



Державне підприємство
"Конструкторське бюро "Південне" ім. М.К. Янгеля"

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Навчально-методичний посібник

Розробник

Провідний науковий співробітник

к.т.н., доцент А.К. Линник

Дніпро

2020

Зміст

ПЕРЕДМОВА ВІД АВТОРА	4
1 СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА СУЧАСНОЇ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	6
1.1 Про виникнення та становлення системної методології.....	6
1.2 Основні складові інноваційної діяльності.....	8
2 ГОЛОВНІ СУБ'ЄКТИ ПРОЦЕСУ СИСТЕМНОГО ПРОЄКТУВАННЯ. ПОСЛІДОВНІСТЬ ЕТАПІВ ВИКОНАННЯ ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ПРОЄКТНИХ РОБІТ	14
2.1 Спеціаліст дженераліст.....	14
2.2 Місце та роль системного проектування у виробничому процесі	16
2.3 Етапи та стадії створення промислових виробів	16
2.4 Основні завдання проектування виробів РКТ.....	17
2.5 Організаційні аспекти розробки РКТ.....	20
3 ДЕФІНІЦІЇ ПОНЯТТЯ «СИСТЕМА» ТА ЇЇ ПОХІДНИХ. ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ СИСТЕМНОГО ПРОЄКТУВАННЯ	23
3.1 Що таке «система»?	23
3.2 Поняття «системний підхід» до проектування та «системна інженерія».....	24
3.3 Основні компоненти системного проектування та його головний принцип.....	25
3.4 Ключове значення масштабу особи, яка приймає рішення	25
4 ІНЖЕНЕРІЯ СИСТЕМНОЇ АРХІТЕКТУРИ	28
4.1 Про інженерію архітектури систем	28
4.2 Формування вимог до системи	29
4.3 Архітектура системи	30
4.4 Методологія системної архітектури	31
5 МЕТА ТА ЗАДАЧІ СИСТЕМНОГО ПРОЄКТУВАННЯ РКТ	35
5.1 Визначення мети.....	35
5.2 Показники, критерії та обмеження.....	35
5.3 Особливості вирішення багатокритеріальних задач.....	37
5.4 Формулювання типових задач системного проектування РКТ	38
5.5 Задача аналізу та оцінювання ризиків.....	42
6 ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ СИСТЕМИ.....	45

6.1	Поняття живого циклу	45
6.2	Життєвий цикл технічних систем.....	45
6.3	Про стійкість, живучість та адаптивність систем.....	48
7	ЗАКОНОМІРНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ СИСТЕМ.....	51
7.1	Про хвильову динаміку світових системних перетворень.....	51
7.2	Емпірична хвильова модель М. Д. Ковдятьєва.....	51
7.3	Циклічні фактори розвитку Й. Шумпетера	52
7.4	Модель ділового циклу «Самуельсона - Хікса».....	53
7.5	Модель розвитку інноваційної економіки П. Ромера	54
7.6	Закон змінений технологічних укладів	54
7.7	Глобальні проблеми безпеки людства та роль РКТ у їх вирішенні.....	56
8	СИСТЕМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ.....	58
8.1	Дизайн vs менеджмент.....	58
8.2	Загальна характеристика сучасних практик управління проектом.....	59
8.3	Напрямки подальшого розвитку практик управління проектом	67

ПЕРЕДМОВА ВІД АВТОРА

Об'єкти та процеси, притаманні ракетно-космічній техніці, у своїй більшості є за своєю природою різноманітними системами, існування яких зумовлено взаємозв'язками і взаємним впливом їхніх компонентів.

Згідно з відомою філософською концепцією діалектичної тріади Гегеля пізнання системи як цілого відбувається на трьох рівнях, що мають назву теза, антитеза та синтез.

Перший рівень (теза) відповідає інтуїтивному розумінню об'єкта в цілому, тобто такому, який базується на індивідуальному досвіді. Зазвичай цей досвід називають мудрістю. Але досягнення успіху при використанні інтуїтивного підходу важко передбачити, бо все залежить від досвіду, здібностей та таланту однієї людини.

Інший підхід, аналітичний, передбачає розчленування цілого на частини. Він визначається як заперечення (антитеза) інтуїтивному методу. На цьому рівні об'єкт умовно розділяють, щоб зрозуміти структуру і особливості окремих частин, а потім на основі набутого розуміння роблять спробу пояснити властивості цілого. В рамках такого (аналітичного) підходу існує велика ймовірність того, що «розсікаючи» ціле, з поля зору можуть зникнути надзвичайно важливі зв'язки між відокремленими частинами. В такому разі розуміння цілого буде неповним або помилковим, а висновки спірними чи взагалі шкідливими.

Третій рівень пізнання об'єкта – це системний підхід, який по суті є синтезом інтуїтивного і аналітичного методів. На перше місце в ньому висувається сукупність системних властивостей цілого, які не завжди співпадають з властивостями складових частин, взятими окремо. Іншими словами, системний підхід концентрує увагу саме на тих взаємозв'язках, завдяки яким і виникають системні властивості. В результаті застосування системного підходу відбувається зворотній перехід від другого рівня (антитези) до цілісного системного уявлення про об'єкт, характерний для інтуїтивного підходу (тези), але вже на новому шаблі вищої якості розуміння.

«...ми не знаємо, чи будував Творець Землю за законами Систем, але його творіння, безумовно, поводять себе у відповідності до них!»¹.

Необхідність застосування системного підходу в умовах сучасності обумовлена багатьма причинами. В ракетно-космічній галузі, зокрема, цей метод є потужним стимулом для подальшого розвитку інноваційних процесів, можливих лише на основі творчості та міждисциплінарного синтезу знань. Саме зараз через безпрецедентне нарощування і поглиблення інформації і спеціалізації тільки системне мислення спроможне надати можливість побачити і зрозуміти об'єкти і процеси в цілому, в перспективі.

Даний курс лекцій було розроблено автором для підготовки фахівців освітнього ступеня «Доктор філософії» (Philosophy Degree, Ph. D.) за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Сам автор схильність до всебічного системного бачення набував протягом усього життя, за що вдячний різним, часом неймовірним обставинам та багатьом людям, насамперед:

¹ О'Коннор Дж. Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем /Джозеф О'Коннор и Макдермотт. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006.

- своїм батькам, які маючи природжену з дідів-прадідів мудрість землеробів Донецького краю, пояснювали йому, сільському хлопчині, в чому сенс наданого Всевишнім складного земного буття;

- о архітектору та вчителю Самодрізі В. В., який надав можливість своєму допитливому і старанному учню пізнати системні аксіологічні цінності дизайну, гармонії та естетики при опануванні спеціальністю «Архітектура» в енергобудівельному технікумі (нині монтажний коледж н м. Дніпрі);

- досвідченим викладачам-сумісникам з КБ «Південне», які професійно допомогли йому, студенту фізико-технічного факультету ДДУ, пізнати «секрети» проектування і конструювання ракет, ракетних комплексів і космодромів;

- своєму наставнику Матвієнко А. П. та керівникам Сметаніну Ю. О. і Конюхову С. М. на шляху складного та тривалого придбання автором власного практичного і науково-практичного досвіду в КБ «Південне» у процесі своєї успішної праці над інженерією системної архітектури низки міжконтинентальних бойових ракет та ракет космічного призначення;

- Смідовічу М. П. та Бліксу Гансу, керівникам спеціальної комісії UNSCOM, створеної при Раді безпеки ООН для контролю за режимом нерозповсюдження ракетних технологій (РКРТ), під час роботи автора як експерта у штаб-квартирі цієї організації в м. Нью-Йорк (США);

- студентам, молодим спеціалістам та аспірантам, яким автор, працюючи понад півстоліття в конструкторському бюро «Південне» та викладаючи (вже майже 40 років) спецдисципліни проектно-конструкторського циклу на фізико-технічному факультеті ДНУ, завжди прагнув донести знання, надати розуміння та спонукати до застосування творчості в своїй професійній діяльності. 2021 рік

1 СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА СУЧАСНОЇ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

1.1 Про виникнення та становлення системної методології

Були часи, коли одинаки-винахідники, майже не пов'язані з чистою наукою (на основі знань, досвіду та, головне, інтуїції), могли не поспішаючи замислювати і створювати вироби, які і досі вражають світ своєю новизною, досконалістю та раціональністю (Архімед, Леонардо да Вінчі, Генрі Форд, Вернер фон Браун та багато інших).

С тих пір світ суттєво ускладнився і продовжує стрімко змінюватися - неймовірно збільшується народонаселення, нарощується виробництво, зростають потужності і швидкості, набувають розвитку озброєння, підвищується напруження господарської діяльності та політичного життя. Показово, що тільки населення землі за останні 300 років виросло майже на порядок (рис. 1).

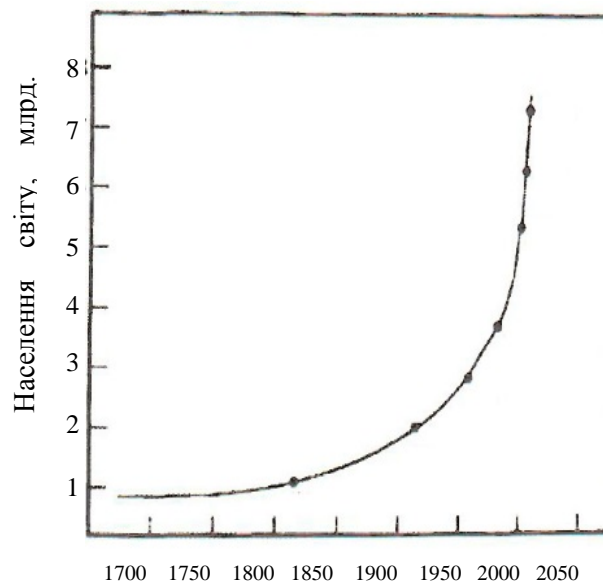


Рис. 1 Населення землі стрімко зростає

Все це потребує швидких дій і ефективного оперування великими ресурсами. При цьому можливості потужного впливу одинаків-винахідників або одинаків-організаторів залишаються і нині (приклад Елона Маска), але ймовірність цього стає все меншою. Значно раціональнішим напрямком розробки і впровадження технічних досягнень виявився шлях, який у свій час президент Белловських телефонних лабораторій (д-р Келлі) іменував «організованою творчою технологією» [2].

Пізніше цю методологію було названо системотехнікою (systems engineering), системним аналізом (system analysis), системним підходом (system approach) та ін..

Можна навести приклади системного мислення з дуже далеких часів, але системний аналіз, як наукова методологія розробки і створення технічних виробів, виникла відносно недавно.

В 1930-40-х роках питання вибору озброєнь, транспорту, засобів зв'язку та ін. в провідних країнах світу розпочали суттєво ускладнюватися та набули глобального масштабу [3].

В період до другої світової війни роботи по створенню військової техніки здійснювалися без всебічного аналізу альтернатив і впливу майбутніх витрат - діяв принцип: - все найкраще для оборони. Тоді системна методологія, як дисципліна, була практично відсутня, бо не було в ній потреби. Але вже під час війни, і особливо з початком «атомної і ракетно-космічної ери» такий підхід став неприйнятним.

Необхідні були методи, які б дозволяли:

- аналізувати складні проблеми як одне ціле;
- забезпечувати розгляд багатьох альтернатив з великим числом змінних;
- забезпечувати повноту кожній альтернативі і вносити вимірювання (в т.ч. матеріальних і фінансових витрат);
- давати змогу відбивати невизначеності.

Нова методологія системного аналізу (підходу) була створена передусім для вирішення військових проблем США і вперше використана саме в цій галузі. Великий вплив на формування ідей системного аналізу мала розробка стратегічних ракетних систем та систем ПРО. Згодом цю методологію використали в НАСА, де вона була пізніше регламентована.

Також швидко стало зрозумілим, що крім військових багато інших цивільних проблем (інфраструктурні, промислових фірм, фінансові і т.п.), не тільки припускають, але і потребують застосування цієї методології.

Системний аналіз стрімко поглинув і розчинив у собі досягнення декількох споріднених методів та перетворився в самостійну, багату формами, унікальну за своїм призначенням наукову і прикладну дисципліну та (що особливо важливо для багатьох) в інструмент їхньої професійної діяльності.

У центрі методології системного аналізу знаходиться кількісне порівняння альтернатив. яке виконується з метою вибору найкращого рішення, що підлягає реалізації. Таким чином, найголовніше у цій методології є те, що

не може бути системного аналізу без а) повного і всебічного розуміння сутності функціонування об'єкту розробки і б) процесу його створення.

Методологія системного підходу (аналізу) - це нормативна (неформалізована) методологія, на відміну від формалізованих (аксіоматичних) теорій, якими є, наприклад, математика, фізика чи навіть загальна -теорія систем. *Неформалізована методологія системотехніки представляється не в строгій математичній формі, а у вигляді алгоритмів прикладного характеру.*

Успіх цієї методології залежить від мистецтва інтерпретації її положень в практичних ситуаціях.

Системний аналіз може бути ефективно застосованим тільки там, де присутні обставини досвідченого керівництва.

Методологія системотехніки покликана скоротити розриви у часі між науковими відкриттями і їхніми прикладними додатками та між виникненням людських потреб і виробництвом нових систем, які задовольняють ці потреби [4].

Таким чином системний підхід сприяє максимальному контакту науки і практики та є дієвим посередником між дослідженнями і бізнесом.

Довідка про історію започаткування загальної теорії систем [5]

Перші ідеї теорії систем були запропоновані ще у 1912 р. російським філософом А.А. Богдановим (Маліновським). Після знайомства з ними австрійський біолог і філософ Л. Берталанфі створив у 30-40-х двадцятого сторіччя роках другий варіант теорії. Спочатку він застосував ідею відкритих систем для пояснення низки проблем біології і генетики, а потім прийшов до висновку, що *методологія системного підходу* є більш широкою і може бути застосована у різних науках. Так виникла загальна теорія систем. Л. Берталанфі відіграв величезну роль у становленні і популяризації системного підходу, працюючи в 50-70-х роках у США та Канаді. Він першим поставив саму задачу побудови загальної теорії систем, опублікувавши у 1951 р. свою роботу «General System Theory. A new approach to Unity of science». Суттєвий недолік поглядів Л. Берталанфі полягав у тому, що він об'явив загальну теорію систем, як таку, що заміняє філософію. В його розумінні (див. рис. 3) в теорію входять, в основному, формалізовані науки, які можна застосовувати переважно для простих систем. Але, як з'ясувалося, дослідження складних систем примушує використовувати якісний аналіз, який є притаманним філософським наукам.



Рис. 2 Схема загальної теорії систем в уявленні Л. Берталанфі

1.2 Основні складові інноваційної діяльності

Розробка і впровадження технічних досягнень з використанням методології системного аналізу є тільки однією зі складових інноваційної діяльності підприємства. Проте сталий успіх організації в цілому може бути успішним тільки тоді, коли будуть забезпечені також такі чинники:

- наступальна (або інша) стратегія та результативна політика;
- прориви в науці, техніці та технології (на базі зміни технологічних укладів);
- відповідні ресурси, в першу чергу широкомасштабні інвестиції та підготовлений і мотивований персонал.

Стратегія підприємства

Підприємство в своїй діяльності на внутрішньому і міжнародному ринках може дотримуватися оборонної, наступальної чи комбінованої стратегії в залежності від багатьох обставин.

Оборонна стратегія відрізняється поміркованим підходом, головною метою якого є збереження поточної позиції. Компанії, що вибирають подібну стратегію, ризикують бути зміщеними конкурентами, які ведуть більш активні й передові розробки. До оборонного виду стратегії, як правило, схилиються підприємства, що не мають достатнього фінансового забезпечення для наступу. Вибирається тактика створення конкурента «із самого себе», тобто випускаються товари або послуги, які перевершують по якостях попередні. У жертву приноситься негативний прибуток, але нагородою стає захищена частка ринку.

Для **наступальних стратегій** характерним є динамічний рух, прийняття активних рішень, які мобілізують конкурентну боротьбу. Створення переваги в зацікавленому сегменті ринку шляхом вивчення слабких і сильних сторін учасників процесу — це основні риси даного виду стратегії. Застосовуються активні дії, вкладаються значні кошти в розробку й впровадження нових продуктів і методів. Надається перевага «точковим ударам». Дії спрямовані на пошук вузьких лазівок для поступового «скинення» лідера — запуск одного, але ретельно проробленого продукту; спрямовані атаки, що дають можливість добитися переваги в конкретних місцях. Наступальна стратегія фірми спрямована на придушення конкурентів. Пропонується використовувати стратегії «виснажування» або «придушення». Наступальні стратегії розраховані на короткострокове використання. Великі витрати (як матеріальні, так і моральні) можуть виснажити не тільки конкурентів, але й саму компанію.

Прориви в науці, техніці та технології

Інноваційний розвиток підприємства зараз практично не можливий без застосування низки сучасних технологій:

- **інформаційних**, у тому числі CAD-, CAM-, CAE-, PDM-, CALS технологій, які забезпечують прискорену розробку й виробництво нової продукції;
- **енергетики**, у тому числі атомної й водневої, поновлюваних джерел енергії, енергозберігаючих систем, високоефективних двигунів і рушіїв;
- **лазерних і електронно-іонно-плазмових**;
- **мехатронних** (механотронних), у тому числі роботизованих технологій, технологій гнучких виробничих систем, інтегрованого, інтелектуального («розумного») виробництва;
- **аддитивних** (3D друк, автоматизована викладка КМ та ін.);
- **нових конструкційних матеріалів** і сплавів зі спеціальними властивостями, у тому числі керамічних, полімерів і композитів, синтетичних надтвердих і надлегких матеріалів;
- **нанотехнологій і прецизійних технологій** обробки, складання й контролю, у тому числі технологій виробництва елементної бази мікроелектроніки, наноелектроніки, нейро- і квантових комп'ютерів, опто-, радіо- і акустоелектроніки, оптичного й НВЧ-зв'язку;

- **високошвидкісної обробки**, у тому числі високоавтоматизованої обробки на роторних автоматичних лініях і роторно-конвеєрних комплексах, автоматичних лініях, верстатах-автоматах, які забезпечують багаторазове збільшення виробничих потужностей підприємств і істотне зниження технологічної собівартості;

- інших перспективних технологій - високих і критичних, ключових і креативних, проектних і конструкторських.

Вражаючого прогресу останнім часом досягли інформаційні **комп'ютерні технології**.

CAD – Computer Aided Design - система автоматизованого проектування та конструювання.

CAE – Computer Aided Engineering- система автоматизованого інженерного аналізу.

CALS – Continuous Acquisition and Life Cycle Support - система безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу продукту. CALS- технології – це клас інформаційних технологій, спрямованих на забезпечення безпаперової підтримки життєвого циклу продукції. Це система єдиної стандартної електронної документації і єдиної термінології, що супроводжують продукт протягом його життєвого циклу й полегшують обмін і взаємодію різних проектувальників і виробників.

CAM – Computer Aided Manufacturing - система автоматизованої технологічної підготовки виробництва.

CAPE – Concurrent Art-to-Product Environment - система паралельного санкціонованого доступу до інформації всіх учасників проекту.

CAQ – Computer Aided - система перевірки якості виготовлення.

CIM – Computer Integrated Manufacturing - автоматизоване інтегроване виробництво.

PDM – Product Data Management - система керування проектними й інженерними даними.

Роль обчислюваних машин і програмного забезпечення на сучасному етапі розвитку проектних і конструкторських робіт беззаперечно, але слід зазначити про те, що ще сам батько кібернетики Вінер неодноразово нагадував [4]-

«...комп'ютер зможе надати вам усе те, що ви просите, але не скаже вам чого просити».

Фінансові ресурси. Інвестиції і кредити

Інвестиції – це «довгострокові вкладення» державного або приватного капіталу у власній країні або за її межами з метою одержання доходу в підприємства різних галузей, підприємницькі проекти, соціально-економічні програми, інноваційні проекти.

Від **кредитів** інвестиції відрізняються ступенем ризику для інвестора (кредитора). Кредит і відсотки необхідно повертати в зазначений термін незалежно від прибутковості проекту, а інвестиції повертаються й приносять дохід тільки в прибуткових проектах. Якщо проект збитковий – інвестиції можуть бути втрачені повністю або частково.

Підготовлений та умотивований персонал

Персонал - це найбільш цінний і вирішальний ресурс. Треба, щоб робоче середовище заохочувало кожного із співробітників до командної праці, сприяло його особистому зростанню, навчанню і передаванню знань (див. ДСТУ 180 9004:2012).

1.3 Основні положення ДСТУ 180 9004: 2912 про управління задля досягнення сталого успіху організації

ДСТУ 150 9004:2012 НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

УПРАВЛІННЯ ЗАДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ СТАЛОГО УСПІХУ

ПІДХІД НА ОСНОВІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УПРАВЛІННЯ З МЕТОЮ ДОСЯГНЕННЯ СТІЙКОГО УСПІХУ ОРГАНІЗАЦІЇ

ПІДХІД НА ОСНОВІ УПРАВЛЕННЯ ЯКІСТЮ

Managing for sustained success of an organization

A QUALITY MANAGEMENT APPROACH

Чинний від 2013-05-01

4.2 Сталий успіх

Організація може досягти сталого успіху, якщо буде послідовно і збалансовано задовольняти потреби та очікування своїх зацікавлених сторін протягом довготривалого часу.

4.4 Зацікавлені сторони, потреби та очікування

Зацікавлені сторони — це особи та інші суб'єкти, які додають цінність для організації або іншим чином зацікавлені в діяльності організації, або на яких має вплив діяльність організації. Задоволення потреб і очікувань зацікавлених сторін організації сприяє досягненню нею сталого успіху.

5.2 Формулювання стратегії та політики

Найвище керівництво має чітко встановити стратегію та політику організації для того, щоб місія, бачення та цінності сприйняли й підтримали її зацікавлені сторони. Треба регулярно здійснювати моніторинг середовища організації для визначення того, чи необхідне критичне аналізування і (якщо доречно) переглядання стратегії та політики. Щоб установити, прийняти й підтримувати результативну стратегію та результативну політику, організації треба мати процеси

- постійного моніторингу та регулярного аналізування середовища організації, зокрема потреб і очікувань її замовників, стану конкуренції, нових технологій, політичних змін, економічних прогнозів і соціологічних чинників;
- визначання потреб і очікувань інших зацікавлених сторін;
- оцінювання своїх наявних ресурсів і можливостей процесів;
- визначання майбутніх потреб у ресурсах і технологіях;
- оновлювання своєї стратегії та своєї політики;
- визначання результатів п.9.3.5 Ризики
- Організація має оцінити ризики, пов'язані з запланованими діями щодо інновації, зокрема розглянути можливий вплив змін на організацію, і підготувати запобіжні дії для

зменшення цих ризиків, зокрема плани запобіжних заходів, де необхідно боти, які б задовольняли потреби й очікування зацікавлених сторін.

