

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

В.С. Кривцов, Ю.А. Воробйов, С.І. Планковський

ТЕОРІЯ Й ПРАКТИКА ВИРІШЕННЯ ВІНАХІДНИЦЬКИХ ЗАВДАНЬ

Навчальний посібник

Харків "ХАІ" 2008

УДК 001. 894 (075. 8)

Кривцов В.С. Теорія й практика вирішення винахідницьких завдань: навч. посібник / В.С. Кривцов, Ю.А. Воробйов, С.І. Планковський. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2008. – 94 с.

Наведено основні положення ТРВЗ: закони розвитку технічних систем; найбільш відомі методи технічної творчості; прийоми розв'язання технічних протиріч; аналіз, використання фізичних та інших ефектів; вирішення дослідницьких завдань. Численні приклади й навчальні завдання ілюструють викладений матеріал і сприяють його більш ефективному засвоєнню.

Для студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання. Може бути корисним і студентам нетехнічного профілю.

Іл. 20. Табл. 3. Бібліогр.: 35 назв

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. В.Г. Чистяк, доц. В.І. Заєць

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2008 р.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ.....	4
ВСТУП.....	5
1. ТЕХНІЧНА СИСТЕМА, СИСТЕМНИЙ ПІДХІД	6
2. МЕТОДИ АКТИВІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОЇ ТВОРЧОСТІ.....	14
2.1. Метод спроб і помилок.....	17
2.2. Метод «мозкового штурму»	19
2.3. Метод синектики	23
2.4. Метод фокальних об'єктів.....	25
2.5. Метод морфологічного аналізу.....	26
2.7. Метод контрольних запитань.....	32
2.8. Структура ТВВЗ	34
3. ЗАКОНИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ.....	37
3.1. Етапи розвитку технічних систем	38
3.2. Закон повноти частин технічної системи	42
3.3. Витиснення людини з технічної системи	44
3.4. Закон збільшення ступеня ідеальності	46
3.5. Закон наскрізного проходження енергії	57
3.6. Розгортання-згортання технічних систем	58
3.7. Підвищення динамічності й керованості технічних систем	64
3.8. Закон випереджального розвитку робочого органа	67
3.9. Закон переходу «моно-бі-полі».....	68
3.10. Перехід технічних систем на мікрорівень. Використання полів	70
3.11. Узгодження-неузгодження технічних систем	73
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	91

СКОРОЧЕННЯ

ТВВЗ	–	теорія вирішення винахідницьких завдань
МСіП	–	метод спроб і помилок
ТС	–	технічна система
РО	–	робочий орган
Тр	–	трансмісія
Дв	–	двигун
ДЕ	–	джерело енергії
Е	–	енергія
Р	–	речовина
І	–	інформація
ГКФ	–	головна корисна функція
ДМП	–	десятькова матриця пошуку
АВВЗ	–	алгоритм вирішення винахідницьких завдань
ЗРТС	–	закон розвитку технічних систем
ІКР	–	ідеальний кінцевий результат
М	–	маса
Г	–	габарити
ЕЄ	–	енергоємність
НС	–	наукова система
МА	–	морфологічний аналіз

ВСТУП

Визначальним фактором науково-технічного прогресу є безперервне відновлення технічних засобів і технологій виробництва – створення, розробка, освоєння і введення в експлуатацію нової техніки. Саме нова техніка, яка створюється на основі наукових ідей, що з'являються, досліджень і технічних досягнень, забезпечує в сучасному виробництві істотну частку збільшення продуктивності праці.

Виробництво матеріальних благ потребує, в першу чергу, виробництва нових ідей.

Як людина придумує нове? Звідки беруться ідеї винаходів, раціоналізаторських пропозицій? Чому часом така потрібна їй, здавалося б, очевидна ідея спізнюється на десятиліття, а інші з'являються за сторіччя до їхньої можливої реалізації? Людина стикається зі складною проблемою, постійно подумки шукає рішення, перебираючи варіанти, випробовує, помиляється й, нарешті, знаходить. Це і є метод перебору варіантів або, як його частіше називають, метод спроб і помилок (МСіП) – найдавніший спосіб пошуку нового.

У зв'язку з бурхливим розвитком техніки у другій половині ХХ століття з'явилися спеціальні методики, спрямовані на підвищення ефективності процесу вирішення технічних завдань.

1. ТЕХНІЧНА СИСТЕМА, СИСТЕМНИЙ ПІДХІД

Системні дослідження в останні роки одержали широкий розвиток у всіляких сферах людської діяльності. Існують численні спроби сформулювати, що таке системний підхід, системотехніка, загальна теорія систем, дати цим термінам чітке визначення. Різні автори, однак, використовуючи ці поняття при аналізі проблем, що їх цікавлять, вкладають у них однаковий зміст. У той же час поняття «система» має ключовий характер у ТВВЗ, тому необхідно хоча б коротко зупинитися на основних положеннях системного підходу у випадку інженерної творчої діяльності.

Зміст системного підходу полягає в розгляді будь-якої технічної системи (ТС) як системи взаємозалежних елементів, що утворюють єдине ціле. Найбільш удаюю моделлю системного підходу є системний багатоекранний оператор (рис. 1).

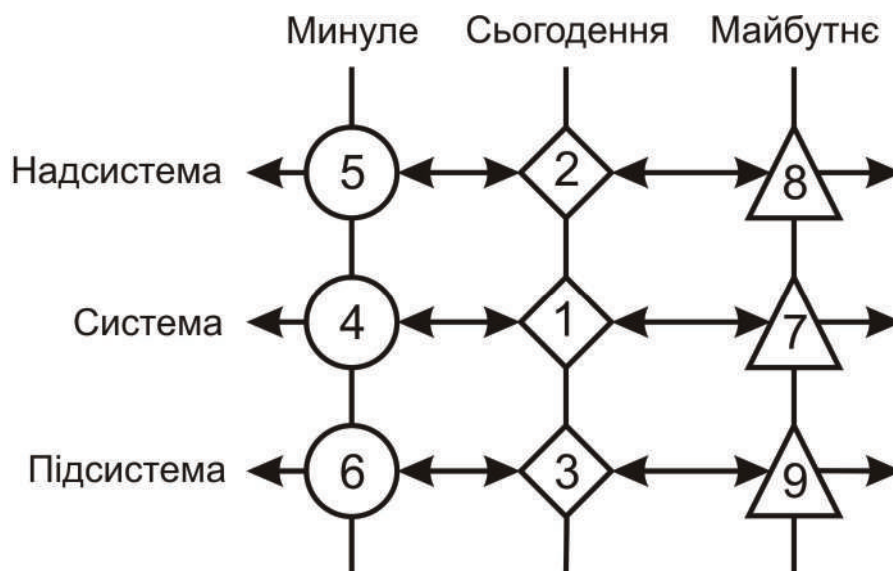


Рис. 1. Системний оператор

Уявлення так чи інакше створює певний образ завдання: після ознайомлення з умовами відразу ж виникає уявний екран 1 із зображенням розглянутої ТС. Якщо в завданні сказано «дерево», людина бачить саме дерево. Для більш плідного мислення необхідно «увімкнути» ще два екрани: надсистеми (2) у вигляді групи дерев і підсистеми (3) у вигляді стовбурів, листів та ін.

Але це мінімальна схема. Системний і динамічний світи техніки мають відбивати, як мінімум, дев'ять екранів, що показують минуле (4, 5, 6) і майбутнє (7, 8, 9) на кожному рівні.

Таким чином, при вивченні системи необхідно уявити собі, як відбувався її розвиток у часі. Діалектичний метод дозволяє зрозуміти,

що викликало необхідність появи технічної системи, як відбувався (або відбувається) її розвиток, що чекає цю систему в майбутньому, коли й за яких умов наступить її старіння, «смерть». Генетичний підхід продуктивний, оскільки дає можливість не тільки оцінити ефективність розглянутої системи, але й дати рекомендації щодо доцільності своєчасного переходу від цієї ТС до нової, що замінить її в рамках безперервного процесу еволюції.

Крім того, розглядаючи систему, необхідно чітко уявляти її просторові зв'язки. Кожна система характеризується значною кількістю рівнів (підсистема – надсистема), зв'язків з іншими системами. Будь-яка зміна на одному з цих рівнів так чи інакше торкнеться й розглянутої системи, причому далеко не всі наслідки таких змін можуть мати позитивний характер. Це означає, що чим більше зв'язків усередині системи і поза неї, тим більший набір можливостей для її вдосконалення будемо мати.

ТС – це сукупність безлічі елементів, що під впливом енергоінформаційного потоку набуває властивостей, що не зводяться до властивостей окремих елементів, і призначена для виконання певної функції.

Окремі елементи можуть бути підсистемами відносно розглянутої системи, тобто вони також можуть складатися з елементів, що безпосередньо взаємодіють один з одним, і т.д. У свою чергу, кожен систему можна розглядати як підсистему (елемент) іншої системи більш високого порядку – надсистеми.

Таким чином, сама ТС, її підсистеми й надсистема, до якої вона входить, утворюють ієрархію, формуючи безперервний ряд елементів, що усе більше й більше ускладнюються. Поряд з подібним ієрархічним рядом існують (іноді взаємодіючи з ним безпосередньо, а іноді й маючи до нього лише віддалене відношення) інші ряди систем; увесь оточуючий нас світ є, по суті, сукупністю цих рядів.

ТС має такі основні властивості:

- функціональність: будь-яка система має виконувати деяку корисну функцію;
- цілісність (структурність): система – це не проста сукупність окремих елементів, а ще й результат їхньої взаємодії, одержати який важко, а часом і неможливо, якщо який-небудь із цих елементів вилучити;
- організація: має місце ієрархія систем різного рівня, причому окремі елементи мають бути взаємозалежними не тільки в просторі, але й у часі, кожний компонент системи може розглядатися, у свою чергу, як система, а досліджувана в цьому випадку система сама є елементом більш широкої системи;

- системна якість: система має якість, що не зводиться до якостей її окремих елементів.

Функція системи – це властивість системи впливати на іншу систему, змінюючи її стан, що характеризується, у свою чергу, деякими параметрами. Носій функції – конкретна система, що виконує зазначену функцію. Функція системи визначається її призначенням, і тому найближча до поняття мети. Мета функціонування задається при створенні ТС і визначає її вихідний стан, вихідні параметри. Не всі функції системи рівноцінні: серед них є основні, заради виконання яких система створюється, і допоміжні, які забезпечують виконання основної функції, сприяють збереженню життєздатності самої системи.

Набір функцій, які здатна виконувати система, згодом може змінюватися, що позначиться на кількості елементів, що входять до неї, на розподілі функцій між окремими підсистемами. У підсумку це приводить до зміни просторово-тимчасової структури системи.

Структура ТС визначається, насамперед, енергоінформаційним потоком, що проходить крізь неї. Структура – це сукупність елементів і зв'язків між ними, що припускає їхню єдність і певну просторово-тимчасову стійкість. І те, й інше визначається фізичними принципами, прийнятими при здійсненні необхідної корисної функції. Стійкість припускає властивість саморегуляції, реалізованою підсистемою керування.

Головне в структурі: елементи, зв'язки, незмінність у часі.

Елемент, система – відносні поняття, будь-яка система може стати елементом системи більш високого рангу, так само і будь-який елемент можна подати як систему елементів більш низького рангу. Наприклад, болт (гвинт + гайка) – елемент двигуна, що, у свою чергу, є структурною одиницею (елементом) у системі автомобіля, і т.д. Гвинт складається із зон (геометричних тіл), таких, як головка, циліндр, різі, фаска; матеріал болта – сталь (система), що складається з елементів заліза, вуглецю, легувальних домішок, які, у свою чергу, складаються з молекулярних утворень (зерен, кристалів), ще нижче – атоми, елементарні частинки. Елемент – відносно ціла частина системи, що має деякі властивості, які не зникають при відділенні від системи. Однак у системі властивості елемента не відповідають властивостям окремо взятого елемента.

