазначалося, що ступінь серйозності ризику конкретного відмови можна виразити в термінах двох чинників: імовірності, що відмова дійсно станеться, і критичності його впливу на успіх програми. Напівкількісну оцінку серйозності ризику можна представити у вигляді поєднання двох цих чинників.

**Роль системної інженерії . Завдання оцінки ризику** (і наступна за нею завдання управління ризиком), очевидно, потрапляє в сферу відповідальності системної інженерії

1**. Інтенсифікація аналізу процесу розробк**и з технічної та управлінської точок зору. **Технічний і управлінський аналіз**. Формального аналізу може бути піддана ціла підсистема, але найбільш глибоко розглядаються ті аспекти проекту, які вважаються найважливішими.

**2. Особливий контроль над розробкою попередньо виділених компонентів. Контроль над розробкою попередньо виділених компонентів**. Регулярні планові аналізи проекту проводяться не настільки часто і є недостатньо детальними, щоб належним чином контролювати відомі зони ризику. В

**3. Особливий аналіз і випробування критичних елементів конструкції. Особливий аналіз і випробування**. Для компонентів, в конструкції яких виявлені проблеми, не вирішені на етапі ескізного проектування, потрібно провести додатковий аналіз і, якщо знадобиться, виготовити і випробувати їх, щоб отримати достатньо даних для валідації обраного технічного підходу. На обробку результатів аналізу і випробувань буде потрібно виділити додаткові ресурси і внести зміни в графік розробки.

**4. Швидке створення дослідних зразків і облік результатів їх випробувань в подальшій розробці. Швидке прототипування**. Для неперевірених компонентів, результати аналізу і обмежених випробувань яких не можуть служити достатньою підставою для схвалення проектних рішень, може виявитися необхідним сконструювати і випробувати прототипи / дослідні зразки, щоб переконатися в придатності цих компонентів

**5. Розгляд можливості послабити критичні технічні вимоги. Ослаблення надмірних вимог**

**6**. **Організація паралельної розробки на випадок невдачі в основному варіанті**. Резервні альтернативи. Розробка альтернативних підходів до проектування найбільшою мірою стосується компонентів, в яких застосовується нова технологія з негарантованим результатом. У таких випадках на етапі ескізного проектування слід продумати резервні підходи, на які можна буде переключитися, якщо нова конструкція не виправдає очікувань.

Зазвичай компанія головного підрядника є різновидом «матричної організації», в якій велика частина інженерно-технічного персоналу організована в групи з дисциплін або технологіями. На чолі великих проектів стоять групи управління проектом, які підкоряються «віце-президенту з управління проектами» або особі, що займає еквівалентну посаду. Іноді ці групи називаються «**комплексними робочими групами**

**Системна інженерія - частина управління проектом**; до сфери її відповідальності входять технічне керівництво, комплексування системи і координація роботи технічних підрозділів.

**В обов'язки системного інженера входять** також участь в розподілі ресурсів, постановці завдань і взаємодії з замовником та на початковому етапі - розробка WBS, ієрархічно організованої множини завдань, що має на меті розбити всю майбутню роботу на послідовно дедалі менші елементи роботи. Це створює основу для планування, складання бюджету та моніторингу, а також дозволяє здійснювати оцінку та контроль витрат.

**Одним з ключових інструментів планування програми є метод критичного шляху**. Цей метод, заснований на елементах роботи, включених в WBS, дозволяє побудувати мережу послідовних дій. За допомогою аналізу даної мережі системний інженер і керівник програми можуть ідентифікувати шляхи, для завершення яких потрібно найбільше часу.

У плані управління системної інженерією SEMP визначено **шляхи виконання всіх завдань системної інженері**ї, в тому числі виявлені ролі і сфери відповідальності всіх учасників.

**Управління ризиком** - одна з найбільш складних проблем, що стоять перед системної інженерією, оскільки будь-яка розробка нової системи несе в собі невизначеності та ризики. **Зниження ризиків програми** - це безперервний процес, який триває протягом усього життєвого циклу; крім того, ризик необхідно знижувати в міру збільшення обсягу вкладених в програму фінансових коштів. Для здійснення управління ризиком важливо скласти **план управління ризиком.** В процесі оцінки ризику його значимість визначається в термінах **ймовірності виникнення і критичності ризику** . Для пом'якшення ризику в критичних ділянках можна застосовувати такі методи: **управлінський аналіз, особливий інженерний контроль**, **спеціальний аналіз і випробування, швидке створення дослідних зразків, ослаблення надмірно суворих вимог, організація паралельної розробки на випадок невдачі**.

**Організація системної інженерії** охоплює різні дисципліни і задіяні в проекті організації, але також адаптується до організаційної структури компанії. Тому системна інженерія повинна ефективно довести до відома всіх зацікавлених сторін «що, коли і чому», а також надавати всім учасникам технічні звіти.

Для великомасштабних програм необхідно створювати офіційно затверджені команди проектування системи, сфера відповідальності яких охоплює основні підсистеми, субпідрядників і результати роботи програмних інженерів. У ці команди входять представники служб інженерного забезпечення та випробувальної організації, а також, як правило, інженери, зайняті спеціальним проектуванням, і фахівці з паралельної організації робіт. При необхідності можуть бути включені і представники замовника. **Ключова роль системної інженерії в таких командах - концентрувати** їхню увагу на успіхах підприємства загалом.