Примітка. «Стратегія – це логічно структурований план або метод досягнення цілей, особливо в довготривалій період часу.

6.2. Фінансові ресурси

Найвище керівництво має визначити фінансові потреби організації та встановити необхідні фінансові ресурси для поточних і майбутніх робіт. Фінансові ресурси мають бути в різних формах – у готівці, цінних паперах, позиках або в інших фінансових інструментах.

Організація має встановити й підтримувати процеси моніторингу та контролювання фінансових ресурсів, пов'язаних з цілями організації, а також процеси звітування щодо їх результативного розподілу та ефективного використання.

6.3. Персонал організації

6.3.1. Керування персоналом

Персонал – це суттєвий ресурс організації, й цілковите залучення персоналу підвищує його спроможність створювати цінність для зацікавлених сторін

Найвище керівництво має через своє лідерство створити й підтримувати єдине бачення, загальні цінності та внутрішнє середовище, у якому персонал можна цілковито залучати до досягнення цілей організації.

Персонал – це найбільш цінний і вирішальний ресурс, тому треба забезпечити, щоб робоче середовище сприяло його особистому зростанню, навчанню, передаванню знань і заохочувало до командної праці. Керування персоналом треба виконувати на основі планування, прозорості, етичності та соціальної відповідальності. Організація має забезпечувати, щоб персонал розумів

6.7.2 Знання

Найвище керівництво має звернути увагу на те, наскільки наявну базу знань організації визначено та захищено. Найвище керівництво має також розглянути, як отримати знання, необхідні для задоволення теперішніх і майбутніх потреб організації, від внутрішніх і зовнішніх джерел, таких як наукові та професійні установи. Є багато питань, що їх розглядають для визначення, як ідентифікувати, підтримувати та захищати знання, наприклад такі питання:

– здобуття знань і досвіду персоналом організації:

9.3. Іноваційна діяльність

9.3.1. Загальні положення

Зміни в середовищі організації можуть потребувати інновації, щоб задовольнити потреби й очікування зацікавлених сторін. Організація має:

- визначити потребу в інноваціях;
- установити й підтримувати результативний і ефективний процес інноваційної діяльності;
- забезпечити відповідні ресурси.

Організація має оцінити ризики, пов'язані з запланованими діями щодо інновації, зокрема розглянути можливий вплив змін на організацію, і підготувати запобіжні дії для зменшення цих ризиків, зокрема плани запобіжних заходів, де необхідно.

9.4 Навчання

Організація має сприяти поліпшуванню та інноваційній діяльності через навчання.

Для досягнення сталого успіху організації необхідно прийняти «навчання як організування» і «навчання, яке поєднує спроможності окремих осіб зі спроможностями організації».

Перелік посилань

1. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ. 2-изд., доп. М.: Мир, 1986. - 326с.
2. Kelly M. J. The Bell Telephone Laboratories - An Example of an Institute of Creative Technology - "Proc. Roy. Soc. Lond", Ser. A., 1950.
3. Оптнер С. Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. (Systems Analysis for Business and Industrial Problems Solving). Пер. с англ. С. П. Никанорова. М., Из-во «Советское радио», 1969, 216с.
4. Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники. (F Methodology for Systems Engineering). Пер. с англ. Под ред. Г. Н. Пивоварова. М., «Советское радио», 1975, 448с.
5. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: Учеб. Пособие. – К. МАУП, 2003. – 368 с.

2 ГОЛОВНІ СУБ'ЄКТИ ПРОЦЕСУ СИСТЕМНОГО ПРОЄКТУВАННЯ. ПОСЛІДОВНІСТЬ ЕТАПІВ ВИКОНАННЯ ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ПРОЄКТНИХ РОБІТ

2.1 Спеціаліст дженераліст

Згідно з Р. Б. Перри (професор Гарвардського університету в 1931 -1946 рр., філософ), *вузькопрофільний спеціаліст* – це людина, яка з плином ч ніш все більше і більше про все менше і менше, та, насамкінець, *буде знати майже все ні про що* [1].

Навпаки, *дженераліст* (generalist), тобто універсаліст (но іншому *системотехнік або системник*), визначається як людина, що з плином часу зі все менше і менше про все більше і більше, та, насамкінець, *буде знати практично нічого про все*.

Таким чином, впливає, що у спеціаліста (вузького профілю! дженераліста (системотехніка) різні філософії і, відповідно, різні підходи здійснення будь-якої справи.

Області притаманної діяльності, яким у своїй роботі надають Перси спеціалісти і дженералісти, в координатах «набуті знання за об'ємом та характером», наглядно представлені на рис. 1.

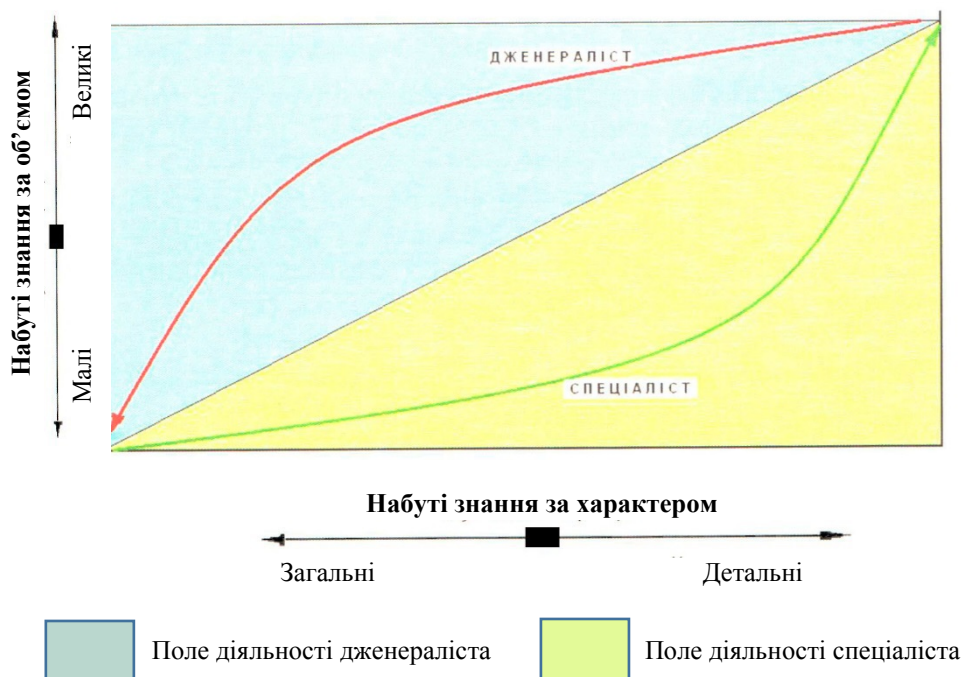


Рис. 1 Области притаманної діяльності дженераліста та спеціаліст

Найголовнішими умовами для формування «ідеального системотехніка» є такі [2]:

- особисті риси;
- навчання;
- досвід практичної роботи.

Особисті риси системотехніка (дженераліста)

Найважливішою є яскраво виражена *природна (внутрішня) схильність* до загального всебічного системного бачення (а не просто ситуативний інтерес).

По-друге, **здібність розмірковувати, аналізувати та оцінювати** з повною об'єктивністю (при тому, що схильність до аналітики є, як правило, протилежною до схильності людини уявляти і креативно мислити).

По-третє, обов'язково треба **мати сильну уяву і вміння творити** (це одночасно зі схильністю до аналітики).

В-четвертих, **системотехнік обов'язково має** підтримувати людські відносини і **вміння тактично і дипломатично вести дискусію і переконувати інших учасників справи** (це дуже важлива якість для роботи в колективі).

По-п'яте. Через те, що системотехніку приходиться часто виступати у ролі «продавця інформації», він **має володіти даром усного, письмового та графічного вираження**.

Навчання

Навчання не зробить «ідеальним» системотехніком того, хто не наділений необхідними особистими рисами. Але воно може розкрити та розвинути здібності, які є в наявності.

Для сформування «ідеального системотехніка» **найприйнятнішою і найефективнішою формою навчання вважається аспірантура** з її ретельно підібраними і збалансованими загальними і спеціальними дисциплінами, а також наполеглива **самоосвіта**, що має тривати все життя.

Досвід практичної роботи

Тільки одного теоретичного навчання недостатньо. **Обов'язково має бути досвід практичної роботи** у вибраній галузі. **Досвід замінити нічим неможливо**.

Очевидно, що не всі мають бути дженералістами. **Спеціалісти** - незамінні. Співвідношення вказаних типів працівників і їхня кількість залежать від галузі, складності та особливостей системи, що підлягає розробці. Один з можливих варіантів розподілу профілю діяльності дженераліста та спеціаліста показано на рис. 2.



Рис. 2. Приклад профілю діяльності дженераліста (а) та спеціаліста (б)

2.2 Місце та роль системного проектування у виробничому процесі

У сфері промисловості, до якої належить і РКТ, *системний підхід* вже набув широкого застосування та продовжує нарощувати темпи своєї поширення па усіх стадіях виробничої діяльності (див. структуру на рис. 3), а саме:

- під час організації виробництва;
- на усіх етапах життєвого циклу продукту; а також
- при управлінні виробництвом.

Проте організована творча технологія процесу проектної конструкторської розробки, тобто **системне проектування** (англ. System Design), є **центральною**. Вона в першу чергу визначає рівень інновацій конкурентоспроможності продукції.

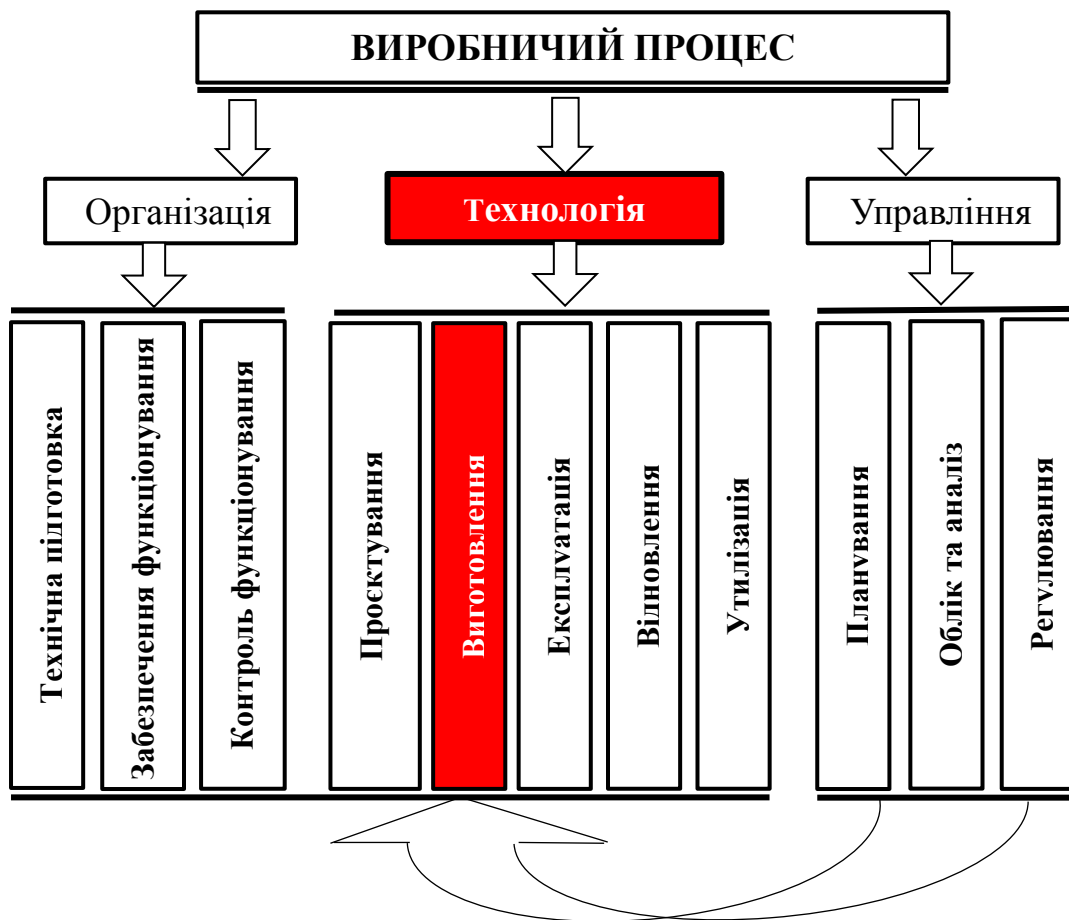


Рис. 3. Структура виробничого процесу

2.3 Етапи та стадії створення промислових виробів

Створення промислових виробів, в т.ч. виробів РКТ, охоплює етапи *розробки, виготовлення та експлуатації*. Роботи, що проводяться на кожному з регламентуються стандартами та іншими нормативними документами.

В Україні згідно з ДСТУ 2.103 ЄСКД [3] *розробка конструкторської* (проектної та конструкторської) *документації* на промисловий виріб проходить стадії і етапи, що скорочено представлені в таблиці нижче.

Стадії та етапи розробки конструкторської документації

Стадія розробки	Етапи виконання робіт
<i>Технічні пропозиції</i> (авапроект або концептуальний проект)	Розробка технічних пропозицій та надання їм літери «П». Розгляд та затвердження проекту.
<i>Ескізний проект</i>	Розробка ескізного проекту з наданням літери «Е». Виготовлення та випробування матеріальних або електронних макетів (при необхідності).
<i>Технічний проект</i>	Розгляд та затвердження ескізного проекту. Розробка технічного проекту з наданням літери «Г». Виготовлення та випробування матеріальних або електронних макетів (при необхідності). Розгляд та затвердження технічного проекту.
<i>Робоча конструкторська документація:</i> а) дослідного зразка (дослідної партії) б) серійного (масового) виробництва	Розробка конструкторської документації без присвоєння літери. Виготовлення і попередні випробування дослідного зразка (дослідної партії) з наданням літери «О» після корегування документації за результатами випробувань. Приймальні випробування дослідного зразка (дослідної партії) з наданням літери «О ₁ » після корегування документації за результатами випробувань. Для замовлень Міноборони повторні роботи з наданням літери «С ₂ ». Виготовлення і випробування установочної серії по документації з літерою «О ₁ » (або «О ₂ »)

Разом з загальними вимогами згідно з ДСТУ 2.103 роботи по розробці виробів *промисловості* регламентуються також ДСТУ 2.118, ДСТУ 2.119 та ДСТУ 2.120 ЄСКД, якими встановлюються більш деталізовані вимоги до виконання робіт на стадіях технічних пропозицій, ескізного проекту та технічного проекту відповідно.

Для конкретизації складу і вимог до робіт по створенню виробів *ракетно-космічної техніки* в ДПКБ «Південне» використовуються також:

- правила УРКТ-01.01 [4] - для контрактів (договорів) з ДКАУ і МОУ;
- вимоги контрактів - для контрактів (в т.ч. комерційних) з інофірмами;
- стандарти підприємства СТП 155.1.02.004, СТП 155.1.02.121, СТП 155.1.02.177. СТП 155.1.02.179. СТП 155.1.02.184. СТП 155.1.02.188 та ін.

Так, згідно з СТП 155.1.02.188:2008 [5] **проективання виробів РКТ** включає етапи розробки **аванпроекту** (технічних пропозицій або концептуального проекту) та **ескізного проекту**.

2.4 Основні завдання проектування виробів РКТ

Маючи єдину кінцеву мету – розробку ракетно-космічного комплексу (РКК) в цілому, ракети-носія (РН) чи їх частин, кожен етап робіт відрізняється завданнями, підходами та методами виконання, змістом та обсягом задіяних ресурсів і, звичайно, характером проблем проектування.

Основний обсяг робіт, де в максимальній мірі застосовується методологія системного проектування, припадає на етапи розробки технічних пропозицій і ескіз-

ного проекту, а також на науково-дослідницькі роботи, що передують етапу розробки технічних пропозицій.

Науково-дослідницькі роботи

Основними завданнями пошукових науково-дослідницьких робіт (НДР) є:

- аналіз снігового космічного ринку, прогнозування його розвитку та виявлення найбільш прийнятних секторів і ніш;
- дослідження стану, можливостей та шляхів розвитку науково-технічного і економічного потенціалів ракетно-космічної галузі країни;
- пошук ефективних напрямів, обґрунтування доцільності та визначення реальності створення ракетно-космічної системи (ракетно-космічного комплексу, ракети-носія чи їх частин);

Етап науково-дослідницьких робіт (хоча в нормативних документах він не є формально виокремленим) відрізняється великою кількістю невизначеностей, низьким рівнем систематизації проектно-пошукових робіт та високим обсягом організаційних питань. Як наслідок, порівняно велика тривалість цього етапу в часі, відведеному на проектування.

Мри цьому значимість пошукових науково-дослідницьких робіт надзвичайно висока, бо їх кінцевою метою є:

формування основних вимог до майбутньої системи і її складових у вигляді тактико-технічного завдання (ТТЗ).

В ТТЗ можуть бути вказані тип комплексу (наземний, повітряний, морський), маса корисного вантажу РН (або стартова маса), параметри орбіти призначення, тип палива і інше. Формування вимог до майбутньої системи є надзвичайно важливою і відповідальною задачею системного проектування (детальніше див. нижче розділ 4, п.п. 2).

Технічні пропозиції (аванпроект, концептуальний проект)

Основні завдання етапу розробки технічних пропозицій (ТП) (аванпроекту (АП)):

- визначення основних технічних/тактико-технічних характеристик (ТХ/ТТХ) об'єкту проектування та можливостей їх поліпшення;
- оцінка вартості створення та ефективності застосування і експлуатації;
- розробка та застосування основних технічних рішень і принципів, які мають забезпечити досягнення визначених технічних, економічних і експлуатаційних характеристик;
- напрацювання можливих варіантів схем РКК/РН або їх частин. Попередня оцінка складу, габаритно-масових, енергетичних та інших основних характеристик;
- обґрунтований вибір оптимального варіанта РКК/РН і їх складових. Вибір компонентів палива, конструкційних матеріалів, виробничої та експериментальної баз і т.п.;
- аналіз повноти виконання вимог ТТЗ до системи.
- оцінка можливих шляхів реалізації проекту (в т.ч. встановлення кооперації) і таке інше.

Головна мета – вибір напрямку розробки РКК/РН і їх складових, уточнення ТТЗ на розробку і опрацювання можливостей створення системи.

Після розгляду і затвердження результатів технічного проекту приймається рішення про доцільність подальшого проектування системи, що розробляється. Це рішення має бути високого технічного (або навіть державного) рівня, бо надається дозвіл про так звану «повномасштабну розробку» на етапі ескізного проекту, особливістю якого є суттєве зростання технічних і організаційних ризиків та необхідних ресурсів на проведення робіт.

Ескізний проект (повномасштабна розробка)

Основні завдання етапу розробки ескізного проекту (ЕП):

- однією з перших дій для Головного підприємства-розробника має бути підготовка та видача технічних завдань (ТЗ) та/або початкових даних співвиконавцям (підрядникам) на розробку окремих підсистем, вузлів чи агрегатів (наприклад, на двигуни, систему керування, рульові агрегати та ін.);
- ґрунтовна проектно-конструкторська розробка усіх складових елементів системи, що проектується, з аналізом і вибором найкращих конструкційних матеріалів та принципів, схемних,
- розробка, аналіз та прийняття (в разі доцільності) нових проектних і конструкторських пропозицій творчого характеру, та їх експериментальне відпрацювання (при необхідності);
- виконання усіх необхідних розрахунків (аеродинамічних, балістичних, теплових, навантажень, міцності, керованості та ін.) в повному обсязі для усіх складових системи, що цього потребують;
- випуск проектно-конструкторських документів (пояснювальних записок, креслень загальних видів, 3D моделей ...) та ін.

Цілями розробки ескізного проекту є:

- теоретичне (для усіх складових) і експериментальне (для принципово нових рішень) обґрунтування основних характеристик ефективності, технічних і технологічних рішень системи, що розробляється, та її складових частин;
- обґрунтування техніко-економічних показників системи;
- розробка та узгодження з підприємствами-співвиконавцями вихідних даних з метою випуску робочих конструкторських і директивних технологічних документів на систему і її складові.

Етапом розробки ескізного проекту закінчуються (в основному) проектні роботи і розпочинається етап підтвердження і затвердження отриманих результатів ескізного проекту та планування подальших дій (*етап технічного проектування*, який застосовується при необхідності), а також *етап розробки робочої конструкторської документації* на штатні (серійні) вироби їй на дослідницькі зразки.

В цілому, процес розробки виробів РКТ проходить декілька послідовних наближень. Його можна представити у вигляді спіралі, що розширюється (рис. 4).

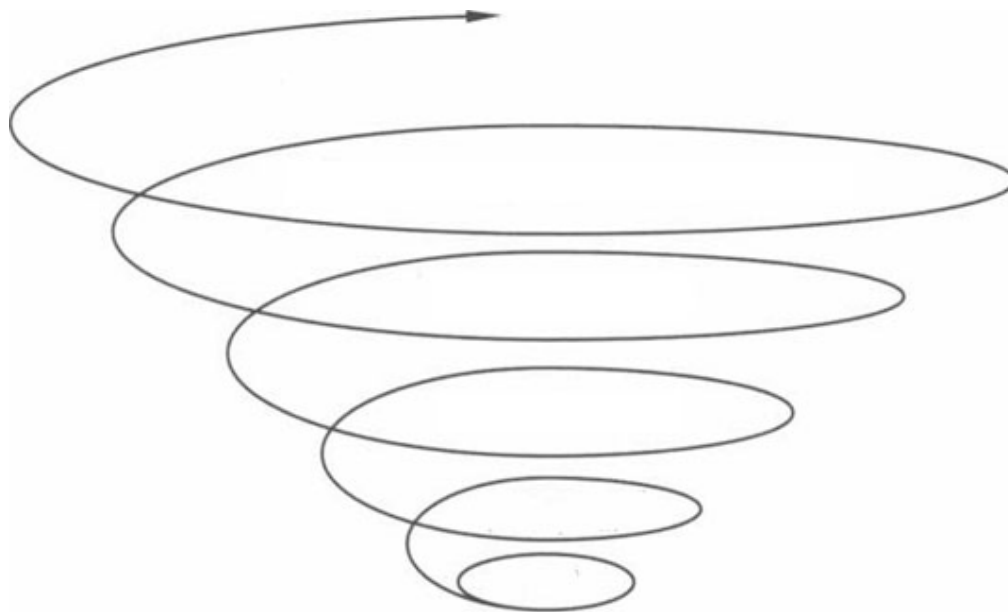


Рис. 4 Схема етапів розробки виробів РКТ

Збільшення розміру витків спіралі від етапу до етапу показує зростання об'єму і глибини проектних і конструкторських робіт та ступеня деталізації розробки системи.