Елемент – мінімальна одиниця системи, яка здатна виконувати деякі елементарні функції. Всі технічні системи починаються з одного елемента, призначеного для виконання однієї елементарної функції. Потім відбувається диференціація елемента, тобто поділ елемента на зони з різними властивостями. З моноструктури елемента починають виділятися інші елементи. Наприклад, при перетворенні кам'яного різця в ніж виділилися робоча зона й зона ручки, а потім посилення

специфічних властивостей кожної зони потребувало застосування різних матеріалів (складові інструменти). З робочого органа (РО) виділилася й розвилася трансмісія (Тр). Потім до РО й Тр додаються двигун (Дв), орган керування (ОК), джерело енергії (ДЕ). Система розростається через ускладнення своїх елементів, додаються допоміжні підсистеми. Система стає високоспеціалізованою, але настає момент розвитку, коли вона починає приймати на себе функції сусідніх систем, не збільшуючи кількості своїх елементів. Система стає усе більш універсальною при незмінній, а потім і меншій кількості елементів.

Форма – це зовнішнє виявлення структури ТС, а структура – внутрішній зміст форми. Ці два поняття тісно взаємозалежні. У ТС може переважати одне з них і диктувати умови використання іншого (наприклад, від форми крила літака залежить його структура). Логіка побудови структури в основному визначається внутрішніми принципами й функціями системи. Форма в більшості випадків залежить від вимог надсистеми. Основні вимоги до форми:

- функціональні (форма різей тощо);
- ергономічні (рукоятка інструменту, сидіння водія та ін.);
- технологічні (простота, зручність виготовлення, оброблення, транспортування);
- експлуатаційні (термін служби, міцність, ремонтпридатність);
- естетичні (дизайн – краса, «приємність», «теплота»).

Ієрархічний принцип організації структури можливий тільки в багаторівневих системах (це великий клас сучасних ТС) і полягає в упорядкуванні взаємодій між рівнями в порядку від вищого до нижчого. Кожний рівень є керуючим стосовно всіх нижчележачих і рівнів керуванним (підлеглий) стосовно вищележачих. Кожний рівень спеціалізується також на виконанні певної функції. Абсолютно жорстких ієрархій не буває, частина систем нижчих рівнів має меншу або більшу автономію щодо вищележачих рівнів. У межах рівня відносини елементів рівні між собою, взаємно доповнюють один одного, їм властиві риси самоорганізації (створюються при формуванні структури).

Виникнення й розвиток ієрархічних структур не є випадковими, тому що це єдиний шлях збільшення ефективності, надійності й стійкості в системах середньої і високої складності. У простих системах ієрархія не потрібна, оскільки взаємодія здійснюється по безпосередніх зв'язках між елементами. У складних системах безпосередні взаємодії між всіма елементами неможливі (потрібно занадто багато зв'язків), тому безпосередні контакти зберігаються лише між елементами одного рівня, а зв'язки між рівнями різко скорочуються.

Типовий вигляд ієрархічної системи показано на рис. 2 [21].

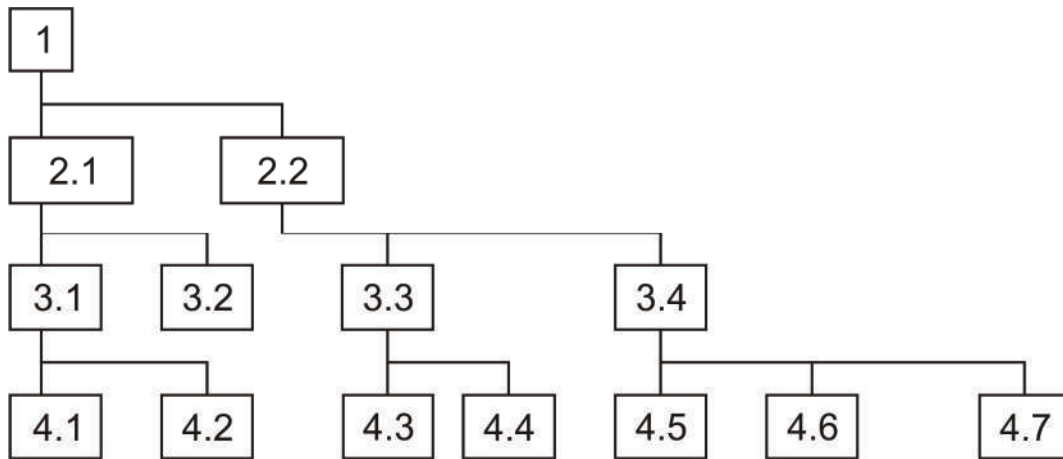


Рис. 2. Побудова системи за ієрархічним принципом

У табл. 1 наведено назви ієрархічних рівнів у техніці.

Таблица 1

Ієрархічні рівні у техніці

Рівень (ранг ТС)	Назва системи	Приклад	Аналог у природі
1	Техносфера	Техніка + люди + ресурси + систе- ма споживання	Біосфера
2	Техніка	Вся техніка (всі галузі)	Фауна
3	Галузь техніки	Транспорт (всі види)	Тип
4	Об'єднання	Аерофлот, авто- транспорт, заліз- ничний транспорт	Клас
5	Підприємство	Завод, метро, ае- ропорт	Організм
6	Агрегат	Локомотив, ваго- ни, рейковий шлях	Органи тіла: серце, легені тощо
7	Машина	Локомотив, авто- мобіль, літак	Клітина

Найважливішою властивістю будь-якої ТС є те, що зміна однієї з її частин відбивається на стані інших частин і всієї системи в цілому. І навпаки, зміна системи в цілому позначається на стані її частин. У різних випадках ці взаємозв'язки виявляються по-різному.

Організація виникає одночасно зі структурою. По суті, організація – це алгоритм спільного функціонування елементів системи в просторі й часі.

Організація виникає, коли між елементами з'являються об'єктивно закономірні, погоджені, стійкі в часі зв'язки (відносини); при цьому одні властивості (якості) елемента висуваються на перший план (працюють, реалізуються, підсилюються), а інші – обмежуються, гасяться, маскуються. Корисні властивості трансформуються в процесі роботи у функції – дії, поведінки. Головна умова створення організації – зв'язки між елементами й/або їхніми властивостями мають перевищувати за потужністю сили зв'язку з несистемними елементами.

Зв'язок – це взаємозв'язки між елементами системи. Зв'язок – реальний фізичний (речовинний або польовий) канал для передачі енергії (E), речовини (P), інформації (I), причому інформації нематеріальної не буває, це завжди або E, або P. Головна умова роботи зв'язку – «різниця потенціалів» між елементами, тобто градієнт поля або речовини (відхилення від термодинамічної рівноваги – принцип Онзагера). При градієнті виникає рушійна сила, що викликає потік E або P:

- градієнт температури – потік теплоти (теплопровідність);
- градієнт концентрації – потік речовини (дифузія);
- градієнт швидкості – потік імпульсу;
- градієнт електричного поля – електричний струм.

Основні характеристики зв'язку: фізичне наповнення й потужність. Фізичне наповнення – це вид речовини або поля, що використовується у зв'язку. Потужність – інтенсивність потоку P та E. Потужність зв'язку має бути більше потужності позасистемних зв'язків, вище граничної – рівня шуму зовнішнього середовища.

Зв'язки в системі можуть бути: функціонально необхідними, для виконання головної корисної функції (ГКФ); допоміжними, що збільшують надійність; шкідливими, зайвими, надлишковими.

У системі властивості окремих елементів не просто підсумовуються. Найчастіше частина властивостей кожного елемента при входженні його в систему гаситься, нейтралізується, втрачає свою індивідуальність. Але зате кожна система в цілому має якусь особливу якість, що не є результатом простого підсумовування властивостей складових її елементів. У цьому зв'язку говорять, що система має особливу системну якість (системну властивість). При цьому іноді но-

ва якість може бути не єдиною: знезацька виниклі якості також можуть виконувати корисне навантаження, у цьому разі одержуємо нову системну якість – надефект.

У системі можуть поєднуватися як однорідні, так і неоднорідні об'єкти. Виникає запитання: чи будь-яка сукупність об'єктів створює систему, має системну властивість? Відповідь очевидна: системою може бути тільки така сукупність об'єктів, що здатна перетворювати енергоінформаційний потік, який діє на неї.

2. МЕТОДИ АКТИВІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОЇ ТВОРЧОСТІ

Питанням розуміння механізмів людського мислення, вироблення прийомів підвищення його ефективності більш уваги приділяли представники гуманітарних професій – філософи, математики, теологи, психологи. Перші згадування про евристику – вчення про продуктивні методи творчого мислення, відносяться до часів античності. Розробку вчення про евристичні методи почав ще давньогрецький філософ Сократ (469–399 рр. до н.е.). У бесідах, дискусіях зі своїми співрозмовниками, ставлячи навідні запитання, він стимулював пробудження схованих (латентних) творчих здібностей людей, зародження у них продуктивних ідей. Метод називався майотикою Сократа. Дослівно це означає «акушерське мистецтво».

Архімедові (287–212 рр. до н.е.) належить уже докладне вчення про методи розгляду й вирішення завдань. У своїй праці «Стомахион» Архімед описав деякі способи створення нових технічних об'єктів із уже відомих елементів.

Термін «евристика», що походить від легендарного вигуку Архімеда «Еврика!» («Знайшов!»), увів давньогрецький математик Папп Олександрійський у III в. н.е. Він узагальнив праці античних математиків. Методи, що відрізняються від чисто логічних, Папп об'єднав під умовною назвою «евристика». Його трактат «Мистецтво вирішувати завдання» можна вважати першим спеціальним навчальним посібником, в якому зазначено, як слід діяти, якщо завдання не можна вирішити за допомогою відомих математичних або логічних прийомів.

До проблем створення евристики зверталися Р. Декарт, Г. Лейбніц, Б. Больцано, А. Пункаре. Наприклад, Р. Декарт у праці «Правила для керівництва розумом» запропонував чотири принципи пошуку істини, які актуальні й сьогодні.

По-перше – «ніколи не приймати за щире нічого, що я не пізнав би таким з очевидністю, інакше кажучи, ретельно уникати необачності й упередженості й включати у свої судження тільки те, що представляється моєму розуму настільки ясно й настільки чітко, що не дає мені ніякого приводу піддавати їх сумніву».

По-друге – «ділити кожне з досліджуваних утруднень на стільки частин, скільки це можливо й потрібно для кращого їхнього подолання».

По-третє – «дотримуватися певного порядку мислення, починаючи з предметів найбільш простих і таких, що найбільш легко пізнаються, і доходити поступово до пізнання найбільш складного, припускаючи порядок навіть і там, де об'єкти мислення зовсім не подаються в їхньому природному зв'язку».

І останнє – «складати завжди огляди настільки загальними, щоб

була впевненість у відсутності недоглядів».

У Росії теорією евристики на початку ХХ століття багато займався інженер-патентознавець П.К. Енгельмейєр. У своїх книгах він наполегливо декларував можливість створення науки про творчість і, зокрема, винахідництво.

Аж до кінця ХІХ ст. технічний прогрес задовольнявся винахідництвом. Потреба у великій кількості нових технічних розробок змусила багатьох учених зайнятися пошуком прикладних методик технічної творчості. З'явилися методи інтенсифікації пошукової діяльності.

Мета методів активізації пошуку нових технічних рішень полягає в тому, щоб зробити процес генерування ідей інтенсивніше, підвищити «концентрацію» оригінальних ідей у загальному їхньому потоці. Для цього в методах застосовують спеціальні механізми підвищення ефективності творчого процесу.

У табл. 2 наведено найбільш відомі методи інженерної творчості.