2.5 Організаційні аспекти розробки РКТ

Взаємодія організацій ракетно-космічної галузі в Україні

Складна структура РКК та РН, велика різниця у призначенні, будові, принципах роботи, використаних матеріалах та технологіях виробництва обумовлюють участь у розробці, зокрема у проектуванні, великої кількості спеціалізованих проектно-конструкторських та науково-дослідних організацій, кожна з яких відповідає за одну чи кілька (близьких за призначенням і принципами роботи) складових. Вказане є передумовою необхідності застосування системного підходу не тільки до проектування, але й до організації усіх дій по створенню виробів РКТ.

В Україні загальне керівництво у сфері ідеології, управління і координації діяльності підприємств, установ та організацій космічної галузі здійснює *Державне космічне агентство (ДКАУ)* на основі *Національної космічної програми України*.

Головним підприємством-розробником космічного комплексу і ракет в цілому виступає, як правило, державне підприємство конструкторське бюро «Південне» (ДГІКБП). Безпосередньо з ним контактують розробники основних складових частин - систем керування, компонентів палива, стартового комплексу і т.д. Ці *субпідрядники*, у свою чергу, також можуть мати ряд суміжників.

Замовниками на розробку об'єктів РКТ можуть бути ДКАУ, Уряд України, інші юридичні і навіть фізичні особи, зареєстровані на території України, а також іноземні та міжнародні організації.

Основою взаємодії між організаціями є договори, технічні (тактико-технічні) завдання (ГЗ, ТТЗ) та організаційні документи наскрізного планування. До складу основних документів по організації проектних робіт входять, як правило, плани-графіки розробки аванпроекту (технічних пропозицій чи концептуального проекту) і

ескізного проекту. Інші документи включають генеральний графік створення РКК, плани-графіки розробки, відпрацювання та виготовлення складових РКК та ін..

Форми організації проектних робіт

Світова практика вказує на два, по суті діаметрально протилежні підходи до організації проектних робіт на підприємствах, в т. ч. космічної галузі.

Перша, що істотно склалася в СРСР (в Україні) і притаманна нині ДП «КБ «Південне», це так звана «проблемна форма», або **тематична форма**.

Друга, яка отримала назву **«департаментська форма»** [2] здебільш використовується в США та інших країнах, а також набуває поширення останнім часом і в Україні.

Сутність **тематичної форми** полягає в тому, що організація процес проектування здійснюється постійно діючими спеціалізованими підрозділами підприємства за окремими напрямками (темами). В ДКБП, наприклад, це конструкторські бюро (комплекси, відділення, відділи...) космічних та/чи бойових ракет, ракетних двигунів, космічних апаратів та ін.. При цьому існують підрозділи, які обслуговують усі, або декілька тем.

Тематична організація є ефективною в управлінні, бо нагадує воєнну кампанію. Керівник підприємства (або підрозділу), як полководець, має можливість швидко мобілізувати спеціалізовані підрозділи (війська), планує контролює їх дії за допомогою спеціальної групи спеціалістів (провідних конструкторів чи інших співробітників) в якості генерального штабу.

Але, якщо треба опанувати не типову, а принципово нову тему, така організація стає на заваді з таких основних причин:

- а) виявляється відсутність досвіду робіт по новій тематиці;
- б) з точки зору системного проектування тематична форма не сприяє оволодінню багатофункціональним міждисциплінарним баченням, властивим усім темам;
- в) мають місце екстравагантне використання спеціалістів.

При застосуванні **департаментської форми** організації проектних робіт створюються тимчасові змішані бригади необхідних висококваліфікованих і, як правило, досвідчених спеціалістів потрібної тематики. Це може бути новостворений незалежний колектив, або окрема самостійна бригада в межах підприємства з тематичною формою організації праці. Використання новостворених бригад припускає, що майже кожний спеціаліст в ній під дією нового оточення значною мірою перетворюється на дженспаліста. Після завершення проекту колектив (бригада) розпускається.

Головний недолік департаментської форми полягає в наступному – *тимчасові колективи не здатні накопичувати знання і досвід про зв'язки різних спеціальностей настільки загальні, що їх не знайти в рамках однієї спеціальності*.

Використання тимчасових бригад, ймовірно, представляє тільки одну з можливих фаз розвитку форм організації праці, в якій функція системотехніки буде мати окремий організаційний статус від функції безпосередньої розробки.

Перелік посилань

1. Оптнер С. Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. (Systems Analysis for Business and Industrial Problems Solving). Пер. с англ. С. Н. Никанорова. М., Из-во «Советское радио», 1969, 216с.
2. Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники. (A Methodology for Systems Engineering). Пер. с англ. Под ред. Г. Н. Пивоварова. М., «Советское радио», 1975, 448с.
3. ДСТУ 2.103. Єдина система конструкторської документації (ЄСКД). Стадії розробки (Unified system for design documentation/ Stages of designing).
4. УРКТ-01.01. Правила космічної діяльності в Україні. Розробка, виготовлення та експлуатація ракетно-космічної техніки.
5. СТП 155.1.02.188:2008. Стандарт підприємства (ДП «КБ «Південне»). Управління проектуванням. Основні положення.

3 ДЕФІНІЦІЙ ПОНЯТТЯ «СИСТЕМА» ТА ЇЇ ПОХІДНИХ. ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ СИСТЕМНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

3.1 Що таке «система»?

В сучасній теорії систем зараз відсутнє єдине канонізоване визначення поняття «система».

Найпростіше - це щось *велике та настільки складне, що одна, навіть геніальна голова не в змозі осягнути її повний склад та оцінити усі зовнішні впливи і внутрішні зв'язки.*

За прямим перекладом з грецької «система» – це **ціле, складене з частин.**

В лексикографії існує декілька модифікацій цього визначення, серед яких такі [2]:

«система» - це сукупність частин, зв'язаних спільною функцією, або

«система» - це упорядкована множина елементів, що розвивається в часі та відповідає вимогам цільової функції.

Згідно з теоретико-множинними уявленнями математичної лінгвістики (у вигляді синтагм або комбінацій визначаючого елемента та елемента, який визначається) використовуючи сполучення слів або укрупнених компонентів, принципово необхідних для існування чи функціонування системи S, що досліджується або створюється, пропонується такий вираз [3]:

$$S \equiv \text{def} \langle \langle Z \rangle, \langle Str \rangle, \langle Tech \rangle, \langle Cond \rangle \rangle$$

$\langle Z \rangle$ – сукупність *цілей*;

$\langle Str \rangle$ – сукупність *структур* (організаційних, виробничих і т.п.), які реалізують цілі;

$\langle Tech \rangle$ – сукупність *технологій* (методів, алгоритмів, засобів, способів, процедур і т.п.), що реалізують систему;

$\langle Cond \rangle$ – *умови існування системи*, тобто фактори, що впливають на її створення, функціонування і розвиток.

З наведеного вище випливає, що ключовими компонентами системи є:

цілі (мета);

структури;

технології; та

умови створення, функціонування і розвитку.

Систему, як об'єкт кібернетики, часто представляють графічно у вигляді «чорного» ящика (рис. 1.)

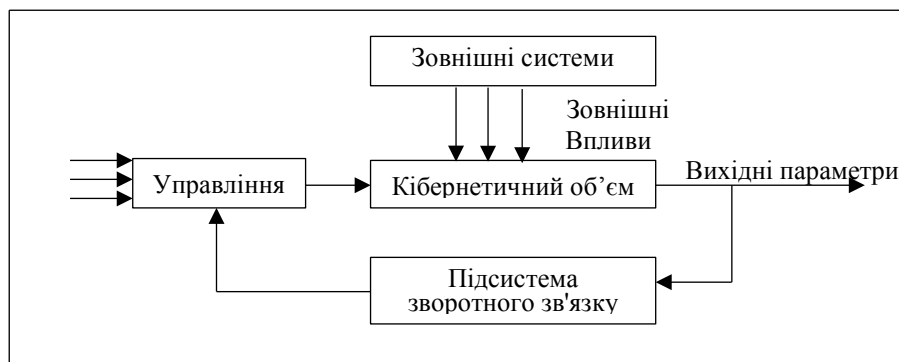


Рис. 1. Система в кібернетиці [1]

Якщо кібернетичний об'єкт являє собою систему, що проектується, то в найбільш загальному виді вона характеризується наступними змінними [2]:

=> в якості вхідних параметрів управління є **матерія, енергія та інформація**;

=> як *зовнішні впливи* зовнішніх систем розглядають **природні, соціальні та економічні**;

=> *вихідні параметри*, тобто параметри мети (цілей), залежать від **технічних** (цільова віддача), **економічних** (собівартість, прибуток та ін.) та **аксіологічних** (дизайн, гармонія, естетика та етика) критеріїв.

В системі обов'язковою має бути зворотній зв'язок між вхідними та вихідними змінними.

Розрізняють «просто» системи (system) та системи систем (system of system, SoS) з їх підсистемами чи/та надсистемами. Обидва варіанти, з точки зору втілення систем як фізичних об'єктів, є поняттями по суті ідентичними.

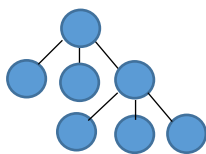
3.2 Поняття «системний підхід» до проектування та «системна інженерія»

Принципово важливим є поняття *системного підходу до проектування*, бо його інколи плутають з поняттями кібернетики. Дійсно, вони дуже близькі, але в кібернетичі центральними є «управління» та «зворотній зв'язок». З кібернетики вийшли такі школи, як теорія автоматичного управління, системна динаміка та ін. В системному підході до проектування акценти дещо інші.

Поняття «**підхід**» – це коли розроблені в рамках однієї дисципліни прийоми роботи, в тому числі образ мислення, переносять у якісь інші області. Дуже часто підхід є синонімом «практики» або навіть «метода».

В системному підході до проектування система характеризується в першу чергу ієрархією складових (частина-ціле) (рис. 2), на відміну від систем а кібернетиці, систематиці або наборі практик (чи правил) [1].

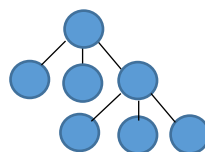
Системний підхід:
структура систем



Ієрархи
(частина-ціле)

- Ракета-носій
- Космічний апарат
- Літак
- Двигунна установка
- Система подачі палива

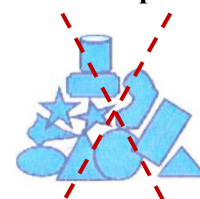
Систематика:
схожість систем



Класифікації
(належність до класу)

- Періодична система хімічних елементів
- Система СІ
- УДК

Набір практик
та/або правил



Набір окремих елементів
(частин)

- ЄСКД
- Система Станіславського
- М Політична система

Рис. 2. Види систем та їх приклади

В європейському стандарті ECSS-E-ST-10C, Rev.1 по космічній інженерії **системну інженерію** (*системне проектування*) визначено як міждисциплінарний підхід, спрямований на організацію та управління усіма технічними і технологічними

зусиллями, з метою перетворення вимог до системи в рішення, які ці вимоги задовольняють (System engineering is an interdisciplinary approach governing the total technical effort to transform requirements into a system solution). При цьому вказано, що приведення визначення запозичене зі стандарту США [5].

3.3 Основні компоненти системного проектування та його головний принцип

Основними компонентами системного проектування є такі:

- сама **система**, що підлягає розробці, з її *ієрархічною* будовою і численними зв'язками між складовими;
- **мета** (цілі), яку (які) треба досягти та **задачі**, що треба вирішити, щоб досягти поставлену мету (цілі);
- **способи, методи, методика і алгоритми** (технології), що використовуються в процесах проектування, таких як:
 - *формування вимог до системи;*
 - *моделювання структури системи (архітектура);*
 - *декомпозиція;*
 - *аналіз;*
 - *синтез;*
 - *оцінювання ризиків; о прийняття рішень та ін..*

В основу методології системного проектування покладено такий головний принцип:

вирішення будь-яких проектних, конструкторських, організаційних чи інших задач має здійснюватися в інтересах задач системи більш високого ієрархічного рівня.

В теорії систем [6] цей принцип сформульовано у вигляді низки постулатів, основними з яких є такі:

1. Система, що складається з оптимальних частин (підсистем), не є в загальному випадку оптимальною.
2. Система має бути оптимізованою за кількісно визначеним критерієм (критеріями), який (які) відображає (відображають) у математичній формі мету оптимізації.
3. Критерії оптимальності системи визначають не в межах підсистеми, а з врахуванням п більшої системи, частиною якої є система, що підлягає оптимізації.
4. Систему оптимізують в умовах кількісно визначених обмежень.
5. Оптимальні за великим рахунком рішення не можна отримати шляхом внесення невеликих змін у відомі рішення.
6. Моделювання складних систем не передбачає точної відповідності між моделлю та системою, що проектується. *Зайва деталізація* моделі суттєво її ускладнює, а *надмірне укрупнення* призводить до зростання неадекватності моделі.

3.4 Ключове значення масштабу особи, яка приймає рішення

Проектування РКТ надзвичайно складне у зв'язку з тим, що вибір мети (цілей) і напряму розробки та визначення рівня цільової віддачі і економічної ефективності, а також прийняття принципових технічних рішень *мають здійснюватися в умовах*

впливу багатьох факторів і переважно на початкових етапах проектування при багатьох невизначеностях. Вирішення такого роду задач, коли відсутня повна інформація про структуру майбутньої системи та її внутрішні зв'язки і зовнішні впливи, значною мірою ґрунтуються на інтуїції і досвіді особи, яка приймає рішення (ОПР).

У цих умовах оцінка варіантів за вибраними критеріями і обмеженнями, кількісні значення яких неможливо знайти, здійснюється ОПР (або гру осіб) експертним шляхом.

Обмежені можливості людини при проведенні одночасного урахування величезної кількості, часто суперечливих факторів може призвести до гою (НІР мимоволі буде штучно спрощувати систему, зменшувати число розглянутих альтернатив і критеріїв вибору. Це може мати наслідком формування необґрунтованих оцінок та породити прийняття хибних або на помилкових рішень.

Слід також підкреслити, що на прийняття рішення вирішальною мі впливає фактор часу, бо навіть найкраще рішення має сенс тільки до певної стадії проектування. Тому своєчасність рішення в тій чи іншій мірі вступ протиріччя з його обґрунтованістю, що залежить від об'єму інформації, які наявності на час його прийняття (див. рис. 3).

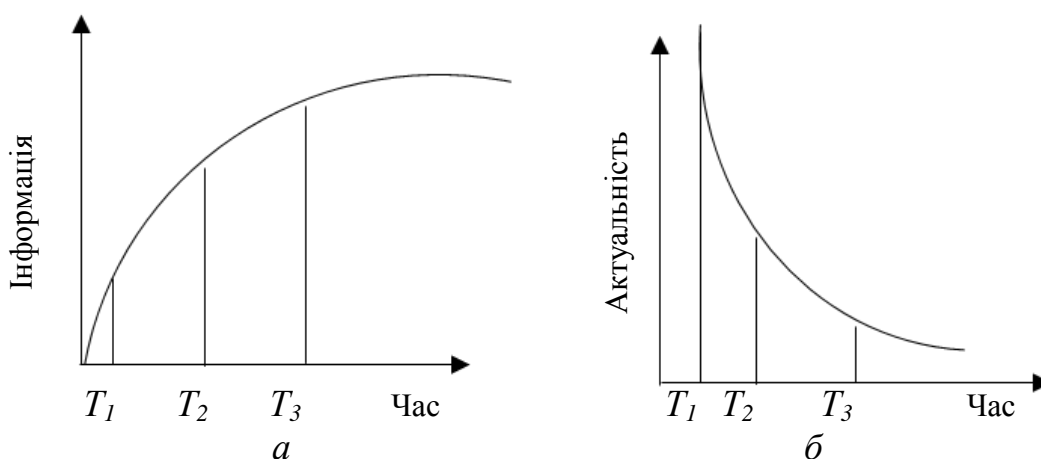


Рис. 3. Залежність прийняття рішень від часу накопичення інформації (а) та їхньої актуальності (б) [7]

Якщо наведені вище схеми накласти одну на іншу, то стане очевидним, що оптимальний час накопичення інформації і максимальна актуальність рішення не співпадають. Треба шукати компроміс, бо занадто смілива особа приймає рішення в момент часу T_1 але воно може бути хибним через необґрунтованість, а несмілива - при T_3 , коли це рішення спіє непотрібним (не актуальним). Тільки досвідчена, розумна і мудра особа здатна знайти рішення момент T_2 , яке є актуальним і одночасно інформаційно добре підготовленим.

Застосування системного підходу спроможне значною мірою запобігти вказаних помилок, при цьому ключове значення має *масштаб* особи, яка пропонує і приймає рішення.

В проектно-конструкторських організаціях, до яких належить ДП «КБ «Південне», вирішальними фігурами, системниками (дженералістами) за призначенням є **проектанти/конструктори** – від рядових до Генерального. Вони призначені пропонувати і приймати найкращі рішення. Їхній обов'язок – бути лідером.

Перелік посилань

1. Левенчук А. Системное мышление. Учебник. Электронный ресурс.2018.
2. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б. Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении. - М.: Машиностроение, 2012. -568 с.
3. Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003.
4. ECSS-E-ST-10C, Rev. 1. Space engineering general requirements. European Cooperation for Space Standardization, 15 February 2017. 2017.
5. IEEE Interim Standard 1220. Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process. Institute of Electrical and Electronics Engineering, NY, 1999.
6. Гиг Д. Общая прикладная теория систем. М.: Мир, 1981.
7. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ: Учеб. Пособие. - К.:МАУП, 2003. -368 с.

4 ІНЖЕНЕРІЯ СИСТЕМНОЇ АРХІТЕКТУРИ

4.1 Про інженерію архітектури систем

Щоб систему втілити, її треба спочатку охарактеризувати (окреслити, описати, визначити – System definition). Цьому слугують, зазвичай, проектна і робоча документації на систему.

Останнім часом (не більше 2..3-х десятиліть тому) при визначенні технічної системи почали вживати поняття «архітектура системи»¹. Згідно з ISO 42010 архітектура системи - це фундаментальні концепції та/або властивості системи в її середовищі, які втілені у елементах, взаємозв'язках та принципах її проектування і розвитку (Architecture of a system – fundamental concepts or properties of a system in its environment embodied in its elements, relationships, and in the principles of its design and evolution).

Іншими словами архітектура - це про все найважливіше в системі. Що б це не було.

Інженерія² системної архітектури включає:

=> **Вимоги** (визначення системи, як «чорного ящика»);

=> **Архітектуру** (найважливіші інженерні рішення, що характеризують систему як «прозорий ящик»);

=> **Неархітектурну частину проекту** (усі інші інженерні рішення, які визначено не найважливішими, типовими, «робочими»),

Вимоги до системи можуть бути частиною архітектури, або розглядатися як самостійна, надзвичайно важлива початкова її складова.

Найчастіше **архітектуру системи** характеризує ескізний проект або технічні пропозиції та ескізний проект, годі як **неархітектурна частина** – це робоча документація.

Слід зазначити, що системне проектування (System designing), системна інженерія (System engineering) та інженерія системної архітектури (Engineering of a system architecture) є по суті поняттями тотожними,

Існує декілька тлумачень поняття проектування/конструювання (designing) як певного співвідношення архітектурної та не архітектурної частин проекту. При цьому слід розуміти, що вся архітектура – це designing, але не весь designing це архітектура (рис. 1).

Згідно з нормативними документами ДП «КБ «Південне» (див. СТП 1,15.1.02.188:2008) до проектної документації, в якій закладені найважливіші інженерні рішення по системі (тобто її архітектура), віднесені технічні пропозиції (або аванпроект чи концептуальний проект) та ескізний проект. Саме вони, в першу чергу, характеризують **архітектуру** системи, що має бути створена. Але, як свідчить практика, і в процесі розробки робочої документації і навіть на більш пізніх етапах втілення системи деякі принципи, зв'язки чи властивості системної архітектури можуть

¹Треба враховувати можливу плутанину з будівельною архітектурою, хоча по суті вони подібні.

²Інженерія (інженерна справа) – це творче застосування наукових знань та практичного досвіду для вирішення конкретних проблем та задач людства, в першу чергу шляхом проектування або розробки структур, машин, апаратури і виробничих процесів.

бути скориговані, хоча простір можливих рішень, особливо принципів, та їхня актуальність неухильно звужується з кожним наступним етапом виконання робіт.



Рис. 1 Інтерпретація системного проектування/конструювання як інженерії системної архітектури [1].

4.2 Формування вимог до системи

Треба розрізнити вимоги Замовників та системні вимоги.

Вимоги Замовників

Замовниками є люди чи організації, яким майбутня система необхідна і які розраховують на певний зиск від її застосування. В практиці проектування технічних систем західних країн замовники характеризуються в більш широкому плані. Це так звані *Стейкхолдери* - люди або організації, які мають будь-який інтерес і вплив на проєкт в частині його розробки, створення, експлуатації та утилізації системи, а також ті, чий інтерес можуть бути зачеплені цією системою. Хоча по великому рахунку кінцеві цілі і Замовників і Стейкхолдерів співпадають, поточні завдання останніх, за визначенням, виглядають більш всеохоплюючими.

Вимоги Стейкхолдерів (Замовників), зазвичай, суперечливі, розрізнені та неповні. Тому вони мають бути задокументовані і обов'язково затверджені (завізовані) на предмет правильності їхнього однакового розуміння самими Стейкхолдерами і розробниками проєкту.

Відомо, що різні люди в т. ч. Замовники (Стейкхолдери), бачать в одній і тій системі, предметі чи явищі абсолютно різні речі, бо вони дивляться на них зі своїх власних позицій.

Сутність системного підходу при формуванні вимог якраз і полягає в тому, що мають враховуватися і аналізуватися різні позиції) як *Стейкхолдерів* (Замовників), так і тих, хто безпосередньо розробляє проект. Це і так званий холізм, на протизагу редукціонізму, коли все пов'язане з системою можна пояснити з однієї точки зору або одного наукового предмету³.