Таблиця 2

Методи інженерної творчості [22]

Найменування	Країна	Рік опублікування	Автор
Метод каталогу	Німеччина	1926	Ф. Кунце
Метод морфологічного аналізу	США	1942	Ф. Цвіккі
Метод синектики	США	1944	В. Гордон
Метод контрольних запитань	США	1945	Дж. Пойа
Метод економічного аналізу й заелементного оброблення конструкторських рішень	СРСР	1950	Ю. Соболев
Метод організуючих понять	НДР	1953	Ф. Ханзен
Метод матриць відкриттів	США	1955	А. Моль
Алгоритм винаходу	США	1956	М. Альтшуллер
Метод «мозкового штурму»	США	1957	А. Осборн
Метод фокальних об'єктів	США	1958	Ч. Вайтинг
Метод спрямованого рішення	СРСР	1961	Н. Серєда
Метод функціонально-вартісного аналізу	США	1961	Л. Майлз

Продовження табл. 2

Найменування	Країна	Рік опублікування	Автор
Метод контрольних запитань	США	1964	А. Осборн
Метод семиразового пошуку	СРСР	1964	М. Буш
Метод раціонального конструювання	США	1966	Р. Мак-Крорі
Фундаментальний метод проектування	Великобританія	1966	Е. Метчетт
Метод «Дельфі»	США	1966	О. Хелмер
Метод комплексного вирішення проблем	ЧСФР	1967	С. Кручений
Метод психоевристичного програмування	СРСР	1968	В. Чавчанидзе
Метод контрольних запитань	Великобританія	1969	Т. Ейлоарт
Метод східчастого підходу до вирішення проблеми	США	1969	А. Фрейзер
Метод використання бібліотеки евристичних прийомів	СРСР	1969	А. Половинкін
Метод функціонального винахідництва	Великобританія	1970	К. Джоунс
Метод музейного експерименту	США	1970	Колектив авторів
Метод конференції ідей	НДР	1970	В. Гільде, К. Штарке
Метод систематичної евристики	НДР	1970	М. Мюллер
Метод «Кріатіке»	Франція	1970	М. Димор, Х. Еберт
Аналіз витрат на основі споживчої вартості	НДР	1971	К. Томас
Метод десяткових матриць	СРСР	1972	Р. Повілейко

Закінчення табл. 2

Найменування	Країна	Рік опублікування	Автор
Метод системно-логічного підходу до вирішення винахідницьких завдань	СРСР	1972	В. Шубін
Метод гірлянд випадків і асоціацій	СРСР	1972	М. Буш
Інтегральний метод «Метра»	Франція	1972	Н. Бувен
Метод ліквідації безвихідних ситуацій	Великобританія	1972	Дж. Джонс
Метод трансформації систем	Те ж	1972	Дж. Джонс
Узагальнений евристичний алгоритм	СРСР	1976	А. Половинкін
Метод виявлення узагальнених прийомів на основі аналізу описів винаходів	СРСР	1978	М. Зарипов
Вепольний аналіз	СРСР	1978	М. Альтшуллер
Методика аналізу СРСР властивостей і синтезу технічних рішень	СРСР	1979	А. Чус
Аксиоматичний метод понять	СРСР	1980	В. Блазнів

2.1. Метод спроб і помилок

У роботах психологів, у спогадах учених і винахідників описується приблизно те саме: людина стикається зі складною проблемою, постійно подумки шукає рішення, перебираючи варіанти, пробує свої сили, помиляється і нарешті знаходить. Це і є метод перебору варіантів або, як його частіше називають, метод спроб і помилок (МСіП) – найдавніший спосіб пошуку нового, котрий є історично першим методом технічної творчості. Він полягає в тім, що, зрозумівши завдання, по черзі висувуються ідеї, вони оцінюються, і, якщо вони не подобаються, їх відкидають і висувують нові. Є завдання, які інакше як перебором варіантів не вирішити, наприклад, таке: дано п'ять склянок з безбарвною рідиною, зовні зовсім однакових. Відомо, що зливання

двох якихось рідин дає суміш червоних кольорів. Як знайти цю пару рідин? Прийдеться переливати навмання. У цьому завданні немає творчості. Єдине, що можна зробити, це вилучити повторні зливання.

Методом спроб і помилок створювалися перші кремінні ножі й луки, гармати й вітряки, будинки й кораблі.

Це був довгий шлях, що потребував більших жертв, загибелі безлічі невдалих конструкцій. Але розвиток техніки прискорювався, і метод проб і помилок ставав усе менш придатним. Неможливо будувати тисячі зразків, щоб вибрати найкращу конструкцію атомного реактора або швидкохідного крейсера.

Ефективність перебору залежить від складності завдання, її можна охарактеризувати кількістю спроб, які необхідно зробити для одержання гарантованого результату – вирішення завдання. Історія винахідництва показує, що ця кількість може коливатися в дуже широких межах – від десятка спроб для найпростіших завдань до сотень тисяч – для складних. Метод спроб і помилок досить ефективний, коли йдеться про необхідність перебрати 19 – 20 варіантів, а при вирішенні більш складних завдань призводить до більших утрат сил і часу (рис. 3).

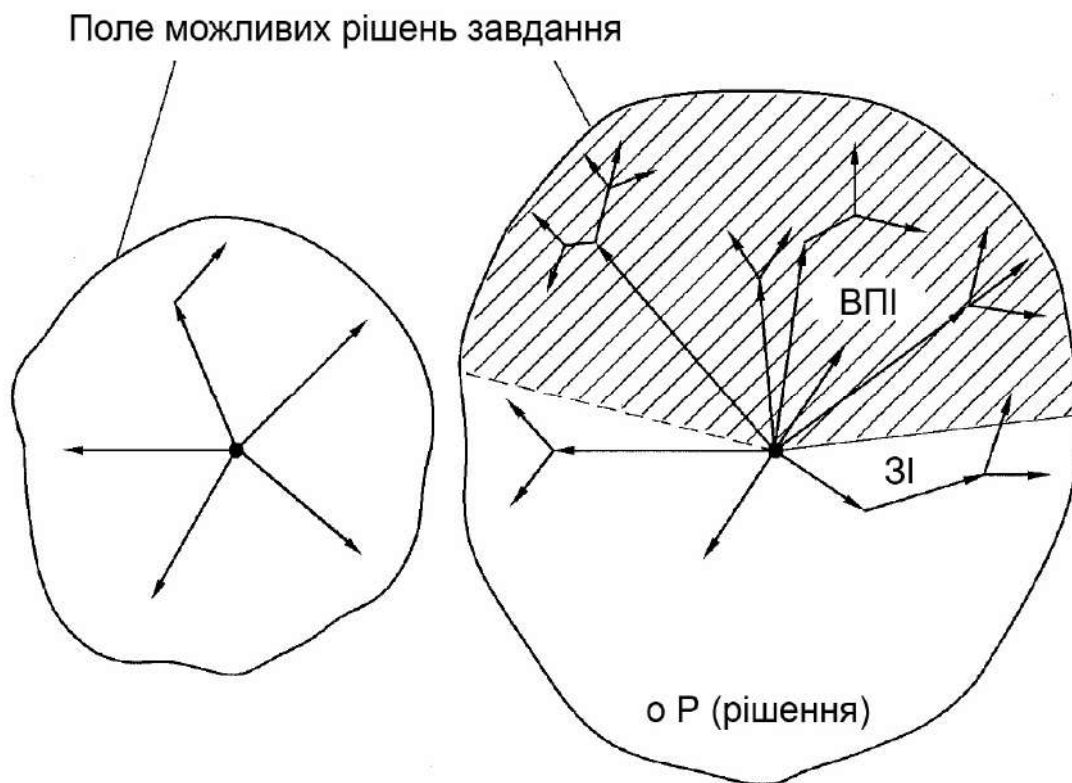


Рис. 3. Метод спроб і помилок: а – при $n = 5$; б – при $n > 10$
(n – кількість варіантів рішень завдань)

Метод спроб і помилок не тільки неефективний при вирішенні складних завдань, але й утруднює їхню постановку, тому що звичайно

завдання ставиться у випадковому, неточному формулюванні, найчастіше без необхідної інформації, зате з надлишком непотрібної. Метод спроб і помилок не дозволяє вчасно вбачити дійсно важливі проблеми й таким чином відсуває їхнє вирішення на десятиліття, а іноді й на сторіччя. Так, менісковий телескоп, за визнанням його винахідника Д.Д. Максудова, можна було створити ще в часи Декарта й Ньютона. Була потреба й була можливість створення такого телескопа. Завдання не було чітко визначено, до спроб його вирішення справа дійшла тільки в середині ХХ століття. Флемінг, творець пеніциліну, стверджував, що його винахід можна було б зробити років на 20 раніше й урятувати 20 мільйонів життів.

Неефективність методу спроб і помилок для вирішення складних завдань довгий час компенсували за рахунок збільшення числа людей, що працюють над тією або іншою проблемою. Але до середини ХХ століття стало очевидно, що навіть саме повне використання людських ресурсів не може забезпечити необхідних темпів виробництва винаходів. З'явилася суспільна потреба в простих і доступних кожному методах пошуку нового. Сьогодні відомо понад півсотні різних методів пошуку нового [7, 8, 15, 17, 19, 23]. Далеко не всі вони однаково корисні. Серед них є й неперевірені, надумані, штучно формалізовані, що не дають ніякого практичного виходу. Ряд методів має обмежене застосування: у певних умовах, для певного типу завдань.

Розглянемо основні методики активізації творчого мислення, які можна поділити на дві великі групи: методи психологічної активізації (методи збільшення хаотичності пошуку) і методи систематизованого перебору варіантів.

2.2. Метод «мозкового штурму»

Метод «мозкового штурму» належить до спеціальних психологічних методів, що дозволяють уникнути інерційної спрямованості пошуку. Це так звані методи психологічної активізації творчості. «Мозковий штурм» є найвідомішим з них, що одержали широке поширення в усьому світі. Його часто називають «мозковою атакою», або брейнстормінгом (англ.). Відомою є низка модифікацій цього методу: групове вирішення завдань, конференція ідей, масова «мозкова атака» та ін.

Коротка історія виникнення методу. Під час другої світової війни Осборн був капітаном торговельного судна, що виконувало рейси між Америкою і Європою. Один раз, в Атлантичному океані, його судно залишилося без охорони, коли була отримана радіограма про можливий напад німецького підводного човна. Проти добре озброєного човна його судно було беззахисною мішенню для навчальної стрілянини.

Осборн зібрав усю команду на палубі й оголосив про те, що незабаром вони можуть стати їжею для акул. Що робити? Один із членів екіпажу запропонував «геніальну» ідею: коли екіпаж побачить пінний слід торпеди, що стрімко рухається до борту судна, треба всім стати біля борту і дружно дунути на торпеду, і вона, як повітряна кулька, слухняно розвернеться. (Відомо, що торпеда пробиває тонку обшивку торговельних суден і вибухає усередині судна).

На щастя, рейс закінчився благополучно, але маячна ідея відважного матроса виявилася плідною. Осборн установив по бортах свого судна потужні водяні насоси й один раз дійсно розвернув сильним струменем води торпеду, чим урятував судно й життя команди і собі.

В основу методу «мозкового штурму» покладено принцип поділу процесів генерування ідей і їхньої експертизи, що дозволяє значною мірою переборювати такі негативні властивості людського мислення, як психологічна інерція, прагнення діяти відповідно до минулого досвіду і знань, прямувати традиційними шляхами, усувати психологічні перешкоди, що спричиняються боязню критики.

Реалізація зазначеного принципу досягається тим, що сформоване тільки загально перед початком «штурму» завдання послідовно вирішують дві групи людей по 4 – 15 чоловік у кожній. Рекомендується для проведення «штурму» запрошувати людей різних спеціальностей і різного рівня освіти. У той же час небажано включати в одну групу людей, присутність яких може якоюсь мірою пригноблювати інших, наприклад керівників і підлеглих. Метою першої групи є тільки висунування ідей вирішення завдання. До складу цієї групи залучають людей, схильних до абстрагування, що володіють почуттям новизни й фантазії, здатних генерувати ідеї, тому цих людей називають «генераторами ідей».

Друга група здійснює експертизу висунутих у результаті «штурму» ідей, установлює ступінь їхньої цінності з позиції оригінальності вирішення, економічності й практичної доцільності. Другу групу називають «експертами ідей» і до її складу залучають людей з аналітичним, критичним складом розуму.

Нижче наведено основні правила проведення «мозкового штурму» (рис. 4).

1. Завдання починає вирішувати група «генераторів ідей», що повинна протягом певного часу (звичайно 20 – 40 хв) запропонувати якнайбільше ідей. При цьому в процесі «штурму» поряд з раціональними, практичними можуть висуватися й ідеї фантастичні, явно помилкові, марні й жартівливі, які відіграють роль каталізаторів, стимулюють процес генерації. Процес «штурму» потрібно організовувати й

проводити таким чином, щоб викликати бурхливий потік ідей, висування яких має бути безупинним, розвиваючи, доповнюючи й взаємно збагачуючи одна одну. Ідеї висуваються бездоказово. Найважливішою ознакою процесу генерування ідей є категорична заборона всякої критики, не тільки явної словесної, але й прихованої – у вигляді скептичних посмішок, міміки, жестів і т. ін.

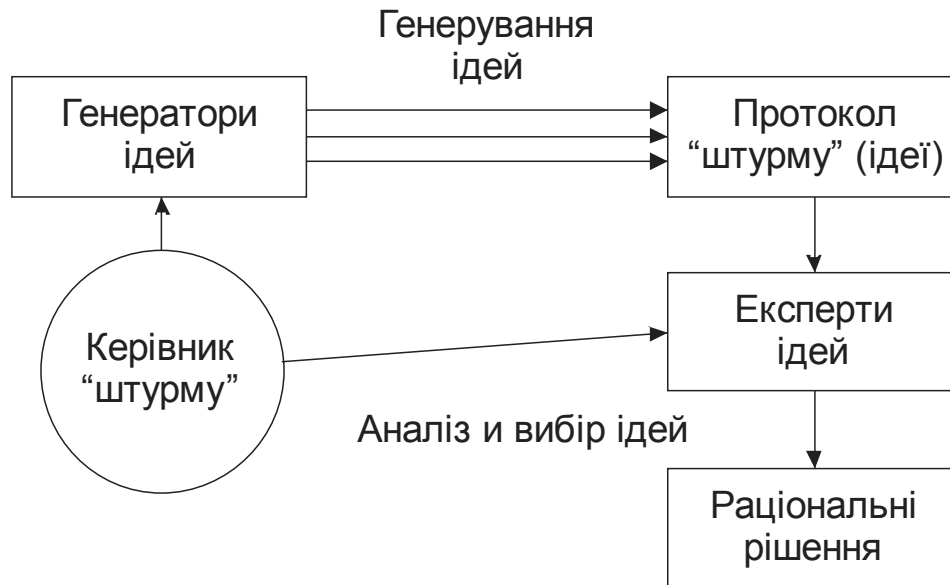


Рис. 4. Схема методу «мозкового штурму» [22]

2. Висунуті в результаті «штурму» ідеї передаються в групу «експертів ідей», що уважно розглядає й аналізує суть кожної ідеї, проводить їхню експертизу й відбір найбільш оригінальних і ефективних. На цьому етапі рекомендується гранично обґрунтовано ухвалювати рішення щодо непридатності ідеї, навіть тієї, котра вважається несерйозною, фантастичною (нереальною) або абсурдною. Потрібно прагнути з кожної ідеї «витягти» раціональне зерно. Можна навіть розвинути висловлену ідею. Якщо вона відкидається, треба ще раз поставити запитання: «А чому все-таки це погано?».

3. Дотримання правил проведення «мозкового штурму» забезпечує керівник. Він повинен керувати процесом колективного пошуку вирішення, направляти роботу в потрібне русло без наказів і критики. Керівник повинен так організувати процес «штурму», щоб він проходив активно (безупинно, одна ідея впливала за іншою без пауз, щоб поряд з раціональними висловлювалися й свідомо фантастичні, ідеалізовані ідеї). Для цього керівник може задавати різні запитання, наприклад, використовуючи списки контрольних запитань, підказувати або уточнювати деякі моменти, самостійно висловлювати ідею, намагатися перевести процес пошуку рішення, наприклад, із практичного напрямку на фантастичний. Активізувати процес генерування ідей

можна також шляхом використання ряду спеціальних прийомів, які здавна застосовувалися винахідниками, наприклад: «інверсія» – зроби навпаки; «аналогія» – зроби так, як це зроблено в іншому рішенні; «емпатія» – вважай себе частиною об'єкта, що удосконалюється, і з'ясуй при цьому свої почуття, відчуття; «фантазія» – зроби щось фантастичне.

4. У випадку, якщо в результаті «штурму», що задовольняє нас, рішення не отримано, можна процес його пошуку повторити, але бажано з іншим колективом. Коли ж завдання «штурмують» повторно тим же колективом, то його необхідно сформулювати в іншому, більш широкому аспекті, щоб зробити спочатку поставлене завдання невідомим. Це сприяє появленню нового напрямку думок, дозволяє одержати нові ідеї вирішення.

У цей час існує багато різновидів методу «мозкового штурму»: індивідуальний, зворотний, парний і масовий, двоступінчастий з оцінкою ідей, «конференція ідей», з додатковим збором ідей. В індивідуальному «штурмі» завдання бере участь одна людина, послідовно генеруючи ідеї, а потім аналізуючи і оцінюючи їх. У зворотному «мозковому штурмі» на перше місце висувається критика, що дозволяє знаходити недоліки й обмеження технічного об'єкта або висловлених ідей. Зворотний «мозковий штурм» доцільно застосовувати для виявлення й постановки нових винахідницьких завдань, які, як правило, мають більш конкретний характер. Парний «мозковий штурм» виконують дві людини, одна з яких генерує ідеї, а друга – їх аналізує й оцінює.

Масовий «мозковий штурм» проводиться у великих аудиторіях з метою збільшення ефективності процесу генерування нових ідей. Усіх учасників «штурму» поділяють на групи по 5 – 7 чоловік, їхніх керівників за 2 – 3 дні попереджають про майбутній «штурм», знайомлять із порядком його проведення та із завданням, що має вирішуватись. Завдання формулюють як особисте, наприклад: «Як підвищити продуктивність праці, забезпечуючи високу якість?»

Таке формулювання додатково стимулює творчу активність. Вирішення завдання на першому етапі проводиться у вигляді прямих колективних «мозкових атак» в оперативних групах. Оптимальний час роботи оперативних груп – 15 хв. Після цього керівники груп протягом 5 – 7 хв оцінюють отримані ідеї, вибирають із них по 3 – 4, які виносять на обговорення великої аудиторії.

У Німеччині «мозковий штурм» одержав подальший розвиток у вигляді методу «конференції ідей».

Основні достоїнства методу «мозкового штурму» – легкість освоєння учасниками; незначні витрати часу на проведення.

Головні недоліки методу: відсутність яких-небудь критеріїв, що дають пріоритетні напрямки висування ідей, процесом вирішення треба мистецьки керувати, щоб він відбувався у напрямі до сильного рішення, велика роль провідного штурму (50% успіху залежить від нього).

2.3. Метод синектики

Більш ефективним є метод синектики, розроблений У. Гордоном (США) у п'ятдесяті роки. Синектика основана на «мозковій атаці», яку виконують професіонали, що мають значний досвід такої роботи. Суть методу визначає його назва «синектика», що в перекладі з грецької означає сполучення різнорідних елементів. На відміну від методу «мозкового штурму» пошук нової ідеї або рішення в процесі синектичного засідання здійснюється групою професіоналів (оптимальний склад – 5 – 7 чоловік) – людей різних спеціальностей, яких навчають винахідницьким прийомам творчого вирішення проблем шляхом необмеженого тренування уявлень і об'єднання несумісних елементів.

Навчитися синектиці, відповідно до тверджень фахівців, можна тільки на практиці шляхом участі в роботі вже підготовлених груп синекторів, прослуховування плівок засідань синекторських груп. Таке навчання проводить фірма «Синектике інкорпорейтед» у США. Більшість синекторів припиняє свою діяльність через кілька років роботи, можливо, тому, що вона впливає на їхню нервову систему [1]. Через ці причини можна вважати безперспективними спроби впровадження синектики в нашій країні.

Синектичне засідання відрізняється від «мозкового штурму» використанням деяких прийомів психологічного настроювання, у тому числі дуже активним застосуванням різних аналогій. Алгоритм проведення синектичного засідання наведено на рис. 5 [22].

Головними інструментами пошуку нових ідей вирішення проблеми протягом синектичного засідання є аналогії, серед яких найчастіше використовують такі: пряма, особиста, символічна, фантастична.

При прямій аналогії робиться спроба використання аналогічних рішень в інших галузях техніки або живій природі щодо розглянутого об'єкта або процесу. Наприклад, вирішуючи завдання фарбування матеріалів легкої промисловості, потрібно подивитися, як офарблюють меблі, папір, металеві вироби та ін. або як офарблюються птахи, мінерали тощо. Аналогічно, вирішуючи завдання пошуку нової технології одержання пористих матеріалів з високими теплозахисними властивостями, потрібно подивитися технологію виготовлення піноплас-

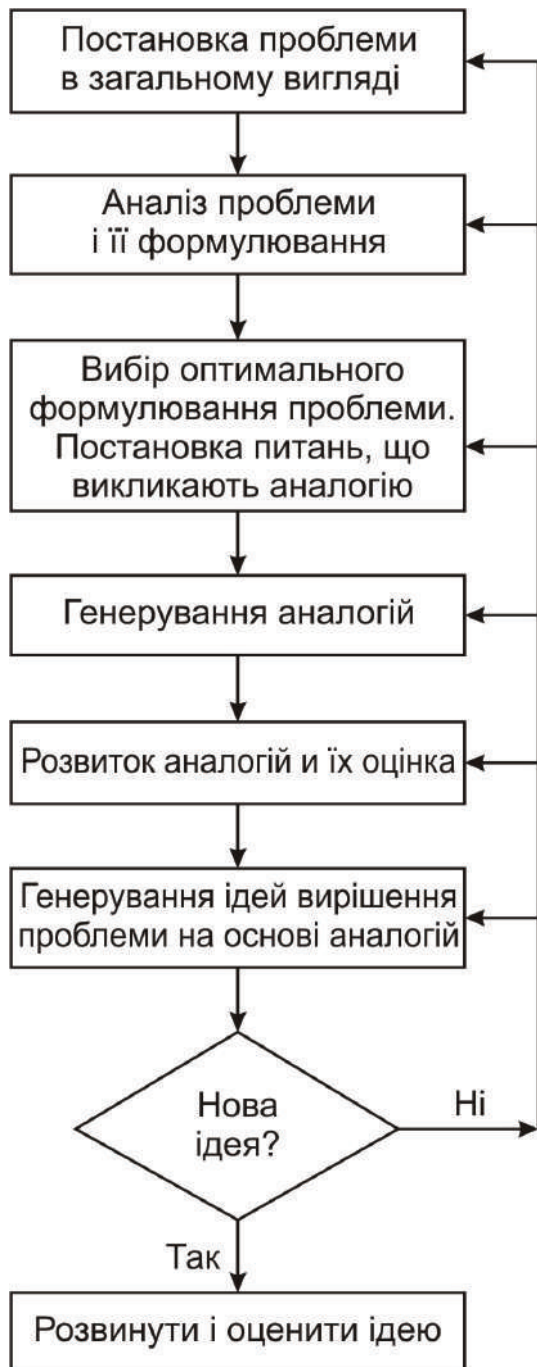


Рис. 5. Схема алгоритму проведення синектичного засідання

мислення.

Отримані в результаті використання аналогії нові ідеї погоджують із розв'язуваною проблемою, аналізують і визначають їхні можливості. Окремі пропозиції, що виникають у процесі обговорення, використовують, щоб викликати нові точки зору на проблему, що сприя-

ту, мікропористої гуми, пінополіуретану, виробів з металокераміки або як утворюються пористі гірські породи, удар-сирець і т.д.