Системні вимоги

Вимоги, які є повними і достатніми для розробки системи, називаються *системними*. До їхньої розробки залучають універсальних спеціалістів дуже високої кваліфікації, що мають необхідний практичний досвід проектно-конструкторських робіт та, обов'язково, системне мислення. Це так звані дженералісти (системотехніки або системними). Вони починають формувати системні вимоги з отримання та аналізу вимог *Стейкхолдерів*, тому повинні також володіти (крім іншого, див. 2.1) навичками комунікації, знати ази конфліктології і розуміти основи інженерного менеджменту.

До системних вимог висувається багато умов: - повноти, можливість перевірки, відсутність протиріч тощо. Сформувані хороші вимоги до системи є задачею надзвичайно складною

Про важливість розробки системних вимог свідчить і те, що для цього було створено спеціальну дисципліну «*інженерію вимог*» як підрозділ системної інженерії. Поширеною практикою інженерії вимог є застосування реверс-інженерінгу⁴ щодо надсистем (системи більш високого ієрархічного рівня) та систем-аналогів (в т.ч. виробів конкурентів) для того, аби отримати опис системи, що розробляється, як «чорного ящика».

Важливим на цьому етапі є також виявлення функцій системи при різних сценаріях взаємодії з надсистемами та встановлення поведінки складових частин всередині самої системи.

Слід особливо зазначити, що в багатьох випадках проекти спонукає невдача саме через відсутність (або неналежне формулювання) якоїсь вимоги чи умови.

4.3 Архітектура системи

Архітектура системи представляє собою задокументований опис у вигляді креслень та/чи пояснювальних записок, які надають вичерпну інформацію про все найважливіше у системі. Якщо розглядати архітектуру як набір інженерних рішень, що принципово визначають *структуру* системи, то це може бути, наприклад, тип і кількість палива ступенів ракети-носія (РН). Так, заміна рідиннопаливної рушійної установки РН (або окремого ступеня) на твердопаливну призведе до суттєвої зміни багатьох інших рішень і перепроектування значної частини усієї системи.

³У християнстві є досить складне поняття трійці: бог представляється і єдиним і одночасно і таким, що існує в трьох іпостасях – отця, сина і святого духа. Проблема полягає в тому, що думати про бога треба одночасно і як про єдине, і як про окремі іпостасі.

⁴Реверс-інженерінг – це дослідження відомого продукту високого технічного рівня, а також документації (якщо доступна) на цей продукт з метою зрозуміти принципи його роботи та покращити його без прямого копіювання. Дозволяє мінімізувати витрати, підвищити конкурентоспроможність, та скоротити час розробки

Для опису *структури*⁵ систем будують дерево продукту або використовують модель піраміди (рис. 2).

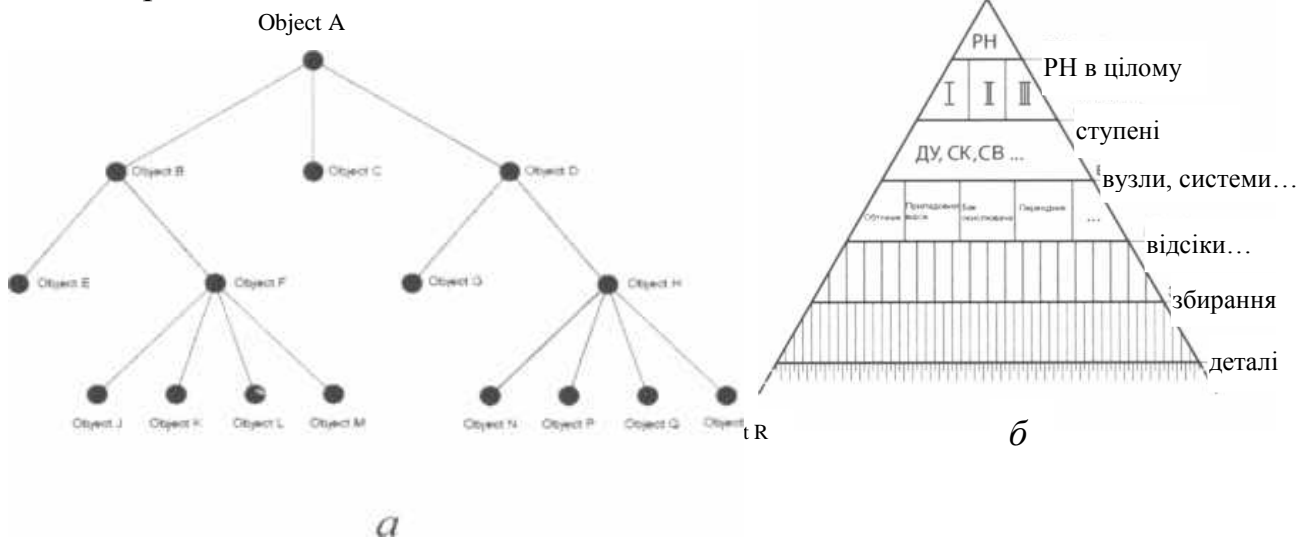


Рис. 2 Структура систем:
a - у вигляді дерева продукту; *б* - як піраміда (на прикладі ракети-носія)

Вказані на рис. 3 системи характеризуються ієрархічною структурою⁶ її складових та численними зв'язками між елементами різних рівнів.

Особливо слід наголосити на тому, що визначення ієрархічних рівнів складових елементів може суттєво відрізнятись від технологічного членування системи. Задача побудови структури для досягнення цілей системного проектування полягає в тому, щоб виокремити такі підсистеми загальної системи, які можуть розглядатися і аналізуватися як відносно самостійні в функціональному плані.

Треба відзначити також і те, що зв'язки між складовими частинами системи є, як правило, надзвичайно складними і різноманітними.

4.4 Методологія системної архітектури

Для побудови ієрархій та встановлення зв'язків в середині системи і оцінки зовнішніх впливів на неї застосовують *декомпозицію, аналіз та синтез*.

Декомпозиція

Декомпозиція (від лат. decomposition) - в системному проектуванні це метод (прийом), за допомогою якого система розділяється на підсистеми або складові частини, цілі діляться на підцілі, а задачі - на низку взаємопов'язаних задач, кожна з яких може вирішуватися незалежно одна від одної.

Основна проблема, що виникає при декомпозиції системи, полягає в необхідності забезпечення як повноти відповідних цілей, так і точності їхнього формулювання для кожної складової системи (про важливість формулювання мені проектування об'єктів системи див. наступний розділ).

⁵ Структура – це сукупність сталих зав'язків об'єкта, які забезпечують збереження основних властивостей об'єкта при зовнішніх та внутрішніх впливах

⁶ Ієрархічна структура – це спосіб побудови (організації) складних систем, при якому частини (елементи) системи розділені за рівнями підпорядкування і уся система стає багаторівневою, але залишається цілісною.

Структура системи має бути достатньою придатною для аналізу усіх її піло-вих, але, одночасно, простою у користуванні.

Процес декомпозиції⁷ ґрунтується на глибокому вивченні системи і є неформалізованою процедурою. Тому його результати суттєво залежать від рівня компетентності *особи, що приймає рішення*, його типу мислення та, навіть, симпатій.

При виділенні елементів одного ієрархічного рівня треба дотримуватися таких принципів:

- однорідності (включати елементи, що мають однакову важливість для даного рівня);
- суттєвості (включати елементи, які є істотними для мети аналізу даного рівня);
- незалежності (тобто, елементи одного рівня мають бути відносно взаємно незалежними).

Встановлення «глибини» (ступеню деталізації) дерева чи піраміди залежить від того, наскільки зростає корисна інформація про систему. При цьому слід пам'ятати, що більш високий рівень має вищий ступінь загальності і, відповідно, «ціну» цілей, показників (критеріїв) та задач. Декомпозиція зазвичай закінчується на так званому елементарному рівні, коли доходить до деталей.

Аналіз

Аналіз – метод дослідження, який характеризується виділенням та вивченням частин об'єкту дослідження.

Основними задачами проектування технічних систем на етапі аналізу є:

а) логічне, графічне та аналітичне встановлення параметрів, які визначають систему і її складові;

б) всебічне або цільове порівняння альтернатив за встановленими параметрами для здійснення пошуку найкращих (оптимальних чи раціональних) їхніх значень.

Надзвичайно важливу роль у досягненні мети аналізу відіграє процес *моделювання*⁸. Взагалі моделлю замінюють оригінал тоді, коли будь-який експеримент з оригіналом дуже небезпечний, вартісний, тривалий або ін.

При розробці РКТ основною причиною моделювання є принципова неможливість при проектуванні мати справу з оригінальним об'єктом, якого ще немає.

Зазвичай використовують моделі уявні (що виникають в голові розробника), графічні (різного роду ескізи, креслення і т.п.), аналітичні (методики, алгоритми, програми) та частково фізичні (натурні), виконані в масштабі, або спрощено.

Моделювання представляє собою процес переходу з реальної області у актуальну (модельну) і складається з трьох основних етапів: - формалізації, власно моделювання та інтерпретації. Якщо потрібні уточнення, то вказані сипи повторюють, при цьому завжди *принципово важливим залишається питання забезпечення необхідної точності моделювання*.

Через те, що модель є тільки вираженням кінцевого ряду аспектів, найважливіших для конкретного спеціаліста на конкретному етапі розробки, вона не може бути абсолютно ідентичною об'єкту, який моделюється. Крім і того, *реальний об'єкт завжди безкінечний для пізнання*.

⁷Аналогом процесу декомпозиції

Одним з найбільш проблемних питань є встановлення співвідношення адекватності і простоти моделі. З одного боку вона має бути достатньо складною, щоб задовольнити умові адекватності, але в той же час досить простою, аби забезпечити вимогам оперативності, комплексності і системності пошуку найкращого рішення, особливо на початковому етапі архітектурного проектування, коли не доступні детальні параметри системи.

Притаманний складним технічним системам загальний характер залежності простоти моделі від її адекватності показано на рис. 3 [3].

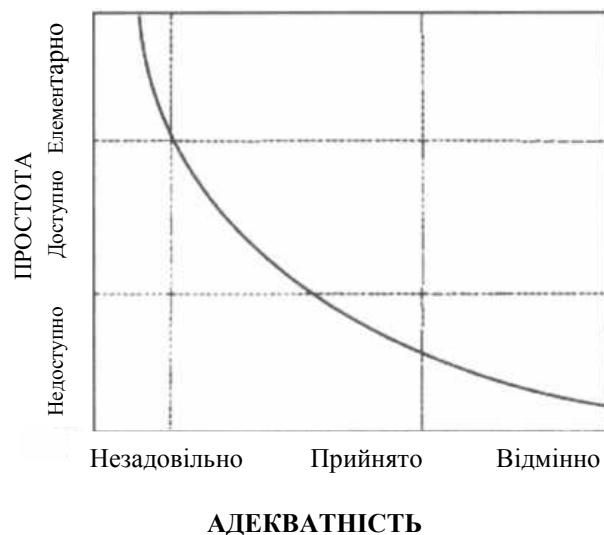


Рис. 3 Залежність простоти моделі від її адекватності

Для встановлення прийняттого ступеня *адекватності*, зазвичай, будують низку моделей, починаючи з простих, і рухаючись до все більш складних та точних. Процес закінчується, коли витрати на чергову модель починають перевищувати віддачу, що планується отримати від моделі.

Синтез

Слово «*синтез*» походить з грецької «покласти поруч». Це поняття означає складання або з'єднання частин чи елементів для утворення цілого⁹.

Аналіз систем та синтез систем по суті протилежні дії і їхнє значення можна розглядати, відповідно, як дедукцію систем та створення систем.

Синтез в РКТ означає:

або просто перестановку частин у відомій конструкції для отримання нової, або децю більш творче - поєднання нових частин новими методами.

Методи синтезу мають широкий діапазон — від логічних (в тому числі аналітичних) до чисто психологічних.

⁹Аналогом процесу систем є біблійське «час збирати каміння»

Ані логіка, ані володіння науковими методами, ані мудрість не були б потрібні, якби люди не продукували нових ідей і не створювали нових матеріальних речей [4].

Для посилення психологічних методів пошуку нового існує багато способів, та всі вони спрямовані лише на стимулювання (активізацію) творчого мислення. А ось як саме з'являються нові креативні ідеї, невідомо.

Характерно, що нетрадиційні чи принципово нові рішення можуть бути запропоновані на будь-якій з попередніх стадій архітектурного проектування (при реверс-інженірингу, декомпозиції і особливо при аналізі), але тільки в процесі синтезу системи остаточно вирішуються питання їхньої впровадження. При цьому слід зауважити, що при синтезі нової системи надання переваги альтернативам з існуючими рішеннями призводить, як правило, до більш дешевих, але менше функціонально привабливих проектів, тоді як вдалі нові творчі пропозиції спроможні забезпечити високі (іноді революційно високі) показники вартісної і технічної ефективності одночасно.

***За своїми потенційними можливостями
творчість практично безмежна.***

Перелік посилань

1. Левенчук А. И. Системно-инженерное мышление. М.: TechInvestab, 2015. 305с.
2. Anderson J.D. Systems Engineering Landscape Encyclopedia of Aerospace Engineering. Volume 8. West Sussex: PH WILEY. 2010. p.27-40.
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа, 4-е изд., перераб. - М.: Из-во СКАД СОФТ, 2011, 736с.
4. Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники. (A Methodology for System Engineering). Пер. с англ. Под ред. Г. Н. Пивоварова. М., «Советское радио», 1975, 448с.

5 МЕТА ТА ЗАДАЧІ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РКТ

5.1 Визначення мети

В системному проектуванні мета розглядається як абстрактна модель неіснуючого, але бажаного стану системи. Мета може задаватися вимогами до показників результативності (цільової віддачі) та/або вимогами до шляхів досягнення заданого результату.

Визначення мети завжди починається з формулювання проблеми.

При проектуванні систем будь-яка проблема розглядається не як самостійна, а як об'єкт з числа взаємопов'язаних проблем (задач), результати вирішення яких відібраються на показниках надсистем та підсистем даної системи. У зв'язку з цим до визначення конкретної мети переходять тільки після проведення ієрархічної структуризації початкової проблеми.

Найчастіше цілевизначення здійснюється методом побудови *дерева цілей*¹. Основне завдання, що при цьому вирішується, полягає в переводі початкової (глобальної) мети до кінцевого набору відносно простих цілей, для досягнення яких можуть бути визначені конкретні задачі та застосовані певні процедури їхнього вирішення.

Для кожного рівня дерева цілей вводяться відповідні показники, критерії та обмеження (див. розділ 2, нижче).

Визначення і формулювання цілей є комплексним та складним процесом, результати якого мають надзвичайно важливе значення для успішної розробки системи.

Якщо мету визначено точно, то навіть непряма дорога до неї приведе до успіху, а якщо - неточно, то і найкоротший шлях не дасть очікуваного результату.

Слід підкреслити також велике значення впливу самого формулювання визначеної мети на хід та навіть на результати проектування. В якості прикладу можна розглянути (у спрощеному вигляді) такі два варіанти формулювання однакової по кінцевому результату мети:

- а) спроектувати ракету-носій для виведення космічного апарату на задану орбіту;
- б) спроектувати технічну систему для доставки космічного апарату на задану орбіту.

Очевидно, що у другому варіанті формулювання мети альтернативні рішення можливих систем виведення будуть запропоновані більш різноманітними і навіть не традиційними за принципом своєї дії, а сама розробка – складнішою та тривалішою.

5.2 Показники, критерії та обмеження

Основна проблема вирішення задач проектування РКТ, як великих технічних систем, полягає у наявності багатьох простих та/або складних показників, що мають бути обов'язково враховані.

Показник, в більшості випадків, – це будь-яка характеристика властивостей об'єкту або процесу (чи його результату), виражена зазвичай у числовій формі.

¹ Ідея цього визначення цілей належить У. Черчмену (1913-2004) і вперше була запропонована при вивченні процесів прийняття рішень в американській промисловості.

В якості основних технічних показників (характеристик, параметрів) об'єктів РКТ можна назвати, наприклад, такі: початкова (стартова) маса; маса корисного вантажу; тип, марка та кількість палива; тяга двигунів та час їхньої роботи; «суха» маса конструкції, траєкторні параметри та багато ін.

Серед численних показників існують декілька *найбільш характерних* та, як правило, *узагальнених*, по значенню яких оцінюється оптимальність (раціональність) рішень, що пропонуються. Вказані показники іменуються критеріями.

Критерій - це показник, який слугує для оцінки та порівняння відносної вигідності запропонованих альтернативних рішень тим вимогам, що були висунуті до системи в цілому, чи до її компонентів.

По своїй суті критерії можна розглядати як показники цільової віддачі (ЦВ) системи чи її компонентів. Ці показники зазвичай мають досягати екстремальних (мінімальних або максимальних) значень.

Для характеристики складних систем важко вибрати один критерій (один показник цільової віддачі), який би повністю задовольняв усім вимогам. З іншого боку, прагнення до всеохоплюючої оцінки системи з застосуванням багатокритеріальної оптимізації дуже ускладнює задачу, а головне, не дає можливості знайти об'єктивно кращого рішення².

На практиці, як правило, багатокритеріальні задачі зводяться до однокритеріальних шляхом вибору основного (найбільш «вагомого») критерію, а інші вимоги до системи розглядаються як *обмеження* або робляться відносно них *суб'єктивні припущення*.

Найчастіше до основних критеріїв в задачах проектування ракетно-космічних систем відносять масові, енергетичні, економічні та екологічні.

Одним з найважливіших є *критерій мінімальної маси конструкції*. Він, як узагальнюючий показник, містить в собі мірило вигідності при оцінці альтернатив у процесі вирішення багатьох проектних та конструкторських задач, а саме - при виборі конструкційних матеріалів та технології виготовлення, аналізі теплових і механічних навантажень, оптимізації параметрів силових елементів конструкції, аналізі та виборі конструкторських рішень тощо.

Критерієм більш високого ієрархічного рівня і, відповідно, більш узагальнюючим є *критерій максимальної енергетичної ефективності літального апарату* (ЛА) в цілому. Крім врахування необхідності забезпечення мінімальної маси конструкції ЛА енергетичний критерій дозволяє знайти найкращий компроміс між протиріччями, що виникають в питаннях вибору палива, при прийнятті необхідних тягових характеристик двигунів, в процесі порівняння варіантів аеродинамічної компоновки та ін.

Для різних ЛА енергетичний критерій має декілька взаємопов'язаних форм вираження. Наприклад при проектуванні ракети-носія (РН) найчастіше вживаються такі:

- критерій забезпечення максимуму маси корисного вантажу РН;
- критерій досягнення мінімуму стартової маси РН.

Інколи використовується показник оцінки відносної енергетичної вигідності альтернативних рішень, що пропонуються, у вигляді *критерію досягнення максимальної величини кінцевої швидкості РН*.

²Про особливості вирішення багатокритеріальних задач див. наступний розділ.

Найважливішою рисою розробки та створення виробів РКТ, особливо на сучасному етапі розвитку, є застосування того чи іншого економічного показника в якості критерію оптимізації. Саме такий критерій, в кінцевому рахунку, свідчить про конкурентоспроможність готової продукції. В задачах проектування транспортних ракетних систем доставки КА у космос універсальним і найбільш поширеним вважається *критерій забезпечення мінімальної вартості виведення 1-го кілограма корисного вантажу на задану орбіту*.

Слід зауважити, що *сучасний космічний транспортний засіб*, який проектується з застосуванням критерію економічної конкурентоспроможності і характеризується мінімальною вартістю та максимально досяжною масою корисного вантажу, багато в чому залежить від спроможності (або відсутності спроможності) до *багаторазового використання системи в цілому, чи окремих її складових частин*.

5.3 Особливості вирішення багатокритеріальних задач

У житті є багато прикладів протилежностей, які можуть перебувати у стані природного конфлікту (наприклад, «світло-темрява», «сіль-цукор», «масло-гармати», «технологічність конструкції - її маса» та ін.), при цьому треба надати перевагу одній з альтернатив. Задачі, в яких якість рішень, що приймаються, оцінюється за декількома критеріями, доволі поширені в усіх сферах людської діяльності. Характерні вони і для системного проектування ракетно-космічної техніки.

Найголовнішою особливістю багатокритеріальних задач є те, що їхнє успішне розв'язання неможливе без використання різного роду відомостей про ступінь переваг, які надає особа, що приймає рішення (ОПР), в процесі вибору тієї чи іншої альтернативи.

Іншими словами, інформація про відносну важливість (ваговий коефіцієнт) кожного з критеріїв є вирішальною [1]. Таким чином, *першочерговим слід вважати надзвичайно ретельне, професійне і неупереджене з'ясування джерел походження вказаної інформації*, а також того, що вона з себе удає.

Типовою ситуацією при багатокритеріальному виборі технічних рішень є відсутність можливості кількісно оцінити частину даних. Найчастіше вказане стосується вагових коефіцієнтів критеріїв та оцінок деяких з них. У таких випадках *користуються якісними оцінками порівняльного характеру* (типу «високий», «середній», «низький») з наступним їх перетворенням у кількісні (бальні) оцінки [2]. Як алгоритми такого перетворення можуть застосовуватися методи багатокритеріального вибору, розроблені різними авторами, наприклад, метод лінійного згортання частинних критеріїв [3], метод графів [4], метод аналізу ієрархій [5] та ін.

Необхідність застосування багатокритеріальної оптимізації виникає найчастіше саме тоді, *коли треба знаходити компроміс між критеріями, що конфліктують, а інформація про пріоритети критеріїв не може бути встановлена*. Наприклад, якщо альтернатива x_1 краща за альтернативу x_2 за показником f_1 , але гірша за показником f_2 , то яку з альтернатив вважати кращою?

В таких випадках (при відсутності пріоритетів показників) доцільно користуватися методами прийняття рішень, основаними на поняттях векторного критерію та Парето-оптимальних рішень.

Оптимізація векторного критерію передбачає пошук та вибір такої альтернатив x^* , що забезпечує

$$(f_1, f_2, \dots, f_N) \rightarrow \max,$$

(де замість \max може бути \min при відповідному значенні частинних критеріїв).

Для пояснення поняття «Парето-оптимальні рішення» можна вдатися до аналогії зі звичайними оптимальними рішеннями з одним показником F . Зрозуміло, що оптимальною за показником F буде та альтернатива x^* , для якої виконується умова

$$F(x^*) \geq F(x),$$

тобто оцінка альтернативи x^* за показником F краща (або не гірша), ніж така ж оцінка у решти альтернатив.

Аналогічно і для векторного критерію:

- альтернатива X_p належить множині Парето-оптимальних рішень, якщо виконується умова

$$(f_1, f_2, \dots, f_N)(X_p) \geq (f_1, f_2, \dots, f_N)(x),$$

де x не належить X_p , а « \geq » – означає «більше» чи «дорівнює».

Ілюстрацію Парето-оптимальних рішень на прикладі задачі з двома критеріями надано на рис. 1.

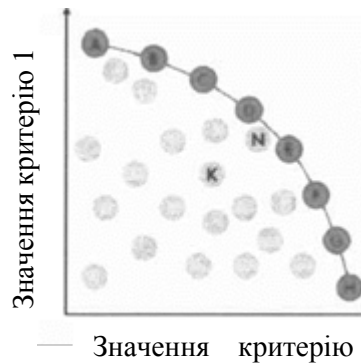


Рис. 1. Кожен з восьми альтернативних варіантів, від А до Н, є Парето-оптимальним

Слід зазначити, що становлення Парето-оптимальних рішень дозволяє виявити тільки ті альтернативи, які в тій чи іншій мірі є прийнятними, а вже поміж них в подальшому вибрати найкращий варіант, застосовуючи методи багатокритеріального вибору.

5.4 Формулювання типових задач системного проектування РКТ

Основними кінцевими об'єктами (великими системами) РКТ, для проектування яких в конструкторському бюро «Південне», як базовому підприємстві України у космічній галузі, в першу чергу застосовується системна методологія, є такі:

- ракети-носії (РН);
- космічні апарати (КА);
- ракетно-космічні комплекси (РКК).

Завдяки великому досвіду проектування у минулому і згідно з стратегічними планами на майбутнє на підприємстві сформувалися наступні напрямки робіт щодо розробки РН:

=> проектування нових РН, коли КБ «Південне» є Головним підрядником робіт (наприклад, реалізований проект РН «Зеніт» або проекти серії РН «Маяк», що знаходяться у процесі розробки);

=> співучасть у проектуванні нових РН, коли КБ «Південне» виступає як Субпідрядник (наприклад, РН «Антарес»);

=> модернізація (часткова або глибока) РН, які були спроектовані в КБ «Південне» раніше (наприклад, проекти модернізації РН «Циклон»),

Для розробки РН, а також КА чи РКК, як і для будь-яких інших великих систем та підсистем можна сформулювати задачу системного проектування у загальній постановці таким чином:

треба винайти таку архітектуру об'єкту проектування, яка б задовольняла усім вимогам, що пред'являються до нього, при цьому забезпечувала якомога вищу цільову віддачу при найменших витратах.

Вирішальне значення для реалізації задач проектування РКТ має досягнення найвищого (з можливих та доступних) технічного рівня (ТР) розробки. Дослідження технічного рівня є комплексним процесом визначення ступеня відповідності об'єкта розробки заданим вимогам, а також рівню світових досягнень науково-технічного прогресу в даній галузі. Технічний рівень базується на кон'юктурно-економічній, патентній та іншій науково-технічній інформації про освоєні об'єкти-аналоги [6].

Можна виділити три типи задач системного проектування об'єктів РКТ.

Задача 1.

За умовами задачі для створення системи заданого технічного рівня ТР і витрати В не обмежуються (зрозуміло, що в максимально досяжних для розробника обсягах). Треба спроектувати систему з відповідними показниками цільової віддачі ЦВ₁.

Така задача можлива, наприклад тоді, коли у розробника виникає термінова необхідність відтворити якусь систему, що вже була створена кимось раніше.

Щоб встановити, який показник цільової віддачі ЦВ₁ буде відповідати заданому технічному рівню ТР₁, необхідно провести систематизовані дослідження на основі усієї наявної інформації про минулі та сучасні досягнення у даній галузі з метою побудови відповідних залежностей (див. рис. 2).

Цільова віддача (ЦВ)
Виграш (В)

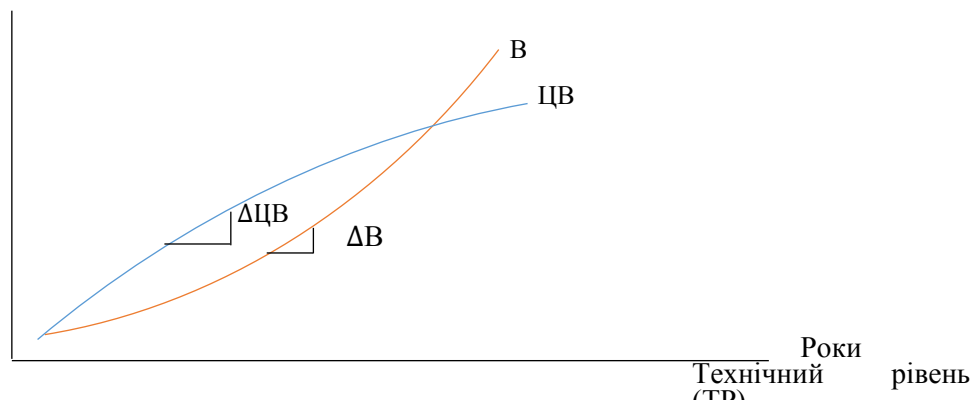


Рис. 2. Залежності цільової віддачі та витрат від технічного рівня

Згідно з закономірностями розвитку технічних систем³, які розвиваються еволюційно, приріст їхньої цільової віддачі (ΔCV) швидко збільшується після зародження системи, але з часом починає уповільнюватися. Приріст же необхідних витрат (ΔB), навпаки, збільшується для систем, технічний рівень яких є високим.

Специфічні умови, аналогічні сформульованим в задачі 1, є характерними, в основному, для систем з відносно невисокими технічними рівнями. Наглядна інтерпретація вирішення таких задач показана на рис. 3.

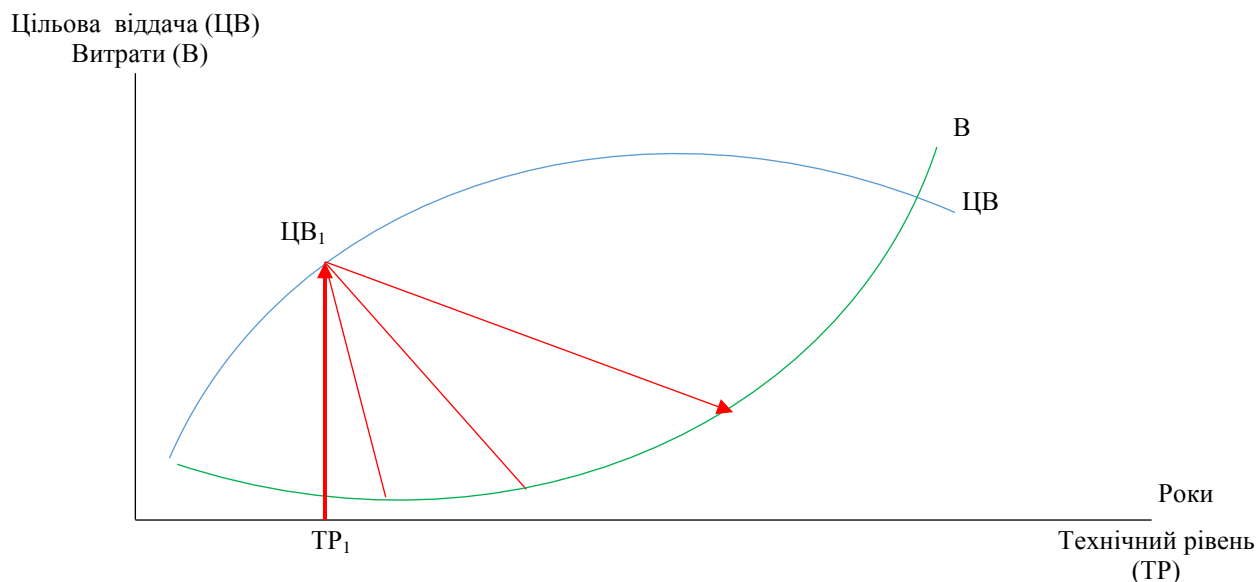


Рис. 3 Задача досягнення відповідної цільової віддачі при заданому технічному рівні

Як свідчить практика, фактичні витрати на реалізацію програм, що підлягають реалізації згідно з задачами типу 1, як правило, суттєво перевищують витрати, встановлені попередньо теоретичним шляхом. Основ причина – брак досвіду створення аналогічних систем.

Задача 2

За умовами задачі величина витрат B , які виділяються на розробку та створення системи, обмежена (строго лімітована), Треба спроектувати систему якомога вищого технічного рівня TR^2 з відповідними найкращими показниками цільової віддачі CV_2 .

Встановлення характеру і ступеня взаємних залежностей цільової пил в (CV_2) від технічного рівня (TR_2) та їх обох від величини необхідних витрат (B) здійснюється теоретичними дослідженнями, аналогічно вказаним в задачі 1. В результаті теоретично має бути встановлено найвищий BV_2 , та найкращі показники CV_2 , які відповідають строго лімітованим витратам на програму (див. рис. 4).

Слід зазначити, що при реальному (повномасштабному) проектуванні систем часто показники цільової віддачі, що прогнозувалися, виявляються дещо (а інколи набагато) нижчими очікуваних. Тому розповсюдженою практикою є повернення до проектних робіт, коли розробляються різного роду доповнення до ескізних (архітектурних) проектів всієї системи чи її окремих складових або виконуються навіть нові проекти, щоб усунути (або зменшити) вказані розбіжності та досягти повного виконання запланованих вимог.

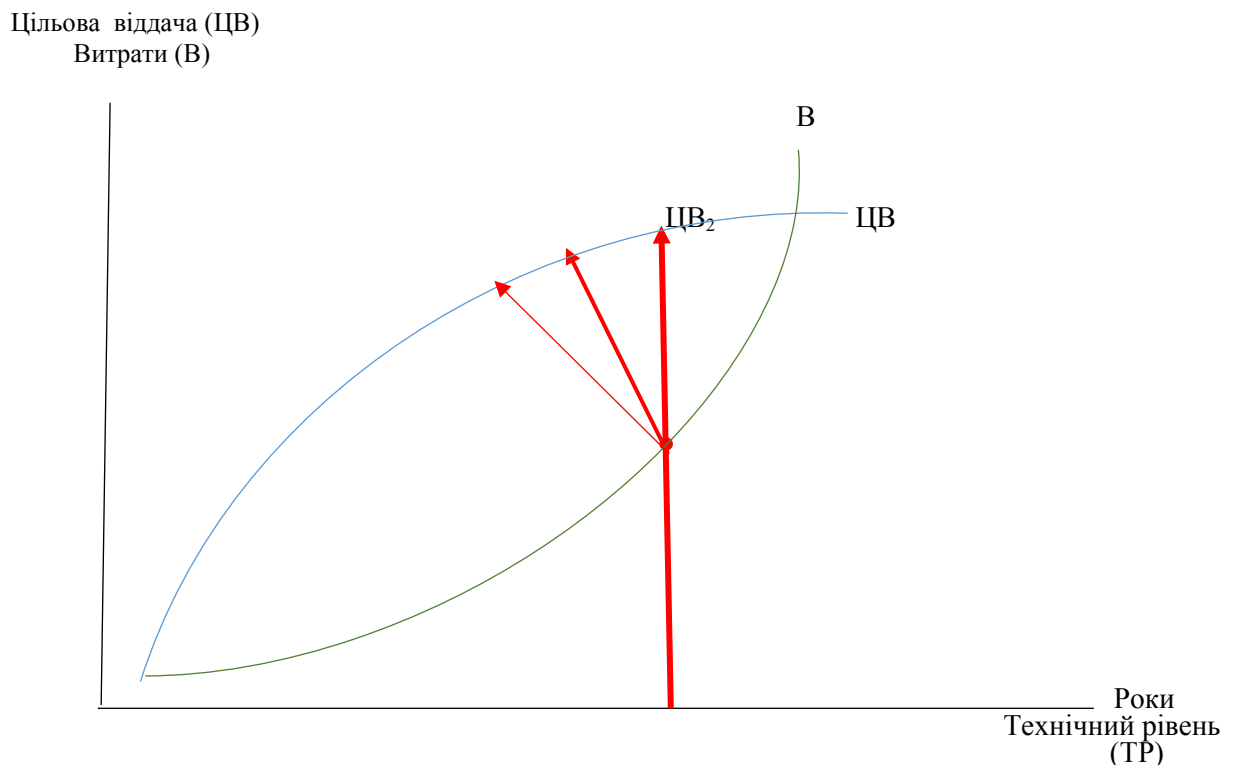


Рис. 4. Задача досягнення максимального технічного рівня та відповідної цільової віддачі при строго заданих витратах

Задача 3.

За умовами задачі треба спроектувати таку систему, щоб її головний узагальнений показник (критерій) ефективності найвищого рівня мав екстремальне значення.

Щоб спрощено продемонструвати сутність вирішення сформульованої вище задачі розглянемо в якості загального показника ефективності найвищого рівня E відношення цільової віддачі $ЦВ$ до витрат $В$, тобто

$$E = ЦВ / В.$$

Наприклад, для такої системи як ракета-носій, цільовою віддачею може бути маса корисного вантажу, а витратами - вартість пуску РН. В цьому разі прийнятий в задачі показник ефективності найвищого рівня є зворотнім критерію економічної конкурентоспроможності (див. розділ 2 даної теми).

Зведення багатьох критеріїв до одного узагальненого дає можливість застосувати напрацьовані методи однокритеріальної оптимізації, які в більшості випадків дозволяють отримати однозначні рішення на екстремум (рис. 5). Точність отриманих при цьому прогнозних значень показників технічного рівня і цільової віддачі системи визначається, як і в задачах 1 та 2, ступенем адекватності прийнятих для їх побудови моделей.

Характерно, що екстремальні (оптимальні) значення критерію ефективності E при вирішенні даної задачі не обов'язково будуть відповідати системам з найвищим технічним рівнем та/або системам з найкращою цільовою віддачею.

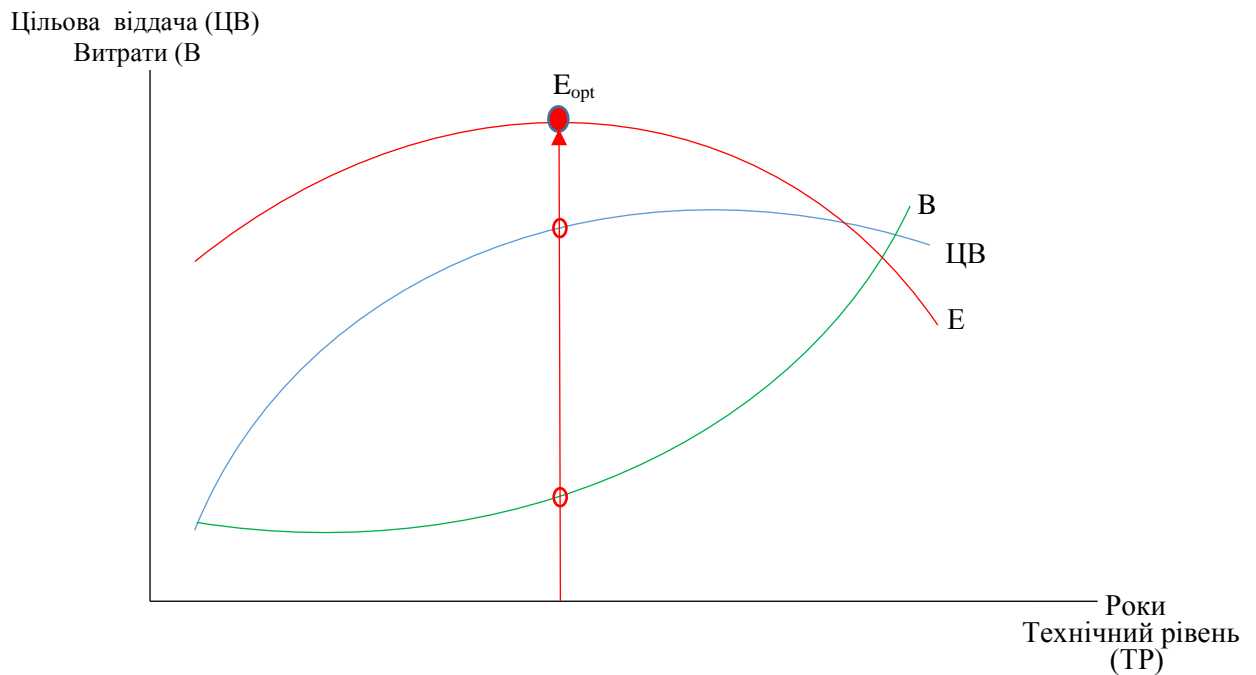


Рис. 5. Задача досягнення екстремального значення показника загальної ефективності з наступним прогнозуванням відповідного технічного рівня та цільової віддачі

5.5 Задача аналізу та оцінювання ризиків

Визначення (ідентифікація) факторів і причин, що породжують ризики, а також їхній аналіз та оцінювання відносяться до одних з найважливіших завдань системного проектування.

Ризик - це невідповідність отриманих результатів з раніше наміченими, що може негативно вплинути на досягнення кінцевих цілей проекту.

Основними причинами виникнення ризиків при проведенні проектних і конструкторських робіт є різного роду невизначеності, спрощення та припущення, пов'язані з неможливістю абсолютно адекватно моделювати компоненти і процеси майбутньої системи під час її розробки. До факторів, що обумовлюють появу таких ризиків можна віднести:

- недоступність деяких даних;
- неповнота інформації;
- неоднозначність трактовок;
- спрощеність математичних описів і графічних представлень та ін.

Аналіз ризиків полягає в проведенні таких процедур:

а) виявлення конкретних факторів ризиків;

б) оцінка їхнього рівня (значущості);

в) пошук можливих шляхів зменшення пов'язаних з ними несприятливих наслідків.

Головними категоріями аналізу та оцінювання рівня будь-якого ризику є його суттєвість і ймовірність. Суттєвість являє собою характеристику наслідків від ризикових подій, а ймовірність ризику визначається ймовірністю його виникнення.

Слід розрізняти два види аналізу ризиків, що доповнюють один одного – *якісний та кількісний*. До існуючих методів формального аналізу та оцінювання рівня ризику відносяться статистичний, експертних оцінок, аналітичний та використання аналогів. Результати якісного та кількісного оцінювання ризиків часто представляють у вигляді матриці (рис. 6).



Рис. 6. Приклад побудови

матриці виявлених ризиків

Виявлення ризиків проводиться на стадії побудови архітектури системи і має відповідати ієрархічній структурі і прийнятим критеріальним показникам. У разі, коли прогнози ризиків загальної ефективності пов'язані з суттєвими витратами, важливою є оцінка їх наслідків, виражена у показниках вартості. Рішення, які мають бути прийняті по кожному з таких ризиків, підлягають узгодженню з інвестиційними та логістичними можливостями. Якщо ризик високий, то повертаються до доопрацювань, які знижують ризик. Якщо ж ризик дуже високий і доопрацювання не спроможні його знизити, то вирішується питання доцільності закриття проекту або його кардинального переформатування (рис. 7).

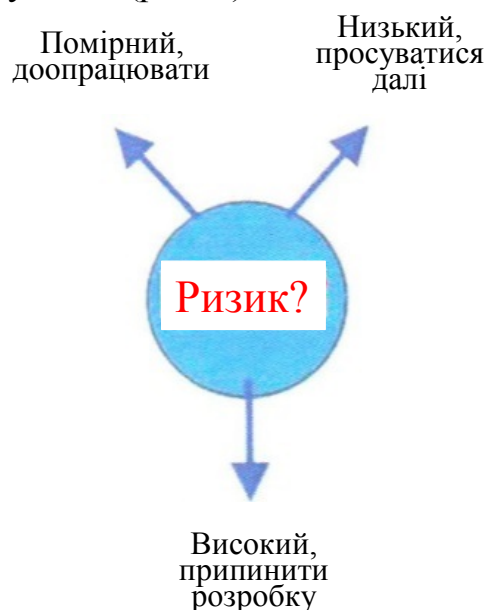


Рис. 7 Можливі шляхи реагування на ризики в залежності від їхнього рівня

Ключове значення у процесі виявлення ризиків, оцінювання їхнього рівня і прийняття рішень щодо подальшого реагування на них (в першу чергу шляхом пошуку можливостей зменшення пов'язаних з ризиками несприятливих наслідків) належить безпосередньо розробнику системи (чи її компонентів) в особі, яка приймає рішення (ОПР) на даному етапі розробки⁴.

⁴Характеристика особи, яка приймає рішення (ОПР) надана в розділі 4 теми 3.

Основними типовими заходами реагування на ризики є такі:

- ретельний відбір кваліфікованих виконавців на усіх рівнях;
- контроль якості розроблених проектних документів відповідальними особами та незалежними експертами;
- апробація ризикованих проектних і конструкторських рішень на дослідницьких зразках;
- виконання пілотних (попередніх) проектів.

Перелік посилань до теми

1. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 144 с.
2. Проектування та конструювання ракет-носіїв: Підручник для вищих навчальних закладів / Під ред. С.М. Конюхова. - Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2007.
3. Михалевич В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. - М.: Наука, 1982.
4. Руа Б. Проблемы и методы принятия решений в задачах с многими целевыми функциями // Вопросы анализа процедуры принятия решений. - Мир, 1976.
5. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем. / Т. Саати, К. Керне. - М. Радио и связь, 1991.
6. Обеспечение создания правовой охраны и использования интеллектуальной собственности предприятия. Методическое пособие 16.1155.027МП, ГП «КБ «Южное», 2015

6 ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ СИСТЕМИ

6.1 Поняття живого циклу

Життєвий цикл взагалі - це не завжди «життєвий» і не зовсім «цикл». Назва походить від біологічного «життєвого циклу» (рис. 1), який включає народження, життя та смерть, хоча при цьому ігнорується той факт, що по «циклу» проходять різні істоти.

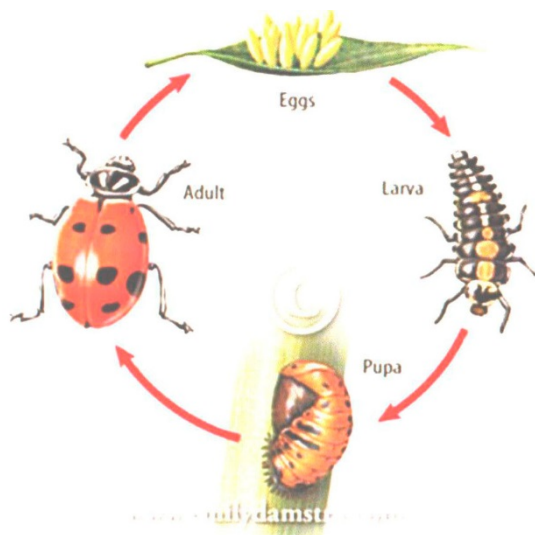


Рис. 1 Схема біологічного «життєвого циклу»

Технічні системи (як і будь-які інші) також «народжуються» і «вмирають», а потім можуть знову з'являтися, але це не життя та не такий вже й цикл. Не зважаючи на викладене, поняття «життєвий цикл» широко застосовується в системотехніці завдяки своїй зручності.