Особиста аналогія, або емпатія, полягає в ототожненні себе з розглянутим об'єктом або процесом. Кожний учасник засідання вживається в образ об'єкта, що удосконалюється, намагаючись з'ясувати виникаючі при цьому відчуття, тобто відчуття завдання, подивитися на проблему її вирішення зсередини. Це дозволяє краще зрозуміти завдання, визначити умови його здійснення, виявити ряд факторів, пов'язаних з вирішенням проблеми, але звичайно випадають з уваги. Особисте ототожнення з елементами завдання звільняє людину від відсталості мислення й дозволяє розглядати проблему в новому світлі.

Сутність символічної (абстрактної) аналогії полягає в тому, що потрібно в короткій парадоксальній формі (буквально двома словами) сформулювати фразу, що відбиває суть явища (процесу) розглянутої проблеми. Вона має виражати зв'язок між словами, які звичайно ніяк одне з одним не зіставляються, і містити в собі щось несподіване, дивне.

Застосовуючи фантастичну аналогію вводять різні фантастичні засоби або персональний, які виконують те, що потрібно за умовами завдання. Така аналогія сприяє генерації нових і оригінальних ідей, активізує творче

ють успішному її вирішенню. Важливим елементом цього етапу є критична оцінка експертів.

На останньому етапі синектичного засідання розвивають і максимально конкретизують ідею, визнану найбільш удаюю. Основний час синектори присвячують інженерному аналізу, вивченню й обговоренню отриманих результатів.

«Мозковий штурм» дозволяє «розгальмувати» людей, уникнути звичних і тому марних асоціацій. Підсилити цей процес можна, використовуючи методи, які підказують несподівані порівняння, що дозволяють глянути на об'єкт під незвичайним кутом. До них належить метод фокальних об'єктів.

2.4. Метод фокальних об'єктів

Метод фокальних об'єктів запропоновано Ч. Вайтингом (США, 1953 р.) для створення об'єктів з новими властивостями.

Основні ідеї методу – придушення психологічної інерції, пов'язаної з об'єктом дослідження, встановлення його асоціативних зв'язків з різними випадковими об'єктами.

Принцип роботи методом фокальних об'єктів:

- вибрати об'єкт, який необхідно вдосконалити (фокальний об'єкт);
- сформулювати мету вдосконалення об'єкта;
- за допомогою будь-якої книги, словника або іншого джерела вибрати випадкові слова (об'єкти);
- виділити ознаки (властивості) вибраних випадкових об'єктів;
- перенести виділені ознаки (властивості) на об'єкт дослідження;
- виписати ідеї, отримані від сполучення об'єкта дослідження з ознаками випадкових об'єктів;
- провести аналіз отриманих сполучень і вибрати найбільш придатне.

Вирішувати завдання за допомогою даного методу зручно в табличній формі.

Розглянемо порядок роботи методом на прикладі завдання: підвищити споживчі властивості каструлі для готування їжі.

За допомогою книги вибираємо випадкові слова: дерево, лампа і сигарета. У табл. 3 подано зведені дані роботи методом фокальних об'єктів.

У результаті аналізу отриманих ідей можна запропонувати каструлю з електропідігріванням, на підставці, з високими ізольованими

стінками, розділену на секції, в одній з яких розташований знімний друшляк, і кришкою, що закриває всю каструлю цілком.

Таблиця 3

Зведені дані роботи методом фокальних об'єктів

Фокальний об'єкт – каструля		Ціль удосконалення – розширення асортиментів	
Випадкові об'єкти	Ознаки випадкових об'єктів	Фокальний об'єкт і ознаки	Отримані ідеї
Дерево	Високе Голе Коркове З коріннями	Каструля з високими стінками Коркова каструля Каструля з коріннями	Каструля з високими термоізолювальними стінками на підставці
Лампа	Електрична Розбита Світна	Електрична каструля Розбита каструля Світна каструля	Каструля з електропідігріванням, розділена на секції з підсвічуванням
Сигарета	Димуча З фільтром У коробці	Димуча каструля Каструля з фільтром Каструля з подвійними стінками	Каструля з індикатором запаху, з убудованим друшляком і повністю ізолюючою кришкою

2.5. Метод морфологічного аналізу

Основний принцип методу морфологічного аналізу (МА) полягає в систематизованому аналізі всіх можливих варіантів, що впливають із закономірностей будови (тобто морфології) системи, що удосконалюється. У розглянутому технічному об'єкті (технічній системі, технологічному процесі) виділяють декілька характерних для нього структурних або функціональних морфологічних ознак (Р). Кожна така ознака може характеризувати якийсь конструктивний режим роботи, тобто параметри або характеристики об'єкта, від яких залежить досягнення основної мети об'єктом, обумовленої його призначенням (рис. 6).

Автор морфологічного аналізу – швейцарський астроном Ф. Цвіккі, (США) 1942 р. Метод створювався для розроблення об'єктів, основаних на нових порівняно з прототипом принципах дії. Перше досить результативне практичне застосування методу було продемонстровано в 1942 р. у США Ф. Цвіккі в авіаційній фірмі, де він за корот-

кий час одержав кілька десятків нових технічних рішень ракетних двигунів і ракет, серед яких, як з'ясувалося пізніше, були запропоновані рішення, що повторюють німецькі ракети ФАУ-1 і ФАУ-2.

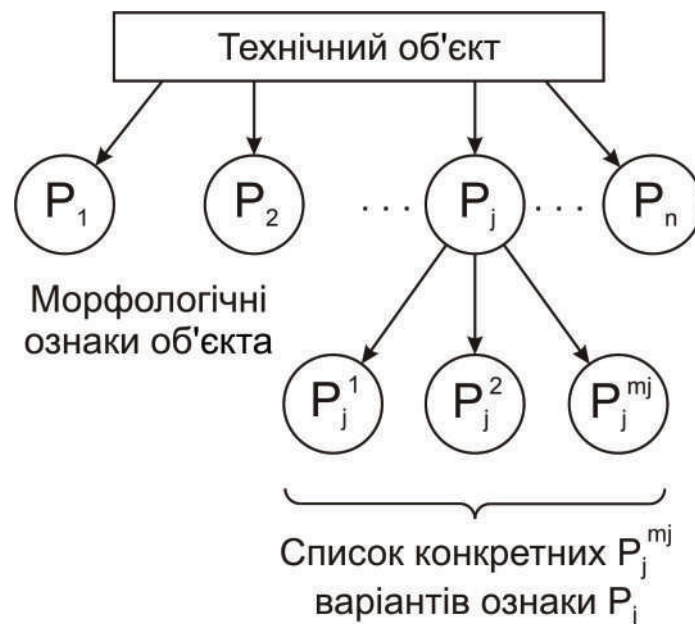


Рис. 6. Схема подання об'єкта завдання сукупністю морфологічних ознак

Суть морфологічного аналізу полягає в прагненні систематично охопити всі або хоча б найголовніші варіанти, виключивши вплив випадковості.

Використання методу містить такі кроки:

1. Вибирають об'єкт для вдосконалення.
2. Формулюють завдання.
3. Складають список основних характеристик або частин об'єкта.
4. Для кожної характеристики або частини перераховують можливі варіанти її виконання.
5. Складають список (таблицю) усіх сполучень можливого виконання об'єкта.
6. Виконують аналіз і вибирають найкраще сполучення.

Аналіз зручніше виконувати за допомогою багатовимірної таблиці, що одержала назву морфологічного ящика, в якому вибрані характеристики або частини об'єкта відіграють роль основних осей.

Приклад.

1. Об'єкт – металорізальний верстат.
2. Основні вузли об'єкта; його характеристики: двигун; рух деталі; кріплення деталі; інструмент; керування обробленням; рух інструменту.
3. Можливі варіанти виконання.

3.1. Двигун (вісь А): електричний (А1), пневматичний (А2), внутрішнього згоряння (А3), мускульний (А4), турбіна (А5), реактивний (А6).

Рух деталі (вісь Б): обертання (Б1), реверсивне обертання (Б2), зворотно-поступальний (Б3), коливальний (Б4), спіральний (Б5), фігурний (Б6), нерухома деталь (Б7).

Кріплення деталі (вісь В): патрон (В1), цанга (В2), струбцина (В3), вакуумний притиск (В4), магнітний притиск (В5), магнітна рідина, що твердіє (В6), приморожування (В7), зварювання (В8), механічне гвинтами (В9).

Інструмент (вісь Г): лезовий – різець, фреза, ніж, свердла (Г1), абразив (Г2), полум'я (Г3), електрична іскра (Г4), плазма (Г5), вода під тиском (Г6), алмаз (Г7), ельбор (Г8).

Керування обробленням (вісь Д): робітник (Д1), копір (Д2), кулачок – автомат (Д3), ЕОМ(Д4).

Рух інструменту (вісь Е): зворотно-поступальний (Е1), обертальний (Е2), коливальний (Е3), нерухомий (Е4), фігурний (Е5).

Загальна кількість варіантів у морфологічному ящику дорівнює добутку чисел елементів на осях; в отриманому морфоящику – більш 60 тис. Серед них – практично всі відомі верстати: токарний (А1, В1, Б1, Г1, Д1, Е5), фрезерний (А1, Б3, В3, Г1, Д1, Е2), електроіскрового оброблення (А1, Б7, В3, Г4, Д1, Е1).

Ознаки – P_j з варіантами з конкретних реалізацій P_j^i ($j = 1, n; i = 1, m_j; n$ – кількість ознак P_j , що виявляються) зручно розглядати у вигляді так званої морфологічної таблиці-матриці (див. рис. 5), що дозволяє краще уявити пошукове поле. Перебираючи можливі сполучення альтернативних варіантів виділених ознак, можна виявити нові варіанти вирішення завдання, які при звичайному переборі можна пропустити. Ілюстрацію пошукового поля методу МА наведено на рис. 7, на якому чітко видно систематизований перебір можливих варіантів.

Морфологічний аналіз створює основу для системного мислення в категоріях основних структурних ознак, принципів і параметрів об'єкта, що й забезпечує високу ефективність його застосування. Він є впорядкованим способом дослідження, що дозволяє досягти систематизованого огляду всіх можливих рішень даного завдання. Метод будує мислення таким чином, що генерується нова інформація, яка стосується тих комбінацій, які при безсистемній діяльності уявлення випадають з уваги. Хоча морфологічному способу мислення внутрішньо властиве переконання, що всі рішення можуть бути реалізовані, однак багато з них виявляються порівняно тривіальними.

У найпростішому випадку морфологічний аналіз передбачає побудову двовимірної морфологічної карти: потрібно вибрати дві найважливіші характеристики технічної системи, скласти за кожною з них,

список усіляких видів і форм і потім побудувати таблицю, осями якої є ці списки. Клітинки такої таблиці відповідають варіантам технічної системи.

Номер варіанта	Морфологічні ознаки об'єкта						
	P_1	P_2	P_3	...	P_j	...	P_n
1	P_1^1	P_2^1	P_3^1	...	P_j^1	...	P_n^1
2	P_1^2	P_2^2	P_3^2	...	P_j^2	...	P_n^2
3	P_1^3	-	P_3^3	...	P_j^3	...	P_n^3
4	P_1^4	-	-	...	P_j^4	...	P_n^4
5	-	-	-	...	-	...	-
6	-	-	-	...	-	...	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Рис. 7. Морфологічна матриця

Достоїнства методу: значно розширює область пошуку рішень і кількість рішень, дозволяє вийти на незвичайне рішення.

Недоліки методу: потрібен аналіз великої кількості рішень, метод не придатний для вирішення складних завдань.

Цей метод полягає в пошуку нових технічних рішень шляхом аналізу результатів застосування десяти евристичних прийомів E до кожної з десяти груп показників Π технічної системи $ТС$ (рис. 8). У результаті таких дій будується так звана десяткова матриця пошуку (ДМП), в рядках якої записані характеристики системи, а в стовпцях – евристичні прийоми. У чарунки ДМП записуються ідеї вирішення завдання, отримані в результаті застосування евристичних прийомів до показників системи. Таким чином, кожна чарунка матриці відповідає певній зміні якого-небудь із основних параметрів системи.

Основними показниками, за допомогою яких можна охарактеризувати технологічну систему, є такі:

- геометричні (довжина, ширина, висота, обсяг, форма та ін.);
- фізико-механічні (маса конструкції і окремих її елементів, матеріалоемність, міцність, корозійностійкість і т.ін.);
- енергетичні (вид енергії і потужність, привід, КПД тощо);
- конструкційно-технологічні (технологічність, складність, транспортабельність та ін.);
- надійність і довговічність;

- експлуатаційні (продуктивність, точність і якість роботи технічної системи, стабільність її параметрів, ступінь універсальності та ін.);
- економічні (собівартість, трудовитрати на виробництво й експлуатацію та ін.);
- стандартизації і уніфікації;
- зручність обслуговування і безпека (шум, вібрація тощо);
- художньо-конструкторські.

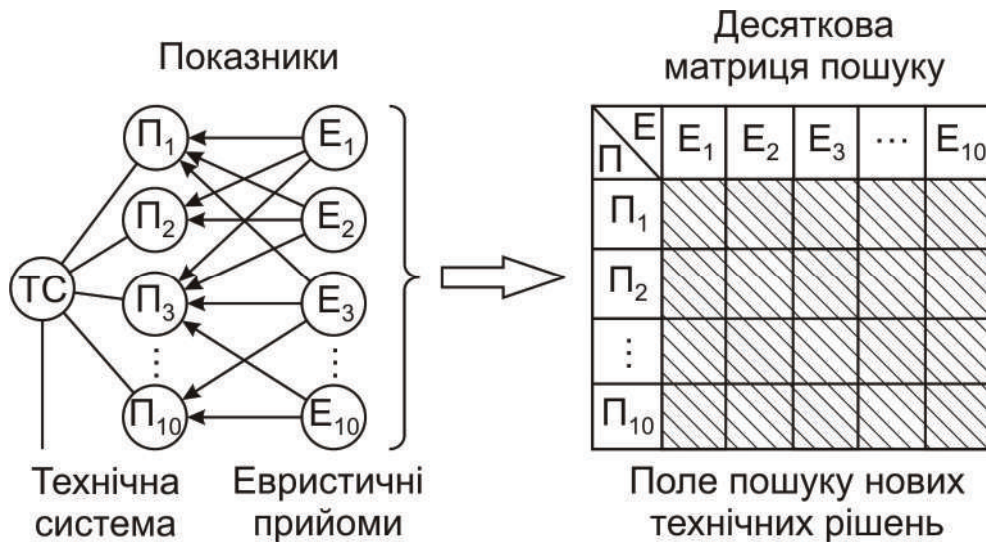


Рис. 8. Схема методу десяткових матриць

Конкретні показники кожної групи формуються залежно від конкретного класу машин і устаткування легкої промисловості.

У методі десяткових матриць використовують такі евристичні прийоми:

1. Неологія (від грецьк. neos + logos – нове слово, новизна) – використання процесів, конструкцій, форм, матеріалів, їхніх властивостей та ін., нової для даної галузі техніки або нової взагалі. Передбачається, що вже десь і кимсь поза даною галуззю розроблювана технічна система створена, успішно використовується (хоча, можливо, і для зовсім інших цілей) і треба тільки її розшукати й перевірити в даних умовах, не змінюючи її, не пристосовуючи до цих умов. Даний принцип потребує від інженера загальнонаукової і загальнотехнічної ерудиції, достатньої інформованості. Як приклад прийому можна навести використання в легкій промисловості лазерних пристроїв для розкрою текстильних матеріалів.

2. Адаптація (від лат. adaptare – застосування) – пристосування відомих процесів, конструкцій, форм, матеріалів та їхніх властивостей до конкретних умов. Вихідна система, залишаючись у цілому колишньою, лише трохи видозмінюється. Деякі прийоми адаптації: змінити

традиційні значення параметрів системи; модифікувати, переробити систему для того, щоб пристосувати її до інших умов роботи, не зачіпаючи основної конструктивної схеми; захистити систему від впливу навколишнього середовища (наприклад, для роботи в складних кліматичних умовах); пристосувати машину до людини.

3. Мультиплікація (від лат. *multiplicatio* – множення) полягає в множенні функцій і деталей системи, причому помножені системи залишаються подібними одна одній, однотипними. До мультиплікації належать прийоми, пов'язані не тільки зі збільшенням характеристик (гіперболізація), але й з їхнім зменшенням (мініатюризація). Будь-який перехід від моделі до реальної системи й навпаки може бути віднесений до мультиплікації.

4. Диференціація (від лат. *differentio* – розходження) – поділ функцій і елементів системи: послабляються функціональні зв'язки між елементами, підвищується степінь вільності, поділяються етапи виробництва, робочі процеси, конструкції в просторі й у часі.

5. Інтеграція (від лат. *integratio* – заповнення) – об'єднання, суміщення, скорочення й спрощення функцій і форм-елементів і системи в цілому: зближаються елементи виробництва, робочі процеси конструкції в просторі й у часі. Форми інтеграції можуть бути різні, діапазон прийомів широкий – від найпростішого механічного з'єднання, сплетення, скріплення, змішування, вбудовування, сплавлення до вищих форм з'єднання.

6. Інверсія (від лат. *inversio* – перекидання, перестановка) – обертання функції, форми й розташування елементів і системи в цілому.

7. Імпульсація (від лат. *impulsus* – поштовх, спонукання до чогонебудь, прагнення, порушення) – імпульсна зміна характеристик системи. Імпульс може повторюватися періодично, аперіодично, а також може бути одиничним.

8. Динамізація припускає, що характеристики і параметри всієї системи і її елементів (наприклад, маса, розміри, кольори та ін.) мають бути такими, що змінюються, й оптимальними на кожному етапі процесу. Зміни мають відбуватися постійно, плавно і не бути східчастими.

9. Аналогія – реалізується відшуканням і використанням подібності систем (предметів, явищ), у цілому різних. Основні види аналогії – технологія, біаналогія й образна аналогія. Технологія взаємно збагачує різні галузі техніки – рішення переносяться з однієї сфери в іншу. Біаналогія полягає в копіюванні й використанні в техніці механізмів і принципів живої природи. Образна аналогія припускає у своїй основі образно-художнє мислення й широку науково-технічну ерудицію.

10. Ідеалізація – це подання ідеального рішення, до якого слід

прагнути при пошуку рішення. Це евристика, пов'язана з наближенням показників технічної системи до ідеальних значень.

За допомогою розглянутого методу можна створити галузевий фонд технічних рішень шляхом індексування й систематизації за ДМП винаходів на основі загального патентного фонду та існуючої літератури по галузях легкої промисловості (підручники, монографії, довідники). На основі аналізу вже існуючих винаходів заповнюються прикладами-ідеями предметні ДМП з різної тематики: швейні машини; пристрої розкרוю текстильних матеріалів; пристрої для формування деталей і виробів і т.д. ДМП є досить ефективним інструментом реставрації, відновлення невідомої або обмежено відомої, «загубленої» інформації.

2.7. Метод контрольних запитань

Підвищити ефективність пошуку можна, заздалегідь сформулювавши навідні запитання (метод контрольних запитань).

Складати списки таких запитань намагалися неодноразово. Серед них є більш-менш удалі, у тому числі списки А. Осборна і Т. Ейлоарта, наприклад:

- Яка основна функція вузла (деталі)?
- Що являє собою «ідеальний» вузол (деталь)?
- Що буде, якщо вилучити даний вузол (деталь)?
- Які й скільки функцій виконує даний вузол (деталь), чи не можна частину з них скоротити?
- Як інакше можна виконати основну функцію?
- В якій галузі техніки щонайкраще виконується дана функція і чи не можна запозичити рішення?
- Чи можна розділити вузол (деталь) на частини? Чи можна розділити кілька деталей (вузлів)? Чи можна розбірні з'єднання виконати нерозбірними й навпаки?
- Чи не можна змінити послідовність технологічних операцій? Увести або вилучити попередні складальні й обробні операції? Вилучити оздоблювальні операції?
- Який елемент вузла (деталі) «найслабкіший», чи не можна його відокремити від «деталі» (вузла), «підсилити»?
- Які фактори, функції в роботі вузла (деталі) самі «шкідливі»? Чи не можна їх використати? Що буде з виробом, якщо вузол почне виконувати протилежні функції? Як реалізувати роботу «навпаки»?
- Чи не можна спростити вузол, добиваючись не 100%-го корисного ефекту, а ледве меншого або більшого?
- Чи можна зменшити допуск, знизити чистоту оброблення, спростити форму, удосконалити інші аналогічні елементи вузла (деталі)?

- Чи можна замінити спеціальні деталі стандартними?
- Які додаткові функції може виконувати даний вузол (деталь)?
- Чи можна замінити матеріал, сортамент?
- Чи можна зменшити відходи або використати їх?
- Чи не можна взяти більш дешевий матеріал і застосувати покриття, біметали тощо або вставки з високоякісного матеріалу?
- Що в деталі (вузлі) у першу чергу спрацьовується?
- Де в деталі (вузлі) закладено надлишкові запаси, чи не можна їх скоротити?

Складні завдання, що потребують комбінації прийомів і застосування різних ефектів (тобто нового принципу дії), цим методом практично не вирішуються.

Описані методи легко видозмінюються, їх можна комбінувати: звідси гадане різноманіття. Але їх використання не дає досить діючих інструментів для вирішення складних завдань. При першому ознайомленні вони здаються кроком уперед порівняно із традиційним методом спроб і помилок. Однак це кроки в тупиковому напрямку, тому що зберігається та ж основа – пошук рішень шляхом перебору варіантів (рис. 9).

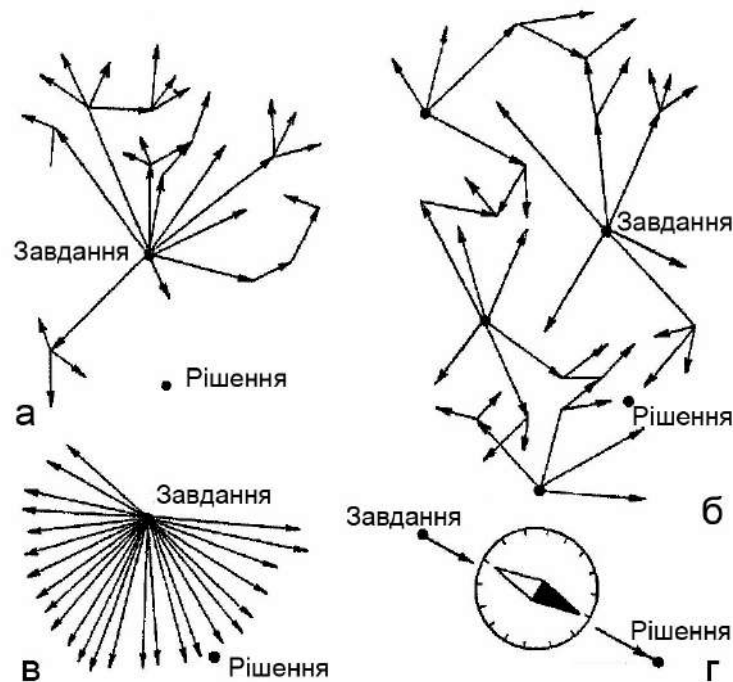


Рис. 9. Послідовність пошуку нових рішень при використанні різних методів пошуку: а – перебір варіантів методом спроб і помилок; б – збільшення хаотичності перебору варіантів («мозковий штурм», метод фокальних об'єктів, синектика та ін.); в – систематизація перебору варіантів (морфологічний аналіз, контрольні запитання, функціональний аналіз тощо); г – спрямований пошук рішень (ТВВЗ)

2.8. Структура ТВВЗ

ТВВЗ принципово відрізняється від інших методів технічної творчості. Основний постулат ТВВЗ: технічні системи розвиваються за об'єктивно існуючими законами, ці закони є пізнаваними, їх можна виявити й використати для свідомого вирішення винахідницьких завдань.