6.2 Життєвий цикл технічних систем

Життя технічної системи, що підлягає проектуванню, починається з «народження» ідеї (обумовленої об'єктивними потребами) і продовжується до виводу утіленої системи з експлуатації («смерть» системи).

Ідея	Розробка	Виготовлення	Використання	Підтримка	Ліквідація
------	----------	--------------	--------------	-----------	------------

Усю діяльність, яка здійснюється над системами протягом їхнього «життя», зазвичай розділяють на певні цілком конкретні періоди. Приклади такого розподілу на етапи згідно з ЄСКД надано зокрема в розділі 3.2, а відповідні фази стандартів США показано на рис. 2[1].

Аналіз потреб та формування технічного завдання (ТЗ)	Технічні пропозиції (аванпроект)	Ескізний проект	Технічний проект	Виготовлення та випробування	Експлуатація	Зняття з експлуатації та утилізація
--	----------------------------------	-----------------	------------------	------------------------------	--------------	-------------------------------------

а

Пошукові дослідження	Попередній аналіз	Вибір концепції	Проектна та конструкторська	Виготовлення та випробування	Експлуатація
Pre-Phase A	Phase A	Phase B	Phase C	Phase D	Phase E
Discovery	Concept	Design	Development	Production	Operation

б

Визначення потреб	Дослідження концепцій	Вибір концепції	Конструкторська розробка, виробництво та випробування	Виготовлення, розгортання, експлуатація зняття з озброєння
Phase 0	Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Requirements	Concept	Design	Development	Production/Deployment/Operation

в

Рис. 2 Порівняння українських та американських стандартів: а - українські стандарти; б - стандарт NASA; в - стандарт Мініборони США

Найбільш відомою та поширеною діаграмою як життєвого циклу, так і всієї системної інженерії є V- діаграма. Вона показана (дещо спрощено) на рис. 3.

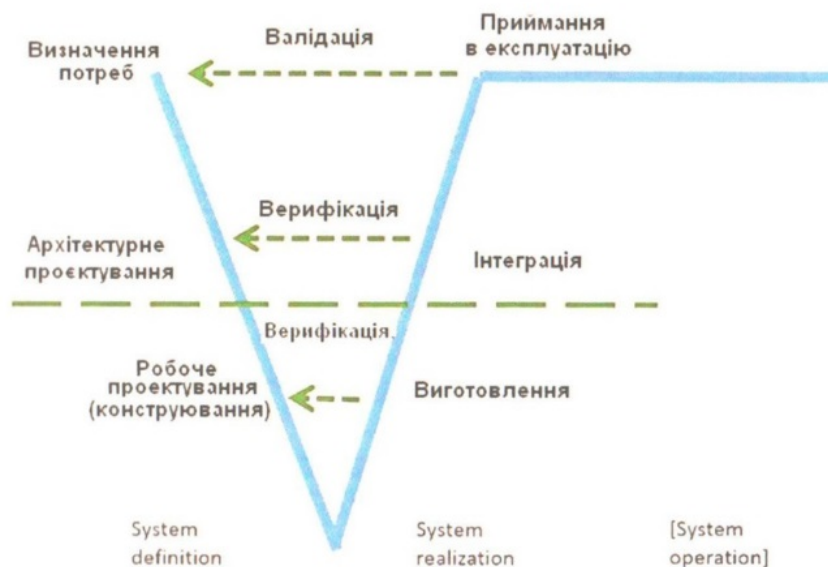


Рис. 3 Життєвий цикл технічної системи у вигляді V- діаграми

Саме V- діаграми (інша назва V- моделі) використовуються для того, щоб наочно показати найбільш загальні риси життєвого циклу систем та усього загальноінженерного процесу їхнього створення.

Характерним є те, що V- діаграма «перегнута» в нижній точці (в точці початку виготовлення системи), розділяючи роботи, що спрямовані на визначення системи (позначені ліворуч) з роботами по реалізації системи (позначені праворуч). Між вка-

заними типами робіт мають здійснюватися (за певними процедурами) перевірки відповідності прогнозованих і досягнутих показників, критеріїв та обмежень. Для цього слугують випробування (tests), верифікації¹ та валідації².

У V-діаграмах чітко і однозначно визначена послідовність робіт (задач, практик), що виконуються на кожному з етапів (стадій, фаз) життєвого циклу системи. В реальному житті, найчастіше, виконання робіт на певній стадії потребує повернення до робіт, які притаманні для етапів, що вже пройшли. Іноді виникає потреба повернутися до виконання робіт не на один-два етапи, а значно більше, навіть з останнього на перший. Для таких випадків була запропонована спіральна модель життєвого циклу системи (рис. 5). В ній поки піно, що розробка від етану до етапу ведеться по спіралі, на кожному оберті якої проводиться цикл з декількох характерних робіт. Тобто на одній діаграмі надано усі етапи життєвого циклу системи, і роботи, які підлягають проведенню на кожному з етапів.

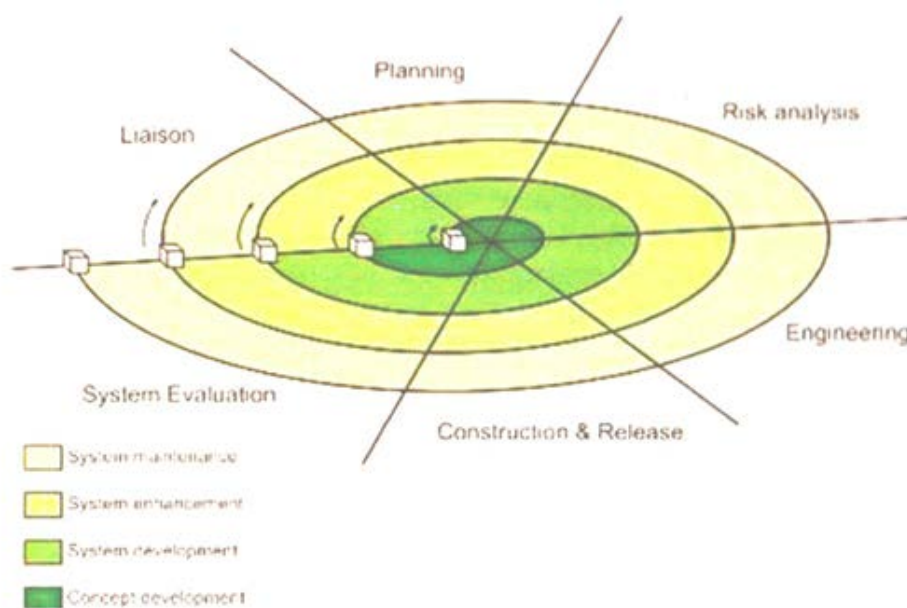


Рис. 4 Спіральна модель життєвого циклу системи

На рис.4 етапи життєвого циклу системи (розробка концепції, розробка системи, удосконалення системи, підтримка системи) показані різними відтінками кольору, а роботи, що виконуються - секторами на колах спіралі (liaison тут - customer communications).

Взагалі зараз існує багато інших моделей життєвого циклу систем (див., наприклад [3], [4]).

¹Верифікація – перевірка, визначення відповідності.

²Валідація, підтвердження, затвердження, прийняття.

6.3 Про стійкість, живучість та адаптивність систем

Сутність змінення нових властивостей систем, що створюються людинок в процесі *тривалого розвитку*, також можна пояснити описом життєвого циклу представленим у вигляді S-подібних (сігмоїдальних) кривих (див. рис. 6 та 7),

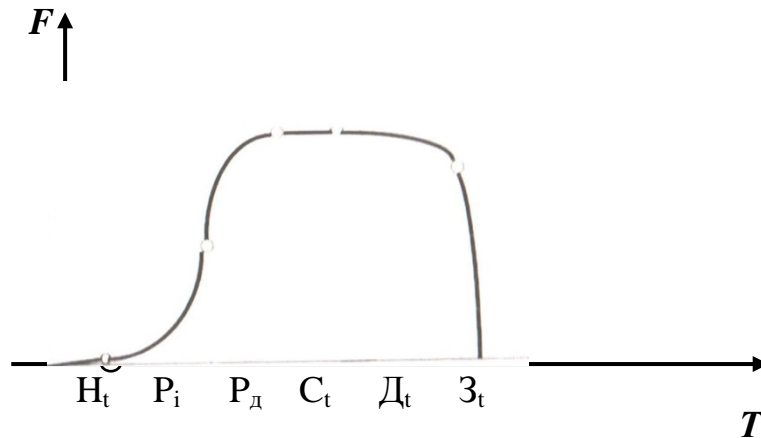


Рис. 5 Життєвий цикл системи у вигляді S-подібної кривої
(координати: T – системний час; F – головний параметр цільової функції)

Сігмоїда (рис. 5) характеризує у часі поведінку головних параметрів цільової піддачі системи (технічних, економічних, ергономічних чи ін.):

- під час народження системи (H_t);
- на етапі інтенсивного розвитку (P_i) до точки перегину на висхідній гілці кривої;
- на етапі дефлюючого розвитку (P_d) після вказаної вище точки перегину до початку стагнації;
- у процесі стагнації (C_t);
- при деградації (D_t);
- під час загибелі (Z_t).

Виходячи з природничо-наукового закону онтогенезу S-подібними кривими розвитку технічних систем, можна здійснити проєкцію їхньої дії на проявлення закону стійкості (гомеостазису) систем [5]. Закон стійкості сформулюється наступним чином:

системи, які ефективно мобілізують свої ресурси на підтримку рівноваги чи цілеспрямованого руху в разі виникнення зовнішніх та внутрішніх збурень, є стійкими.

Аналіз змін цільової функції системи в межах «трубки траєкторій» сталого розвитку характеризує хвильову динаміку її зростання (рис. 6).

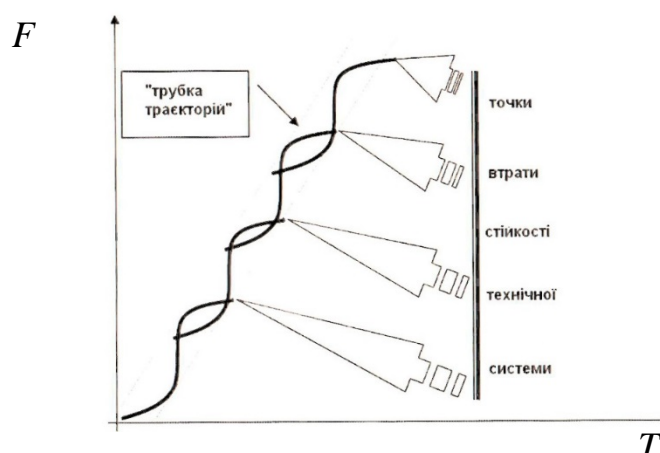


Рис. 6 Трубка траєкторій сталого розвитку системи

Спроможність системи залишитися у області власних для неї значень основних параметрів стану називають *живучістю* системи, а вміння пристосовуватися до зовнішніх впливів зветься *адаптацією*.

Запорукою адаптивності системи є спроможність змінювати свою структуру та функції.

Адаптація - це один з критеріїв самозбереження у разі втрати стійкості. Формами пристосованості системи до змін умов її функціонування є розвиток, а джерелом - модифікація з залученням нових прогресивних принципів дії системи, що має наслідком зміну поколінь техніки, технологічних укладів, організаційних форм та інших масштабних інновацій.

Характерний приклад тривалого розвитку основних характеристик чотирьох поколінь бойових балістичних ракет [6], які розроблялися протягом багатьох десятиріч в Конструкторському бюро «Південне», приведено ми рис. 7.

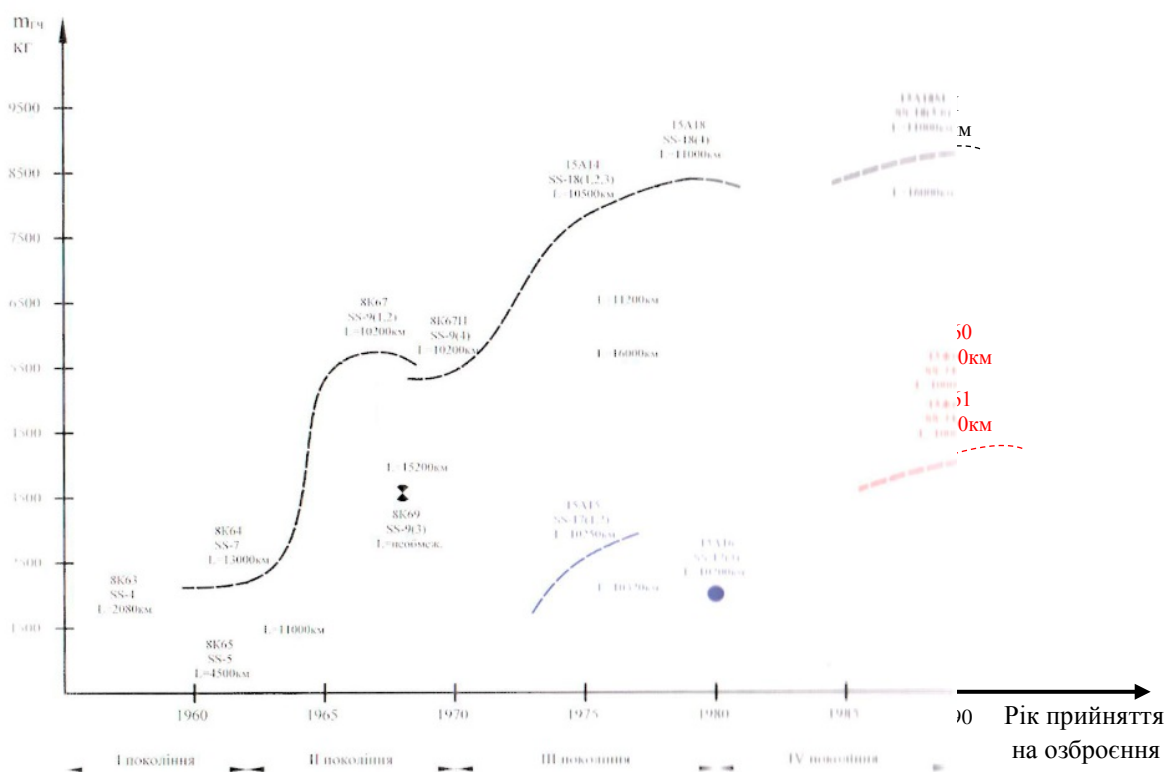


Рис. 7 . Розвиток основних характеристик бойових балістичних ракет розробки Конструкторського бюро «Південне»

Порівнюючи у часі змінення маси головної частини ($m_{гч}$), як однієї з найголовніших цільових функцій системи, та характеристики дальності стрільби (L), можна бачити сигнатури життєвих циклів поколінь ракет і та стійкий поступальний розвиток системи ракетних озброєнь в цілому.

Перелік посилань до теми

1. Сердюк В. К. Проектирование средств выведения космических аппаратов: учеб. пособие для вузов / под ред. А.А. Медведева. М: машиностроение 2009, 504 с.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Dua_Vee_Model
3. <http://agilemanifesto.org.org/>
4. <https://www.aiaa.org/uploadedFiles/Eveles/Conferences/2012>
5. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б. Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении. - М.: Машиностроение, 2012. - 568 с.
6. Проектирование, конструирование ракет, космических аппаратов и их систем. Учебные программы / под общей редакцией академика А.В. Дегтярева - ГП КБ «Южное», РКУИЦ, Днепр, 2018, 79 с

7 ЗАКОНОМІРНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ СИСТЕМ

7.1 Про хвильову динаміку світових системних перетворень

Одним з найважливіших сучасних факторів, які визначають її конкурентоспроможність продукції, є розвиток інноваційних технологій в системі глобальних економічних зв'язків. Транснаціональні корпорації провідних індустріальних країн вже зараз по суті «окупували» швидкозростаючий ринок динамічного обміну технологіями та послугами,

З загальної кількості найпередовіших макротехнологій, що забезпечують розробку такої наукоємної продукції як ракетно-космічна техніка, розвиненими країнами контролюється ~ 4/5 світового виробництва [1]. Для дослідження закономірностей розвитку вказаних технологій призначена інноватика.

Як самостійна наука інноватика зародилася ще в часи досліджень причин економічних криз капіталістичної економіки з метою пояснення факторів хвильової динаміки економічного зростання та задля пошуку засобів антикризового регулювання. Дослідження показали, що сталий розвиток більшості створених людиною систем в рамках тієї чи іншої цивілізації або держави має циклічні закономірності.

Усі цикли розвитку (ідеологічні, соціально-політичні, технологічні) відбивалися і відбиваються на хвильовій динаміці економічного зростання. Кожен з таких циклів, як правило, завершувався кризою, після чого наставала зміна принципів системи і організація її переходу на нову S-подібного криву розвитку до чергової кризи. Вперше вказані перетворення дослідив статистично М. Д. Кондратьєв¹.

7.2 Емпірична хвильова модель М. Д. Кондратьєва

Циклічні коливання (або *K*-хвилі) М. Д. Кондратьєва (1802-1018) являють собою підйоми та спади рівнів ділової активності, які слідуєть один за одним на протязі деякого періоду часу.

Згідно з результатами дослідження М. Д. Кондратьєва, найбільш ймовірні при-
близні межі великих циклів такі:

- 1) Підвищувальна хвиля першого циклу – з кінця 80-х початку 90-х років XVIII ст. до періоду 1810 ... 1817pp.;
- 2) Понижувальна хвиля першого циклу – з 1810 ... 1817pp. до 1844 ... 1851 pp.;
- 3) Підвищувальна хвиля другого циклу – з 1844 ... 1855pp, до 1870 ... 1875pp.;
- 4) Понижувальна хвиля другого циклу – з 1870 ... 1875pp до 1890 ... 1896pp.;
- 5) Підвищувальна хвиля третього циклу – з 1891 ... 1896pp. до 1914 ... 1920pp.;
- 6) Ймовірна понижувальна хвиля третього циклу – з 1914 ... 1920pp.

Періодичність вказаних циклів складає 54±5 років.

¹Кондратьєв М. Д. Большие циклы конъюнктуры//Вопросы конъюнктуры. 1925. Т. 1.

В теоретичному узагальненні основними елементами внутрішнього механізму довгого циклу по М. Д. Кондратьєву є такі:

- рівновага «основних капіталістичних благ» (виробнича інфраструктура +кваліфікована робоча сила) з усіма факторами господарського та суспільного життя, які разом визначають даний технічний спосіб виробництва. Коли рівновага порушується, виникає необхідність у створенні нового запасу «капіталістичних благ»;
- оновлення «основних капітальних благ» відбувається не поступово, а товчками і вирішальну роль при цьому *відіграють науково-технічні винаходи і нововведення*. Заміна «основних капітальних благ» потребує накопичення ресурсів і коли вони стають достатніми, виникає можливість радикального інвестування, що виводить економіку на новий підйом;
- *тривалість довгого циклу визначається середнім терміном життя \ виробничих інфраструктурних споруд*, які є одним з основних елементів капітальних благ суспільства.

7.3 Циклічні фактори розвитку Й. Шумпетера

Аналізуючи «К-хвилі» М. Д. Кондратьєва, австроамериканський економіст Йозеф Шумпетер² виділив імпульси нововведень, які створюють коливання усієї економічної системи. Пізніше до них було додано фактор «технологічного пату³», що виникає при користуванні пропорційним інвестуванням усіх галузей економіки, без виділення пріоритетних інноваційних напрямків забезпечення технологічних проривів для створення конкурентоспроможної продукції.

По Й. Шумпетеру ринкова економіка і відповідно *виробництво передової техніки не може розвиватися без інноваційної діяльності, реорганізації виробничих і організаційних структур*. Кожне значуще нововведення визиває хвилю росту ефективності не тільки техніки і технології, але безпосередньо впливає на структуру попиту, умови формування цін та конкуренцію.

Й. Шумпетер одним з перших висунув ідею про трициклічну схему процесів коливань в економіці:

- найдовшими є цикли М. Д. Кондратьєва (з періодами 47...60 років);
- цикли Жугляра (з періодами ~10 років) та;
- цикли Кітчина тривалістю 3 роки і 4 місяці.

Усі три рівня циклів взаємопов'язані та взаємозалежні і характеризують різні гармоніки складного хвильового процесу.

²Scumpeter J. Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. N.Y.-L.,1939

³Mensh G. Stalemate in Technology: Innovation Overcome the Depression. Cambridge, Mass., 1979.

7.4 Модель ділового циклу «Самуельсона - Хікса»

На основі теорії довгих циклів М. Д. Кондратьєва та економічних циклів Й. Шумпетера у 70-80 рр. ХХ ст. декількома нобелівськими лауреатами були розроблені спеціальні економічні теорії щодо забезпечення політики технічного і економічного зростання за допомогою інноваційних перетворень. Це наприклад, модель «Самуельсона-Хікса». В ній закономірності динаміки хвилеподібного характеру середньої тривалості формулюються як проблеми ділового циклу.

Для аналізу підвищувальної півхвилі інноваційної економіки рекомендовано використовувати так зване «рахівництво економічного зростання»⁴. Його сутність визначається рівнянням виробничої функції лінійного виду:

$$\Delta Q = \frac{3}{4\Delta L} + \frac{1}{4\Delta K} + \text{НТП},$$

де ΔQ - зростання продукції;

ΔL - збільшення робочої сили;

ΔK - зростання капіталу;

НТП - ефект науково-технічного прогресу.

Науково-технічний прогрес сприяє покращенню виробничих функцій (рис. 1).