Теоретичною основою ТВВЗ є закони розвитку технічних систем, виявлені шляхом аналізу великих масивів патентної інформації (сотні тисяч патентів і авторських свідоцтв), вивчення історії й логіки розвитку багатьох технічних систем. ТВВЗ будується як точна наука, що має свою область дослідження, свої методи, свою мову, свої інструменти.

Основними механізмами вдосконалювання й синтезу нових технічних систем у ТВВЗ служать алгоритм вирішення винахідницьких завдань (АВВЗ) і система стандартів на вирішення винахідницьких завдань. ТВВЗ має у своєму розпорядженні власний метод аналізу й запису перетворень систем і вепольний аналіз. Особливе значення в ТВВЗ має впорядкований і постійно поповнюваний інформаційний фонд: покажчики застосування фізичних, хімічних і геометричних ефектів, банк типових прийомів усунення технічних і фізичних протиріч.

Знання законів розвитку технічних систем дозволяє не тільки вирішувати наявні завдання, але й прогнозувати появу нових.

ТВВЗ прагне до планомірного розвитку технічних систем: завдання, пов'язані з розвитком, мають виявлятися й вирішуватися раніше, ніж протиріччя, що загострилися, почнуть стримувати темпи розвитку систем. Таким чином, теорія вирішення винахідницьких завдань поступово переростає в теорію розвитку технічних систем.

Структуру і зміст ТВВЗ на сьогоднішній день показано на рис. 10.

У дійсному виданні розглядаються фундаментальні розділи «залізного» ТВВЗ – ЗРТС, вепольний аналіз і стандарти на вирішення винахідницьких завдань, протиріччя і їхнє розв'язання у техніці, використання ефектів у вирішенні технічних і дослідницьких завдань.

Контрольні запитання

1. Коротко охарактеризуйте історію розвитку методів технічної творчості.
2. Які правила проведення «мозкового штурму»?
3. У чому полягає метод синектики?
4. Перелічіть види аналогій.
5. У чому полягає метод фокальних об'єктів?
6. Як проводиться морфологічний аналіз?
7. У чому полягає метод десяткових матриць?
8. Охарактеризуйте метод контрольних запитань.
9. Яка структура ТВВЗ?

3. ЗАКОНИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Закономірності розвитку технічної системи являють собою виявлення дії загальних законів діалектики: єдності й боротьби протилежностей, переходу кількісних змін у якісні, заперечення. Практичні додатки цих законів до техніки можуть називатися і законами, і закономірностями.

У науці виділяють три групи законів. Ті з них, які характеризують об'єкт у нерухомому стані, називають законами статистики, до них належать і закони будови об'єкта. Закони, що характеризують його рух, називаються законами динаміки. У випадках, коли фіксуються зміни в часі, їх описують закони кінетики.

У працях, присвячених теорії вирішення винахідницьких завдань, виділена група таких законів статистики, що визначають умови виникнення й життєздатності технічних систем:

- закон повноти частин системи, що означає обов'язкову наявність і хоча б мінімальну працездатність основних її компонентів – двигуна, трансмісії, робочих органів і засобів керування;
- закон енергетичної провідності системи, що потребує дотримання принципу наскрізного проходу енергії крізь систему;
- закон узгодження ритміки частин системи, що передбачає узгодження частот коливань, періодичності дії та інших параметрів.

Друга, виділена в ТВВЗ група законів визначає характер розвитку технічних систем:

- закон збільшення ступеня ідеальності системи, що відбиває поняття про ідеальну машину, яке широко використовується в ТВВЗ. Теоретичний ідеал – мета, до якої слід прагнути. Оскільки на практиці досягти ідеал неможливо, до нього слід максимально наблизитися при вирішенні завдання;
- закон нерівномірності розвитку частин системи, що виявляється в тому, що розвиток відбувається нерівномірно через виникнення і розв'язання технічних протиріч. Чим складніша система, тим більше можливостей нерівномірного розвитку її частин;
- закон переходу в надсистему, це означає, що розвиток системи є можливим до певної межі, після чого вона включається в надсистему як одна з її частин, і подальший розвиток відбувається на рівні надсистеми;
- закон динамізації, що вказує на необхідність переходу будь-якої системи, що розвивається, від жорсткої, змінної структури

ри до структури гнучкої, що піддається керованій зміні. Керуючись хоча б тільки законом динамізації, певною мірою можна прогнозувати розвиток ряду діючих систем;

- закон переходу робочих органів системи з макрорівня на мікрорівень, що відбиває одну з головних тенденцій розвитку технічних систем у цей час.

Можна простежити певний зв'язок цих груп з моделлю «життя, розвиток, смерть» технічних систем. Закони статички характерні для періоду виникнення й формування технічної системи, закони кінематики – для періоду початку зростання й становлення розвитку, закони динаміки – для завершального етапу розвитку і переходу до нової системи.

3.1. Етапи розвитку технічних систем

Криві, побудовані в системі координат, де по вертикалі відкладають числові значення однієї з головних експлуатаційних характеристик системи (наприклад, швидкість літака, потужність електрогенератора і т.п.), а по горизонталі – «вік» технічної системи або витрати на її розвиток, одержали назву S-подібних (за зовнішнім виглядом кривої, рис. 11). Такі криві – певна ідеалізація; реальні технічні системи, параметри яких використовувалися при їхній побудові, створювалися різними конструкторами, у різних умовах експлуатувалися, тому дані про них найчастіше неточні.

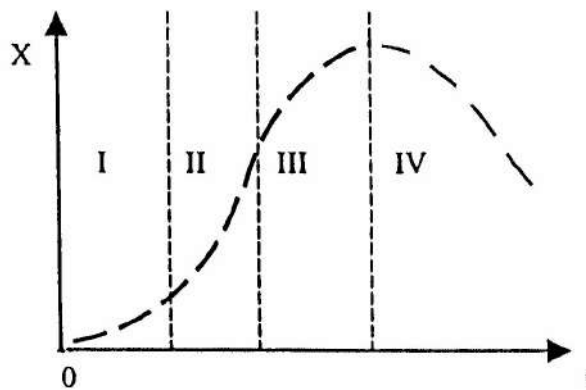


Рис. 11. Етапи розвитку технічної системи

Зародження й початок зростання технічної системи. Нова технічна система зароджується в той момент, коли виникає можливість її технічної реалізації. Як правило, її зародження відбувається в умовах, коли відповідну корисну функцію виконують старі системи, і сукупні параметри П (ділянка I на рис. 11), якими характеризується виконання корисної функції новою системою, не занадто високі. На

цьому етапі над удосконалюванням нової технічної системи працюють одиниці вчених і винахідників, причому у фінансовому відношенні система завдає збитку, оскільки широке впровадження ще не почалося. Як правило, найсильніші технічні рішення, що кардинально впливають на життєздатність системи, виникають саме на цьому етапі.

Обставини зародження нової технічної системи (ТС) визначаються рівнем її новизни.

Найбільшу новизну має піонерська система, що не має аналогів (літак, телевізор, радіо тощо), створенню якої нерідко передують кілька невдалих спроби, пов'язані з тим, що розвиток науки і техніки ще не досяг необхідного для її створення рівня.

Принципово нові системи створюються також для виконання функцій, що раніше виконувалися людиною (наприклад, механічний супорт, який замінив руки людини, що держали різець), і для заміни вже існуючої системи (наприклад, напівпровідниковий транзистор, що прийшов на зміну ламповому тріоду).

Ще один вид новизни – принципово нове застосування існуючих систем, що часто є початком зародження нової системи. Наприклад, з минулого століття існують електролізні установки для розкладу води. У тридцятих роках було виявлено, що в них відбувається підвищення концентрації важкої води (на основі дейтерію). У результаті були створені спеціальні електролізні установки для одержання важкої води, що використовується в атомній промисловості.

Нова система звичайно досить примітивна, має масу недоліків, тому відразу починається робота з її вдосконалювання; пошук найкращої конструктивної реалізації.

Ефективність системи на цьому етапі надзвичайно низька, часто негативна: користі від системи мало, а витрати великі. Одна з причин – протиріччя між новим змістом і старою формою, в якій воно, як правило, реалізується. Стара форма не дозволяє відразу виявити нові можливості, переваги. Наприклад, малоефективним здавалося електрозварювання, поки ним намагалися замінити звичайне ковальське зварювання.

На першому етапі головною рушійною силою розвитку технічної системи є особистий інтерес її творців (ентузіазм, марнославство, спортивний дух, надія на збагачення й т.п.). Протистоять їм потужні сили гальмування. Появу нової системи завжди зустрічають недовіра й активний опір її впровадженню, що збільшується в тих випадках, коли нова система не піонерська, а така, що йде на зміну старої. У цьому випадку до звичайної психологічної інерції суспільства додається ще й свідомий опір фахівців, що розробили стару систему. Важливою складовою сил гальмування є величезні технічні труднощі, відсутність

засобів, високий рівень розплати, у тому числі й загибель ентузіастів.

Основна робота на першому етапі – зниження факторів розплати: збільшується надійність, безаварійність, зручність експлуатації.

Якщо в суспільства є потреба в тій функції, на виконання якої орієнтована нова система (або ця функція зародилася разом із системою), то починається наступний етап у житті системи – її розвиток (ділянка II на рис. 11).

Період інтенсивного розвитку технічної системи. Основним змістом цього етапу є швидкий, лавиноподібний, такий, що нагадує ланцюгову реакцію, розвиток. Так, у 1914 році конструкції літаків стали більш відпрацьованими, істотно знизилася кількість аварій. Світова війна, що почалася, підвищила рівень допустимості факторів розплати, ризик аварії виявився порівняним з ризиком загибелі під час бойових дій. Одночасно різко зросла потреба в літаку, з'явилися нові функції, пов'язані з його військовим застосуванням. Все це викликало дійсний літаковий бум: відкриваються численні авіаційні конструкторські бюро, виділяються більші кошти, відбувається навчання льотчиків. У результаті за чотири роки (з 1914 по 1918 рр.) літак перетворився в потужну, надійну, ефективну бойову машину. Його швидкість збільшилася майже вдвічі.

Різко збільшується кількість людей, що працюють над удосконалюванням системи, зростає кількість відповідних винаходів (не таких великих, які привели до зародження системи, але досить вагомих, щоб помітно підвищити її сукупні корисні параметри П). Впровадження системи дає прибуток, що постійно зростає, вона успішно конкурує зі старими системами, орієнтованими на виконання тієї ж функції.

Характерною рисою даного етапу розвитку стає активна експансія нової системи – вона витісняє з екологічних ніш інші, застарілі, породжує безліч модифікацій і різновидів, пристосованих для різних умов і цілей. Літак на цьому етапі розвитку витиснув аеростати і дирижаблі, у багатьох випадках замінив далекобійну артилерію (а під час Другої світової війни – і протитанкову), почав виконувати транспортні, розвідувальні та інші функції. Виникла спеціалізація: винищувачі, бомбардувальники, розвідники, літаки сухопутні й морські, на колесах і на лижах, транспортні, зв'язкові та ін.

Головною рушійною силою розвитку на другому етапі стає суспільна потреба, що виявляється у вигляді певного роду вимог або претензій до системи з боку надсистеми, навколишнього середовища:

- руйнуючі претензії, що викликають необхідність у захисті. До них належать вплив зовнішнього середовища, корозія, перешкоди в роботі, вплив інших систем (на літак, наприклад, зенітного вогню, винищувачі супротивника);

- претензії, що витісняють, з боку конкуруючих систем, що безпосередньо не руйнують існуючу, але прагнуть витиснути її з екологічної ніші, наприклад, конкуренція однотипних літаків за право на озброєння, суперництво транспортної авіації із залізничним і автомобільним транспортом;
- стимулюючі претензії з боку систем, що потребують розвитку даної для свого функціонування, наприклад, використання для винищувачів куленепробивного скла стимулює розвиток скляного виробництва.