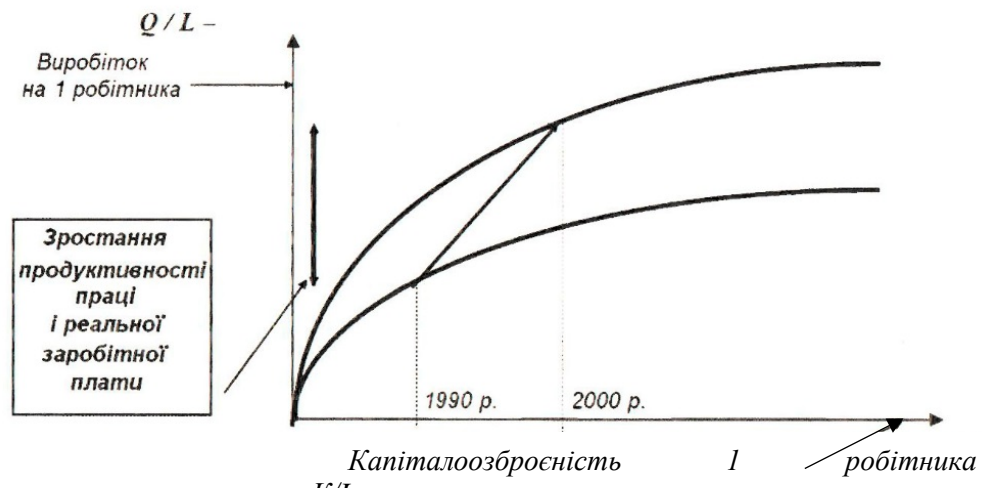


Рис. 1 Зсув виробничої функції вгору під дією науково-технічного прогресу

Приведена закономірність свідчить, що основним позитивним проявом науково-технічного прогресу є зростання продуктивності праці і реальної зарплатної плати при збільшенні капіталовкладень на одного працівника. Для сталого розвитку будь-якої систем першочергово слід вирішувати конкретні задачі застосування інноваційних перетворень, які орієнтовані на зміну технічних принципів та технологічних укладів.

⁴ Самуельсон Пол А., Нордхаус Вільям Д. Економіка. М.: Изд-во «Біном-КноРус»

7.5 Модель розвитку інноваційної економіки П. Ромера

Крім моделі Самуельсона - Хікса іншим прикладом моделювання процесів інноваційної діяльності є модель П. Ромера⁵. В її основу покладено з трисекторна математична модель економічного зростання (рис. 2).



Рис. 2. Блок-схема трисекторної моделі економічного зростання Ромера

В першому «дослідницькому секторі» в наслідок концентрації у ньому «людського капіталу» (НА) та існуючого запасу знань (А) утворюється нове знання, яке потім матеріалізується у вигляді нових технологій.

Організації (підприємства, установи) наступного сектору отримують набуті в дослідницькому секторі знання для створення технологічного обладнання (засобів технологічного оснащення). Як свідчить практика, кожне підприємство другого сектору є монополістом, бо володіє патентним захистом.

Третій сектор на основі засобів виробництва x , створених у другому секторі, а також витрат праці L і людського капіталу H_Y забезпечує випуск кінцевої продукції (предметів праці) споживацького призначення (Y).

Модель Ромера припускає, що людський капітал розподіляється між дослідницьким сектором та сектором, який випускає продукцію, а проміжний сектор 2 не має свого «людського капіталу». Організації цього сектору використовують і оплачують результати праці вчених, які створюють нові технологічні розробки. Разом з тим, згідно з моделлю Ромера рішення про розробку і випуск нових засобів праці приймається саме організаціями другого сектору з урахуванням витрат на придбання нової технології та інших витрат.

7.6 Закон змінений технологічних укладів

Технологічні уклади – це цілісні комплекси технологічно сполучених виробництв, періодичний процес заміщення яких визначає «довгохвильовий» ритм технічного і економічного зростання. Кожна з «довгих хвиль» формувала свій технологічний уклад (рис. 3).

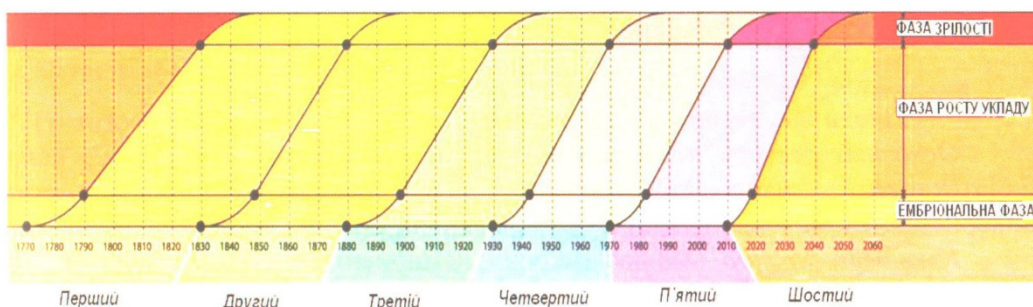


Рис. 3 Шість технологічних укладів

Характерні ознаки кожного укладу такі.

Перший технологічний уклад

Основний ресурс - енергія води.

Головна галузь - текстильна промисловість.

Ключовий фактор - текстильні машини.

Досягнення укладу - механізація фабричного виробництва.

Другий технологічний уклад

Основний ресурс - енергія пари, вугілля.

Головні галузі - транспорт, чорна металургія.

Ключовий фактор - паровий двигун, парові приводи станків.

Досягнення укладу - зростання виробництва, розвиток транспорту.

Третій технологічний уклад

Основний ресурс - електрична енергія.

Головні галузі - важке машинобудування, електротехнічна промисловість

Ключовий фактор - електродвигун.

Досягнення укладу - концентрація капіталу, поява радіозв'язку, телеграфу, стандартизація виробництва.

Четвертий технологічний уклад

Основний ресурс - енергія вуглеводнів, початок ядерної енергетики.

Головні галузі - автомобілебудування, кольорова металургія, нафтопереробка, синтетичні полімерні матеріали.

Ключовий фактор – двигун внутрішнього згоряння, нафтохімія.

Досягнення укладу – масове та серійне виробництво (в т.ч. літаків, ракет, космічних апаратів та космічних кораблів).

П'ятий технологічний уклад

Основний ресурс – атомна енергетика.

Головні галузі – електроніка та мікроелектроніка, телекомунікації, інформаційні технології, програмне забезпечення, генна інженерія, ракетно- космічна техніка.

Ключовий фактор - мікроелектронні компоненти.

Досягнення укладу - індивідуалізація виробництва та споживання, глобалізація, освоєння космічного простору.

Шостий технологічний уклад

(ознаки нового шостого укладу мають здебільше характер прогнозу)

Основний ресурс – молекулярна, клітинна та ядерна технології, нано- і біотехнології, наноенергетика та інші нанорозмірні виробництва, використання ствольних клітин, інженерія живих тканин і органів та ін.

Ключовий фактор – мікроелектронні компоненти.

Досягнення укладу – різке зниження енергоємності та матеріалоємності виробництва (в т. ч. завдяки адитивним технологіям), конструювання матеріалів та організмів з заздалегідь заданими властивостями, позаземні поселення, суттєве збільшення тривалості життя та ін.

На 2010 рік частка виробничих потужностей п'ятого технологічного укладу в найбільш розвинених країнах складала ~60%, четвертого –20%, а шостого – біля 5% [2]. Згідно з розрахунками вчених шостий технологічний уклад в означених країнах фактично розпочнеться у 2020 роках.

7.7 Глобальні проблеми безпеки людства та роль РКТ у їх вирішенні

До початку XXI сторіччя наша цивілізація стикнулася з появою глобальних проблем, які можуть загрожувати самому існуванню людства на Землі. Ці проблеми виникли внаслідок різних чинників, в т.ч. завдяки інтенсивному розвитку науки та техніки. До основних з них відносяться:

- можливі локальні та глобальні термоядерні катастрофи;
- - забруднення (в т.ч. радіоактивне) поверхні Землі, атмосфери та навколоземного космічного простору;
- виснаженість невідновлюваних енергоресурсів;
- скорочення земель сільськогосподарського призначення;
- змінення озонового шару атмосфери;
- метеоритна небезпека;
- стихійні лиха та ін.;

На рис. 4 надано прогноз зростання глобальних проблем, які можуть реалізуватися у XXI сторіччі, при умові, що не будуть прийняті необхідні засоби протидії [3]. Якщо існуючі негативні тенденції збережуться, то до 2060-х років це може призвести до критичного стану, а в 2060-2100-х роках наступить катастрофа.

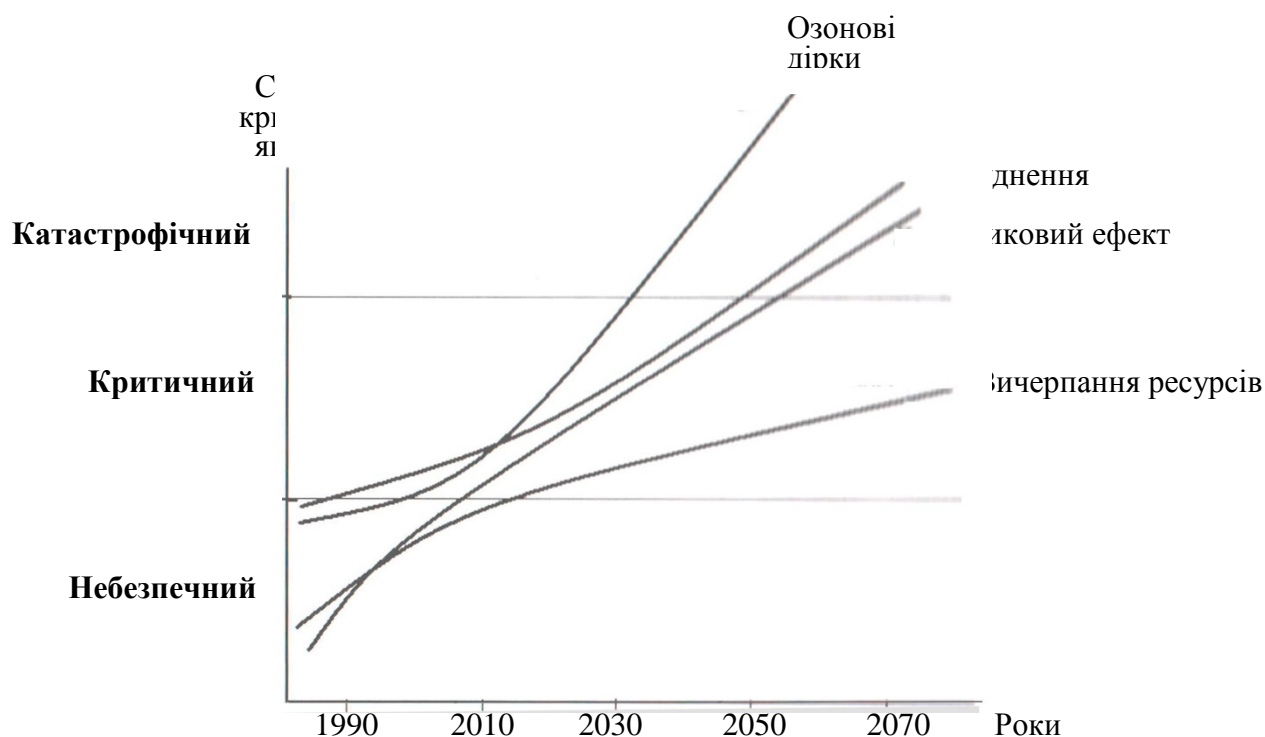


Рис. 4 Глобальні проблеми людства

Вказані перспективи жахливі і людство уже зараз починає розуміти необхідність запровадження збалансованих підходів до свого подальшого розвитку.

Згідно з системною методологією загальна проблема глобальної безпеки може бути розділена на такі складові:

- техногенна;
- природна (стихійна);
- воєнно-політична;
- економічна.

Як свідчить аналіз, *ракетно-космічні технічні засоби*, хоча і являють собою одне з руйнівних джерел, вже зараз відіграють важливу, а в деяких випадках навіть ключову роль і в перспективі можуть стати основою побудови всесвітньої, комплексної системи забезпечення глобальної безпеки світового співтовариства. Зокрема:

-техногенно-глобальний моніторинг, попередження та оповіщення про промислові аварії, різного роду забруднення та інші катастрофи на Землі, в атмосфері та в навколоземному космічному просторі, а також забезпечення метеоритної безпеки;

- зменшення воєнно-політичного протистояння держав шляхом використання спільних чи національних (під егідою ООН) систем спостереження і контролю за виконанням договорів про скорочення озброєнь та військовою діяльністю держав;

- економічно-інформаційне та науково-технічне забезпечення збалансованого розвитку економічної діяльності в усіх сферах (промисловість, сільське господарство, енергетика та ін.).

Виконання вказаних задач є чи не єдиною надією людства щодо подальшого сталого розвитку, або навіть *виживання нашої цивілізації*⁶.

Крім того, як передбачав ще К. Е. Цюлковський, завдяки РКТ люди у майбутньому зможуть освоювати і заселяти нові простори Всесвіту.

Перелік посилань

1. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б. Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении. - М.: Машиностроение, 2012.

2. Livejournal.com/24586.html

3. Сепкевич В.П. Космонавтика: Системный анализ. Информация. Прогнозы, - Королев, М.О.: ЦНИИМАШ, 1996.

8 СИСТЕМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ

8.1 Дизайн vs менеджмент

Одне з визначень системної інженерії згідно і виданням NASA [1], сформульоване наступним чином:

Системна інженерія - це методологічний міждисциплінарний підхід до проектування та конструювання, реалізації, технічного менеджменту, експлуатації та утилізації системи (Systems engineering is a methodical, disciplined approach for the design, realization, technical management, operation, and retirement of a system).

Системну інженерію взагалі слід розглядати у контексті взаємопов'язаних процесів системного дизайну та його технічної організації, управління і контролю втілення проекту в цілому.

За успішність технічної розробки системи відповідальність несе *системний керівник проекту (інженер-системник)*. Саме він забезпечує виконання усіх вимог до системи в частині *системного дизайну (архітектури проекту)* - наприклад, щоб ракета полетіла, ризики можливих відмов ракетних підсистем були мінімальними і таке ін. Для здійснення цього ним (та його командою) можуть бути використані також управлінські *можливості системної інженерії менеджменту*, такі як остаточний вибір тих чи інших технічних рішень, застосування тих чи інших методів проектування та/або виробництва тощо. На рис. 1 схематично представлені сигнатури декількох поколінь інженерії, які показують розвиток, удосконаленням та прогноз на майбутнє методологій системного дизайну технічних виробів [2].

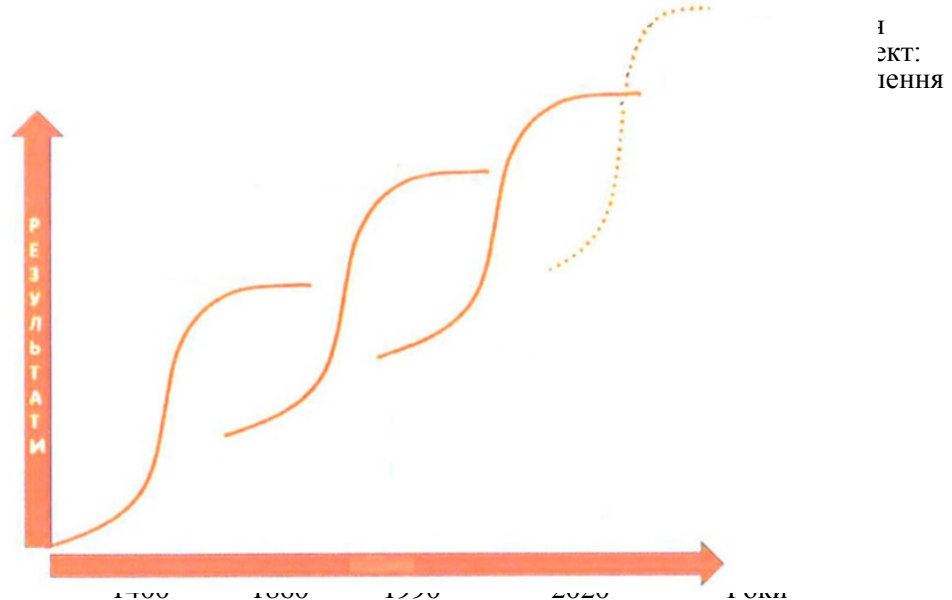


Рис. 1 Розвиток та удосконалення методологій системного дизайну

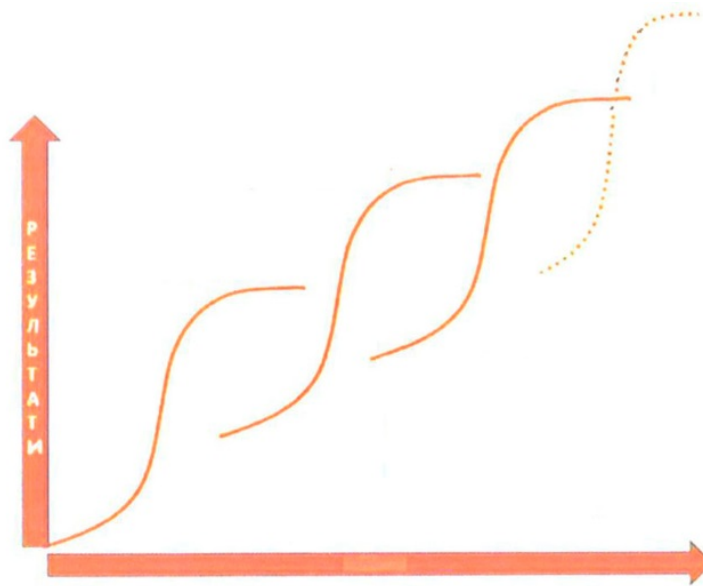


Рис. 2 Покоління управлінських практик

На відміну від інженера-системника на керівника здійснення проекту в цілому покладаються дещо інші управлінські функції. Цей *технічний управлінець (операційний менеджер)* відповідає за терміни виконання робіт, усю логістику, бюджет тощо. До задач, які ним вирішуються, належать також виявлення та оцінка усіх можливих організаційних ризиків. Там, де це необхідно, він може додати ресурсів (фінансових, людських, матеріальних) або збільшити заплановані терміни і метою зменшення чи усунення вказаних ризиків. Покоління *управлінських практик (технологій, методів)*, що історично склалися, показані у він виді сигнатур на рис. 2.

Безумовно, *системний інженер і операційний менеджер мають співпрацювати у проекті тісно і злагоджено*. Вони обидва є головними, але за різними питаннями.

8.2 Загальна характеристика сучасних практик управління проектом

Проектне управління за будь-якою методологією має турбуватися про те, аби запланувати і виконати якусь цілеспрямовану роботу, що обмежена у часі і ресурсах. Усі проекти, як правило, вважаються унікальними, мають терміни свого початку і закінчення та завжди пов'язані з необхідністю використання підготовлених людей, необхідних матеріалів і відповідного оснащення.

Однією з найголовніших задач проектного управління складання якомога кращого графіку майбутніх робіт.

Хоча розуміння управління в різних школах відрізняється, але всі вони схиляються до того, що роботи треба обов'язково попередньо (up front) планувати, а потім виконувати план у тому вигляді, в якому його задумали

Сітьове планування

У сітьовому плануванні (яке з'явилося першим і широко застосовується донині) було запропоновано складати графіки у вигляді «сіток», що в значній мірі поліпшувало контроль заздалегідь відомої послідовності робіт. Завдяки цим графікам можна було знайти «критичний шлях», тобто ланцюжок попередньо визначених робіт, затримка кожної з яких призводи до затримки усього проекту у цілому.

Як приклад організації сітьового планування при розробці РКТ можна розглянути документ [3]. Згідно з ним на початку розробки проекту первісна оцінка та планування не виконується укрупнено, тобто розклад проекту не передбачає детального розподілення робіт і операцій. Такий Генеральний сітьовий графік (рис. 3), який об'єднує в собі тільки етапи за підетапи і терміни їхнього виконання, є зручний тим, що у збільшеному масштабі спроможний оцінити об'єми і терміни створення кінцевого продукту для передачі його Замовнику.

Детальне планування, розподілення операцій, послідовності виконання та відповідальності здійснюється на наступних етапах, в таких документах, зокрема, як сітьовий план-графік випуску робочої конструкторської документації (рис. 4).

Название задачи	Длительность дни	Начало	Окончание	Годы											
				2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020			
Этап 1. Эскизный проект (ЭП)	293	Чт 08.11.12	Пн 20.12.13	8.11		20.12									
Этап 2. Технический проект (ТП)	231	Чт 02.01.14	Чт 20.11.14		02.01		20.11								
Этап 3. Проведение первоочередных испытаний	650	Вт 26.03.13	Пт 18.09.15	26.03			18.05								
Этап 4. Разработка конструкторской документации (РКД)	283	Вт.21.10.14	Пт.20.11.15		21.10		20.11								
Этап 5. Подготовка производства	689	Ср.ср.05.15	Пн.21.08.17				20.05		21.08						
Этап 6. Наземная экспериментальная отработка (НЗО) РКН	1003	Ср.ср.05.15	Пн.22.03.19				20.05						22.03		
Этап 7. Строительство Наземного комплекса(СК, ТК, ТК КА, ГБ, СН объекты общего назначения, объекты жилищного и др.) изготовление, поставка и отработка НТО и ЭЗМ	1296	Ср.ср.05.15	Ср.06.05.20				20.05								06.05
Этап 8. Летные испытания (ЛИ)	1186	Ср.ср.05.16	Вт.06.04.21					20.09							

Рис. 3 Сегмент Генерального сітьового графіку

Назначение задачи	Исполнитель (участники)	Потребитель	Начало	Окончание	2014												2015											
					01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
АКРК-2			Пн 20.10.14	Пт 06.11.15																								
АКРК-2. Спецификация	101 (КБ-2, 3, кс-5)		Ср 01.04.15	Пт 21.08.15																								
АКРК-2. Схема деления структурная	103		Пт 21.11.14	Пт 21.08.15																								
Выдача ИД (текстовые и иллюстративные материалы) материалы для выпуска технического описания на АКРК-2	101, 162, 372, 375, 376	30	Пт 21.11.14	Пт 29.05.15																								
АКРК-2. Техническое описание – ТО	30		Пт 21.11.14	Пт 21.08.15																								
Разработка «Решения о составе, порядке и сроках разработки, поставки и практической проверки ЭД «АКРК-2»	162		Пт 21.11.14	Пт 30.12.14																								
Разработка «План-графика выпуска комплексной ЭД «АКРК-2»	162		Пт 21.11.14	Пт 30.12.14																								
Разработка «Положения о порядке разработки, согласования, проверки, отработки и введения в действие ЭД на КРК «АКРК-2»	162		Пт 21.11.14	Пт 30.01.15																								
Выпуск «Программы отработки и проверки эксплуатационной документации АКРК-2»	162		Пт 15.12.14	Пт 21.08.15																								
Выпуск «Программы эргономической экспертизы АКРК-2»	162 (КБ-2, 3, 4, 5, 6, кс-5)		Пт 21.11.14	Пт 21.08.15																								
Выпуск «Мероприятий по снятию комплекса с эксплуатации и предложений по порядку утилизации составных частей АКРК-2»	162 (КБ-1, 3, 4, 5, 6, кс-5)		Пт 21.11.14	Пт 21.08.15																								
Выпуск «Программы обеспечения безопасности при наземной эксплуатации»	162 (КБ-2, 3, 4, 5, 6, кс-1, 2, 5, 9, СО-4, 11, 12, Ц-1)		Пт 15.12.14	Пт 21.08.15																								
Выпуск «Программы обеспечения биозащищенности комплекса АКРК-2»	220 (КБ-2, 3, 4, 5, 6, кс-5, 9, Ц-1)		Ср 10.06.15	Пт 21.08.15																								
Выпуск «Программы обеспечения экологической безопасности АКРК-2»	141		Пн 02.03.15	Пт 21.08.15																								
Выпуск «Плана подготовки экспериментальной отработки» - ППЭО	72		Пт 21.11.14	Пн 21.09.15																								
Разработка книги-справочника. «Применяемые материалы и типовые технологии». Том 1. Неметаллические материалы	717		Чт 01.01.15	Чт 30.04.15																								
Разработка книги-справочника. «Применяемые материалы и типовые технологии». Том 2. Металлические материалы	91 (92)		Чт 01.01.15	Чт 30.04.15																								
Выдача ИД для выпуска третьей редакции документа SLS YZH SYS 001 00 «Тактико-техническое задание на АКРК-2»	Кс-1, 2, 5, 9, КБ-2, 3, 4, 5, 6, СО-2, 3, 4, Ц-1, отл.10)	103	Вт 12.05.15	Пт 12.06.15																								
Выпуск третьей редакции документа SLS YZH SYS 001 00 «Тактико-техническое задание на АКРК-2»	103 (Кс-1, 2, 5, 9, КБ-2, 3, 4, 5, 6, СО-2, 3, 4, 10, 11, 12, Ц-1)		Вт 12.06.15	Пт 21.08.15																								
Выдача ИД для выпуска третьей редакции документа SLS YZH SYS 001 00 «Анализ реализации требований ТТЗ»	Кс-1, 2, 5, 9, КБ-2, 3, 4, 5, 6, СО-2, 3, 4, 10, 11, 12, Ц-1)	103	Вт 12.05.15	Пт 12.06.15																								
Выпуск третьей редакции документа SLS YZH SYS 001 00 «Анализ реализации требований ТТЗ»	103 (Кс-1, 2, 5, 9, КБ-2, 3, 4, 5, 6, СО-2, 3, 4, 10, 11, 12, Ц-1)		Вт 12.06.15	Пт 21.08.15																								
Выдача ИД для выпуска третьей редакции документа SLS YZH SYS 001 00 «Основные характеристики АКРК-2»	17, 18, 101, 134, 158, 162, 376	103	Вт 12.05.15	Пт 12.06.15																								
Выпуск третьей редакции документа SLS YZH SYS 002 00 «Основные характеристики АКРК-2»	103 (17, 18, 101, 134, 158, 162, 376)		Вт 12.06.15	Пт 21.08.15																								
Выдача ИД для выпуска третьей редакции SLS YZH SYS 003 00 «Конструкция и основные характеристики АКН»	18, 19, 101, 102, 113, 123, 158, 206, 212, 216, 220	103	Вт 12.05.15	Пт 12.06.15																								

Рис. 4 Приклад план-графіку випуску робочої конструкторської документації

Зведення знань по управлінню проектами (посібник РМВОК¹)

В посібнику РМВОК [4] визначено концепції та падино керівні вказівки по управлінню проектами. Описано також *життєвий цикл управління проектом* і пов'язані з ним процеси.

Посібник РМВОК містить (у додатку) визнаний на світовому рівні офіційний стандарт, в якому надано норми, методи і практики по управлінню проектами.

Посібник РМВОК в цілому також можна вважати стандартом, бо Інститут проектного менеджменту (Project Management Institute *PMI*), який розробив РМВОК, було акредитовано у жовтні 1998 р. в якості розробника стандартів Американським національним інститутом стандартів (American National Standards Institute, *ANSI*).

Цікаво, що у РМВОК для визначення ПОНЯТТЯ «стандарт» посилаються на міжнародну організацію по стандартизації (International Organization for Standardization, *ISO*) та інші організації, де стандарт - це «*документ, що схвалено визнаною установою, яка запроваджує правила, керівні принципи або характеристики продуктів, процесів та послуг для загального і постійного користування, відповідність яким не є обов'язковою*» (ISO/IEC 2:2004) [5].

Основною метою РМВОК, як стандарту, є підвищення ймовірності успіху для широкого діапазону різних проектів шляхом правильного застосування запропонованих в ньому «хороших практик» (знань, процесів, навичок, інструментів, методів). При цьому застерігається, що вказані практики мають, бути не завжди однаково застосовуватися до усіх проектів – команда управління самостійно визначне які практики і як використовувати.

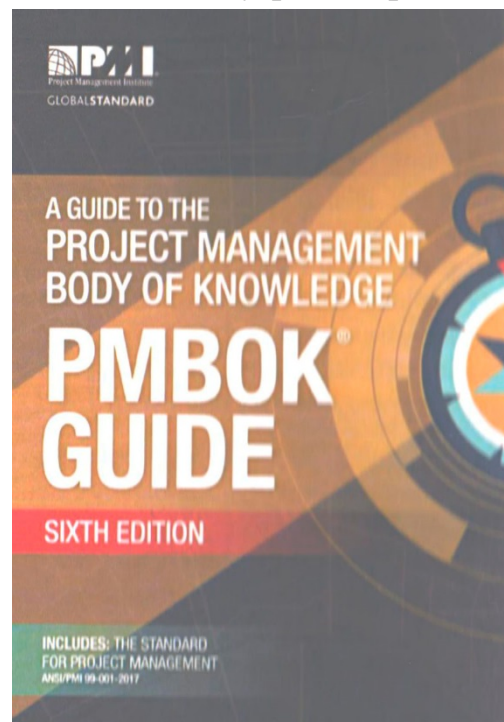
Посібник РМВОК надає і сприяє застосуванню *загального словника термінів* у справі управління проектами, який є суттєвим елементом будь-якої професійної дисципліни.

Зведення знань РМВОК складається з 13-й розділів та додатків.

Вступ (розділ 1) надає поняття проекту, управління проектом та ролі керівника проекту.

Розділ 2 висвітлює вплив організації на управління проектом та характеризує життєвий цикл проекту.

У розділі 3 описуються групи процеси управління проектом (ініціація, планування, виконання, моніторинг і контроль, закриття проекту), а також роль галузей знань у цих процесах.



¹ Project Management Body of Knowledge

Велику увагу в РМВОК приділено управлінню інтеграцією проекту (розділ 4), де розглядаються такі практики:

- розробка уставу проекту;
- розробка плану управління проектом;
- керівництво і управління роботами проекту;
- моніторинг та контроль робіт проекту;
- інтегрований контроль вимірювань;
- закриття проекту або фази.

З точки зору задач, безпосередньо дотичних до системного проектування (до розробки архітектури проекту), основним розділом РМВОК є розділ 5, що має назву «**Управління змістом проекту**». В ньому зазначено *процеси*² (не технічну сутність) здійснення того, щоб проект включав *усі і тільки ті роботи, які забезпечують успішне виконання проекту*.

На рис. 5 надано загальну схему усіх (шести) процесів управління змістом проекту, які включають наступне:

5.1 *Планування управління змістом* - процес створення плану управління змістом, де задокументовано, яким чином зміст проекту буде визначатися, підтверджуватися та контролюватися.

5.2 *Формування вимог* - процес визначення, документування та управління потребами і вимогами зацікавлених сторін для досягнення цілей проекту.

5.3 *Визначення змісту* - процес розробки детального опису проекту і продукту.

5.4 *Створення ієрархічної структури робіт (ICP)* - процес розділення робіт та результатів проекту на менші компоненти, якими легше управляти.

5.5 *Підтвердження змісту* - процес формалізованого приймання отриманих результатів проекту.

5.6 *Контроль змісту* - процес моніторингу поточного стану змісту проекту, а також управління зміненнями базового плану змісту проекту.

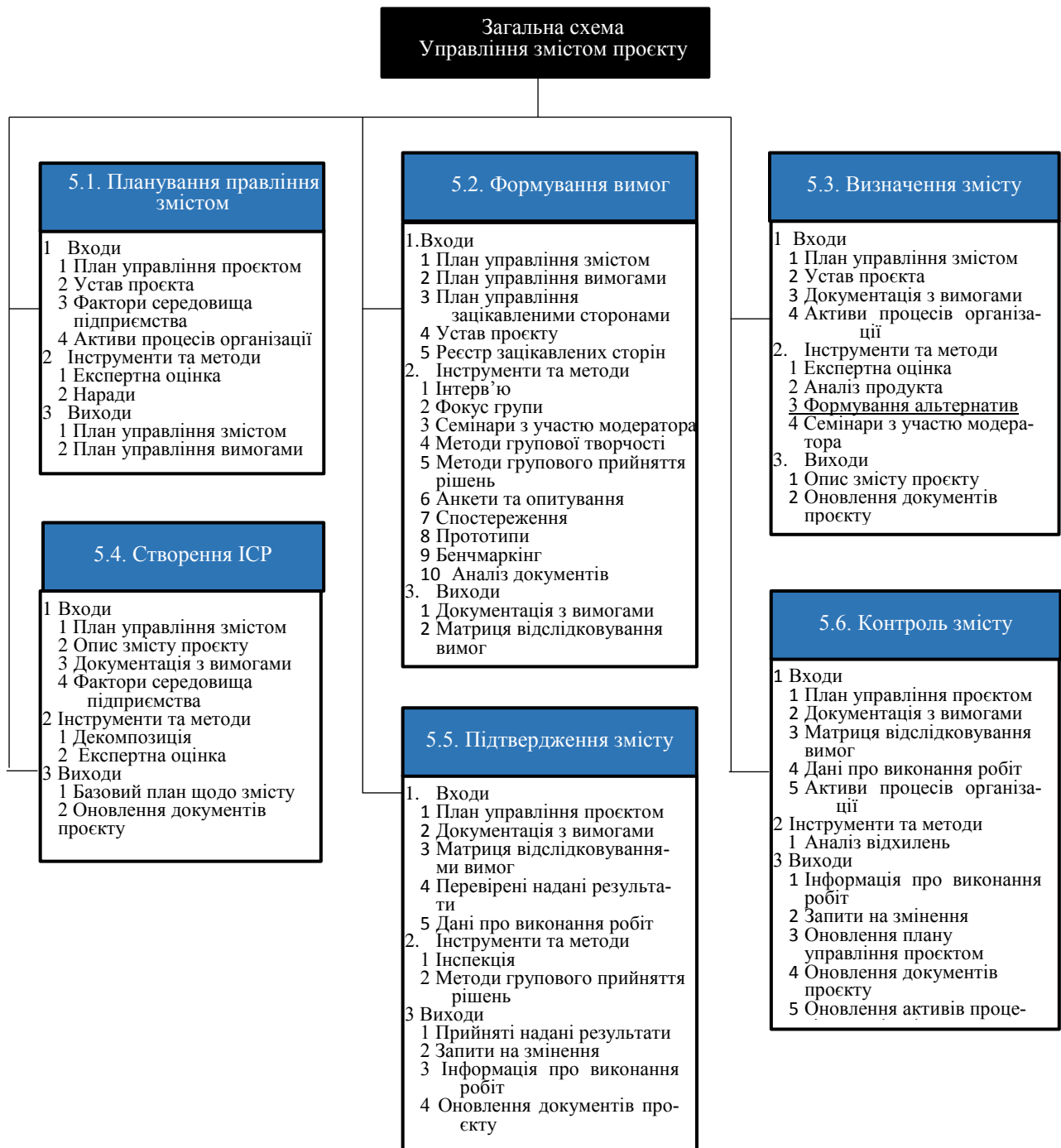


Рис. 5 Загальна схема процесі управління змістом проекту
(згідно з розділом 5 РМВОК)

Шостий розділ РМВОК присвячено процесам управління термінами робіт, спрямованим на забезпечення своєчасного виконання проекту. Надано приклади можливих розкладів проекту, в т.ч. у вигляді сітьових діаграм.

Розділ 7 «Управління вартістю проекту» включає в себе процеси, необхідні для планування, оцінок, розробки бюджету, залучення фінансування, фінансування, управління і контролю вартості. Вказані процеси необхідні для виконання проекту в рамках схваленого бюджету. Компоненти бюджету показано на рис. 6.

Бюджет проекту	Управлінський резерв		Контрольні рахунки	Резерв на можливі витрати	
	Базовий план по вартості	Резерв на можливі витрати		Оцінка вартості пакетів робіт	Резерв на можливі втрати операцій

Рис. 6 Компоненти бюджету проекту

Приведене в розділі 8 управління якістю проекту має на меті забезпечення відповідності вимогам до проекту, включаючи вимоги до продукту, а також підтвердження такої відповідності. Основними процесами управління якістю проекту є:

- планування управління якістю;
- забезпечення якості;
- контроль якості.

Процеси організації і управління командою проекту (персоналом проекту) включені у розділ 9 РМВОК. Не дивлячись на те, що члени команди призначаються на певні конкретні ролі та сфери відповідальності, *участь усіх членів команди у плануванні проекту та прийнятті рішень є доцільною для проекту*. Наголошується на важливості *постійної освіти персоналу та чіткої і справедливої системи визнання заслуг та винагородження*.

Розділ 10 торкається управління комунікаціями проекту, процеси яких необхідні для забезпечення своєчасного і належного планування, збирання, створення, зберігання, отримання, управління, контролю, моніторингу і, в кінцевому рахунку, архівування та утилізації інформації проекту. Ефективні комунікації створюють своєрідний місток між різними внутрішніми та зовнішніми сторонами, що можуть мати різні передумови, знання, погляди та інтереси. *Операційні менеджери і системні інженери витрачають велику частину свого часу на здійснення комунікацій з членами команди та іншими зацікавленими сторонами (наприклад, шляхом проведення нарад), або покращити вплив на виконання чи результати проекту*.

Управління ризиками (розділ 11 РМВОК) включає процеси, пов'язані зі здійсненням планування управління ризиками, ідентифікацією, аналізом, плануванням реагування, а також контролем ризиків у проекті. Метою управління ризиками проекту є підвищення ймовірності виникнення і підсилення дії сприятливих подій та

зниження ймовірності виникнення і ослаблення дії несприятливих подій у перебігу реалізації проекту.

У розділі 12 розглянуто процеси управління закупками, які включають особливості закупок та придбання продуктів, послуг або результатів, необхідних для здійснення проекту. При цьому організація може виступати в ролі як покупця, так і продавця. До питань управління закупками проекту входять процеси управління договорами, в т.ч. адміністрування договірних обов'язків, покладених на команду проекту згідно з договором.

Останній (тринадцятий) розділ РМВОК стосується управління зацікавленими сторонами проекту і включає процеси, які необхідні *для виявлення людей, груп та організацій, що можуть впливати на проект або проект може впливати на них*. Це необхідно для аналізу очікувань зацікавлених сторін та розробки відповідних стратегій управління, в т.ч. шляхом своєчасного реагування на проблеми та на можливі конфліктні ситуації. Управління з метою пошуку раціональних (часто компромісних) рішень щодо задоволення інтересів зацікавлених сторін є однією з ключових задач проекту.

Приведений в РМВОК додаток «Стандарт управління проектом» унормовує стисло усі основні положення, викладені в розділах 1... 13.

8.3 Напрямки подальшого розвитку практик управління проектом

Перша версія РМВОК (Project Management Body of Knowledge) була випущена РМІ (Project Management Institute, США) у 1996 році. Наступні видання (в т.ч. шосте, яке вийшло у вересні 2017 року) мало чим відрізняються одне від одного. Але нову, сьому, версію (її випуск планується орієнтовно на 2020 р.) чекають серйозні зміни - вона буде principle-based, тобто *побудована на процесах, а на принципах*.

Справа в тому, що *процеси* управління, якщо вони високого рівня, характеризуються абстрактністю і недостатньою практичністю, а якщо *процеси* детальні, то це робить їх сильно залежними від типу проекту і, таким чином, ймовірно, не прийнятними для усіх. Нині робота над *принципами* РМВОК 7 триває.

Як приклад існуючої управлінської методології, побудованої з застосуванням *принципів*, можна навести метод проектного менеджменту PRINCE2³®. Він відбиває досягнення багаторічної практики управління проектами Офісом Урядової Комерції (OGS) Великобританії. У центрі уваги цього методу знаходяться 7 принципів, 7 процесів та 7 тем. *Темами є*: економічне обґрунтування, організація, якість, плани, ризики, зміни (інциденти) та прогрес. До *процесів належать*: початок проекту, керування проектом, ініціація проекту, контроль стадій, управління створенням продукту, управління межами стадій та закриття проекту.

Як принципи прийнято такі:

- постійна оцінка доцільності проекту протягом усього життєвого циклу;
- обов'язкове врахування попереднього досвіду проектування;
- чітке визначення ролі та обов'язків членів проектною командою;
- планування, супровід і контролювання проектів PRINCE2 згідно зі стадіями розробки;

- управління допускає виключення (вихід за межі делегованих повноважень);
- акцент на продуктах (на їх визначенні, створенні і вимогах щодо якості);
- адаптація проекту до зовнішніх умов (важливості, розміру, складності та ризиків).

Загальне уявлення про складові методології PRINCE2 показано на рис. 7.

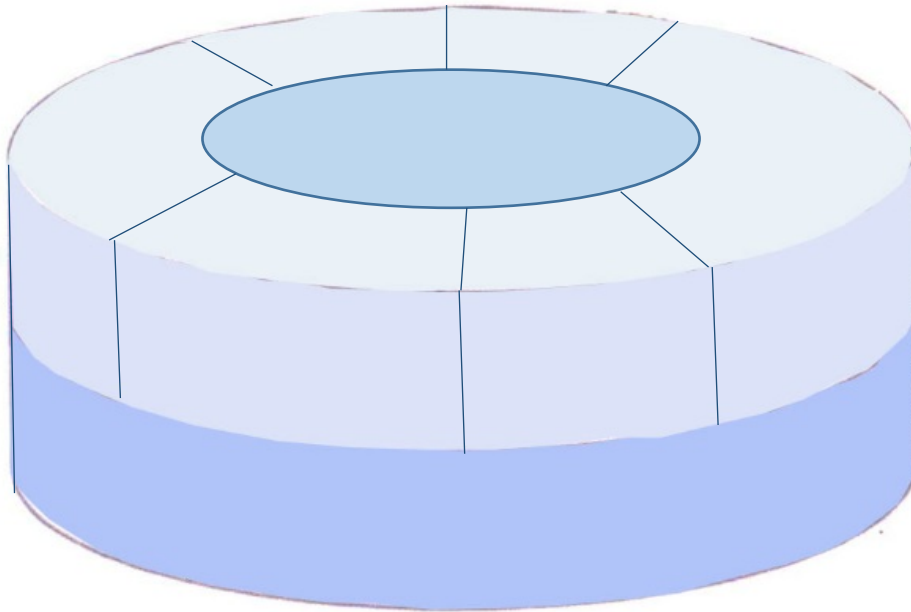
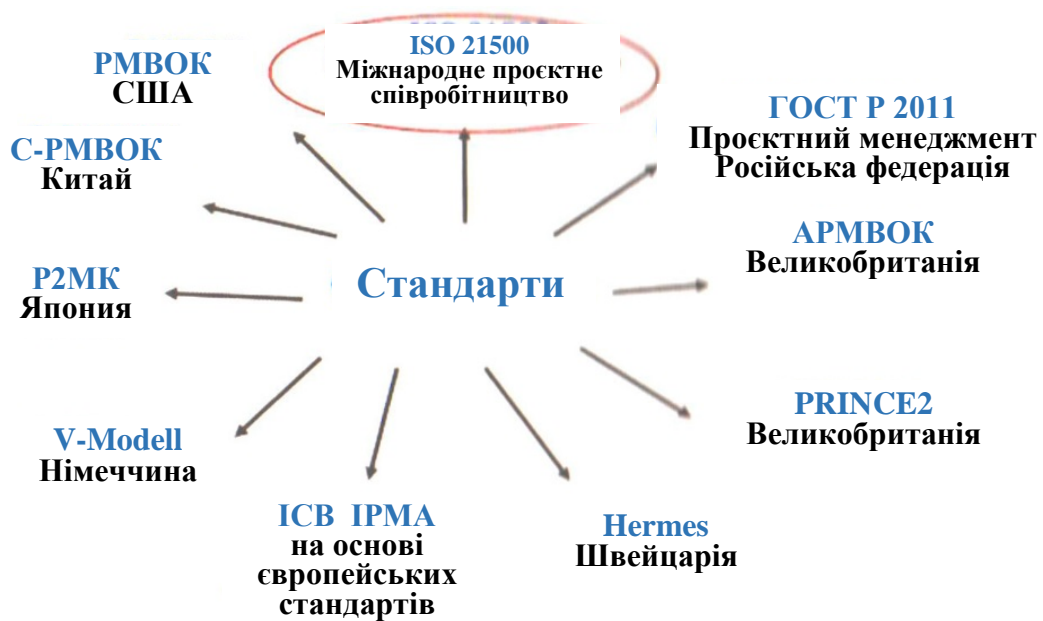


Рис. 7 Схема будови методу проектного менеджменту PRINCE2

Найсучасніші управлінської методології орієнтовані на *розгляд усіх проектів для даної сукупності наявних ресурсів*, тобто проектів усього підприємства в цілому, а не окремих тем чи напрямків. Основна причина - немає іншого способу управляти проектами, як переорієнтовувати ресурси з одних проектів на вирішення критичних задач інших проектів. Це методи так званого «третього покоління» (див. рис. 4, вище), серед яких Project & Program Management (P2M), Theory of Constraints (TOC) та ін.

Для довідки нижче надано країни розробники основних сучасних стандартів (практик) по управлінню проектами.



Перелік посилань

1. Systems Engineering Handbook. NASA/SP-2007-610.5 Rev1.
2. Левенчук А. И. Системно-инженерное мышление. М.: TechInvestLab, 2015. 305с.
3. Положение по управлению проектом в структуре ГП "КБ "Южное", GEN YZH MAN 777 00 (проект 2016 г.).
4. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®). - Пятое издание. Project Management Institute, Inc., Pennsylvania 19073-3299 USA, 2013.586с.
- 5 International Standards Organization. 2004. ISO/IEC 2:2004. Standardization and Related Activities – General Vocabulary. Geneva, Switzerland: ISO.