Претензії першого виду діють на систему безпосередньо, а другого й третього – опосередковано, через людину, через економіку. Дуже часто через взаємний вплив систем одна на одну здійснюється прискорений розвиток по типу позитивного зворотного зв'язку – розвиток снарядів сприяє прискореному вдосконалюванню броні, а це, у свою чергу, викликає прискорення розвитку снарядів і т.д. Аналогічні позитивні зворотні зв'язки виникають у розвитку конструкції й технології виробництва різного виду виробів – нові конструктивні рішення потребують розвитку технології, а поліпшення технології дозволяє реалізувати нові конструктивні рішення.

Сили гальмування, характерні для попереднього етапу, послабляються і поступово зникають (хоча часом досить повільно). З'являються нові фактори, що гальмують розвиток, у першу чергу недостача освічених людей, потрібного устаткування, ресурсів. Виникають і технічні труднощі: нерозв'язність деяких важливих питань, відсутність теоретичного обґрунтування та ін.

На другому етапі технічна система стає економічно вигідною, і ефект постійно зростає. Але до кінця етапу, незважаючи на все більш зростаючий внесок сил і засобів у розвиток системи, зростання найважливіших її характеристик уповільнюється. Звичайно це відбувається через те, що різко, нелінійно починає збільшуватися та або інша шкідлива функція, якийсь із факторів розплати. Наприклад, опір повітря для літаків при швидкостях від 100 до 300...400 кілометрів на годину збільшується приблизно пропорційно приросту швидкості. Але в міру наближення до звукового бар'єра цей опір починає зростати пропорційно вже 3 – 5-й ступеням швидкості літака. І через це навіть значне збільшення потужності мотора не приводить до істотного зростання швидкості. У розвитку системи настає новий етап (ділянка III, рис. 11).

«Старість» і «смерть» технічної системи. Основним змістом цього етапу є стабілізація параметрів системи. Невеликий приріст їх ще спостерігається на початку етапу, але надалі практично зупиняється, незважаючи на те, що вкладення сил і засобів зростає. Різко збіль-

шуються складність, наукоємність системи, навіть невеликі поліпшення параметрів потребують, як правило, дуже серйозних досліджень. Разом з тим економічність системи залишається ще високою, тому що навіть невелике вдосконалення, помножене на масовий випуск, виявляється ефективним.

Рушійними силами розвитку на цьому етапі залишається потреба суспільства. Разом з тим для ряду систем воно може бути цілком задоволено досягнутим рівнем і не мати потреби в поліпшенні. У цьому випадку витрати суспільства різко знижуються, тому що вони пов'язані саме зі спробами вдосконалювання. А відтворення системи може бути досить дешевим, більш того, витрати на нього будуть знижуватися за рахунок підвищення загального рівня технології. До таких систем належать прості інструменти типу ніж, лопата, молоток, свердла тощо. З 80-х років минулого сторіччя не змінюється конструкція револьвера. Необхідно відзначити, що відмова суспільства від спрямованого вдосконалювання подібних систем зовсім не означає повного припинення їхнього розвитку. Вони поліпшуються за рахунок появи нових матеріалів, технологічних можливостей, нового обладнання та ін. Зрештою стара, віджита система «вмирає», замінюється принципово новою, більш прогресивною і є всі можливості для подальшого її розвитку (етап IV, рис. 11).

3.2. Закон повноти частин технічної системи

Будь-яка технічна система, що самостійно виконує яку-небудь функцію, має чотири основні частини – двигун, трансмісію, робочий орган і засіб керування. Якщо в системі відсутня яка-небудь із цих частин, то її функцію виконує людина або навколишнє середовище.

Двигун – елемент технічної системи, що є джерелом або нагромаджувачем енергії для виконання необхідної функції.

Трансмісія – елемент технічної системи, що транспортує енергію від двигуна до робочого органа з перетворенням її якісних характеристик (параметрів).

Робочий орган – елемент технічної системи, що передає енергію елементам навколишнього середовища і завершає виконання необхідної функції.

Засіб керування – елемент технічної системи, що регулює потік енергії по частинах і узгоджує їхню роботу в часі й просторі.

Для того щоб правильно виявити частини системи, необхідно спочатку визначити функцію системи й стосовно до неї спочатку визначити робочий орган, а потім інші частини. Візьмемо, наприклад, фрезерний верстат. Основна функція верстата – зняти зайвий мате-

ріал із заготовки шляхом різання. Яка частина верстата завершує виконання цієї функції й віддає заготовці всю свою енергію? Це фреза – вона і є робочим органом розглянутої системи. Двигуном у верстаті служить сам електродвигун. А все, що перебуває між ним і фрезою, можна вважати трансмісією. Засіб керування – різні рукоятки, кнопки, а також програмне забезпечення, якщо таке є у верстаті.

Прообразом сучасного велосипеда – «самошвидкої коляски» була просто дерев'яна поперечина з двома колесами. У зародженій системі був присутній тільки один робочий орган – колесо. Роль двигуна, трансмісії й засобу керування виконував сам сідок, старанно відштовхуючись від полотна дороги й нахиляючи свій корпус для повороту в потрібний бік. Не даремно слово «велосипед» у перекладі на українську мову означає «швидкі ноги».

Однак відштовхуватися від дороги й гальмувати по ній ногами небезпечно, та й зростають витрати на підметки. Звичайно, краще штовхати ногами саме колесо. Але тут треба бути ще більшим віртуозом, щоб ноги не потрапити в спиці колеса й вчасно прибрати їх. Робота ногами полегшилася й стала безпечною, коли до осі колеса здогадалися приклепати педалі у вигляді коловорота. Так з'явилися зачатки трансмісії, що відійшли від робочого органа. У шевців різко зменшилося роботи, а кавалери, змагаючись у швидкості, усе більш збільшували діаметр переднього колеса. Велосипед став швидше рухатись, але почастишали удари об перешкоди. Було вже ясно, що переднє колесо має якось повертатися, адже це передбачено навіть на возі. Відбулось перенесення досвіду з однієї області техніки в іншу. На велосипеді з'явилось поворотне колесо з однорогою рукояткою – дишлом. Тепер уже можна не боятися заборів – з'явився орган керування, і знову стали нарощувати швидкість шляхом збільшення діаметра провідного переднього колеса з педалями. Але раптом виявилось, що при черговому збільшенні діаметра колеса ноги сідока вже не дотягувалися до педалей. Прогрес зупинився. Потрібно було міняти або їздця, або трансмісію велосипеда. Вибрали друге. Закріпили педалі на рамі й з'єднали їх з колесом гнучким шарнірним зв'язком. Трансмісія розділилася на частини, і це забезпечило розвиток всієї системи. За допомогою ланцюга було досягнуто штучне «подовження» ноги. А коли ланцюг був перенесений на заднє колесо і з'явилися дійсне кермо й гальма, сформувалася класична форма велосипеда: з'явилися робочий орган, трансмісія, засіб керування, але двигуном залишалася людина. Цікава деталь: перед появою «справжнього» двигуна технічна система намагається заповнити його відсутність утворенням із трансмісії ділянки, здатної нагромаджувати енергію. Так було із саморушним візком Кулібіна, водій якого наполегливо розкручував маховик, нагромаджуючи в ньому енергію, щоб перебороти підйом.

І тільки через роки з'явилися дійсні мотоцикли й автомобілі зі своїми двигунами. Формування основних частин технічної системи завершилося. У міру вдосконалювання частин системи з неї усе більш й більш витісняється людина. Людині залишається тільки визначати програму, за якою і буде працювати система.

3.3. Витиснення людини з технічної системи

У процесі розвитку технічної системи відбувається поетапне витиснення з неї людини, тобто техніка поступово починає виконувати функції, що раніше виконувала людина, тим самим наближаючись до повної системи, що виконує свої функції без участі людини.

Витиснення людини з технічної системи фактично означає послідовну передачу машинам фізичної, монотонної праці й перехід людини до більш інтелектуальних видів діяльності, тобто відбиває загальний прогресивний розвиток суспільства.

Можливі два шляхи витиснення людини з технічної системи. Перший – витиснення людини як індивіда, заміна його діяльності пристроями, що виконують ті ж самі операції. У переважній більшості випадків це невірний, тупиковий шлях. Другий, більш ефективний шлях – відмова від «людського» принципу роботи, технології, розрахованої на людські можливості й інтелект. Це стає можливим тільки після виявлення, спрощення й «деінтелектуалізації» виконуваних функцій.

На рис. 12 наведено структуру повної (тобто такої, яка не потребує участі людини) системи. Вона містить три функціональних рівні: виконавський (1), керування (2) і прийняття рішень (3). Для виконання своїх функцій на кожному рівні є робочі органи (інструменти), перетворювачі й джерела (енергії або інформації).

Переважає більшість існуючих систем – це неповні системи. Відсутні частини заміщує людина, але в міру розвитку системи все більша кількість функцій передається машині, повнота системи збільшується. Розвиток техніки починався з досистемного рівня, коли людина не мала ніяких інструментів крім власних рук, зубів, нігтів тощо, і надалі відбувалося послідовне витиснення людини спочатку усередині одного рівня, а потім на більш високих й супроводжувалося такими подіями:

- при витисненні з виконавського рівня: поява простих інструментів типу дрюк, кам'яний ніж (1.1); простих механізмів – перетворювачів енергії типу важіль, лук, блок (1.2); використання замість мускульної сили різних джерел енергії – вітру, води, парових машин (1.3);



Рис. 12. Послідовність витиснення людини з технічної системи

- з рівня керування: поява пристроїв керування з механізмами – кермо корабля, перехід від балансирних планерів, в яких керування здійснювалося переміщенням тіла людини, до використання повітряних рулів – елеронів (2.1); поява механізмів – перетворювачів команд у системах керування – сервомотори, бустерні пристрої (2.2); поява джерел команд – копійні пристрої токарних фрезерних автоматів, найпростіші автотопіоти без зворотних зв'язків і логічних схем (2.3);
- з рівня прийняття рішень: поява датчиків, що замінюють органи почуттів людини, які дозволяють підвищити точність одержуваної інформації, а також одержувати інформацію, не доступну органам почуттів людини (3.1); поява перетворювачів інформації – від найпростіших біноклів до електронних систем (3.2); поява систем оцінки інформації й прийняття рішень – автоматичних систем керування (3.3).

Витиснення людини із системи швидше й легше відбувається на першому рівні, а на третьому – навпаки, тому що людина є набагато ефективнішою «інформаційною машиною», ніж «енергетичною».

Розуміння закономірностей виконувати послідовне витиснення людини з технічної системи дозволяє здійснювати роботу з її вдосконалювання цілеспрямовано, уникаючи типових помилок, пов'язаних із забіганням уперед, тобто спробами витиснення людини з більш далеких етапів, не забезпечивши витиснення з попередніх, наприклад автоматизація керування системи (3.3), в якій основним джерелом енергії усе ще залишається людина (1.3).

3.4. Закон збільшення ступеня ідеальності

Розвиток усіх систем відбувається в напрямку збільшення ступеня ідеальності. У ТВВЗ використовується зручне на практиці поняття про підвищення ступеня ідеальності як про наближення технічної системи до деякої ідеальної машини, що визначається як машина, якої не існує, а її функції виконуються. Аналогічно можна визначити ідеальний технологічний процес як процес, якого немає, а його результат – продукція – одержується. Існування технічної системи – не самоціль, вона потрібна для виконання корисних функцій. Ідеальний випадок, коли така технічна система виконує їх без усякої втрати – не має ваги, розмірів, не витрачає енергію, матеріали тощо. Зрозуміло, що досягти цього в реальності неможливо, за винятком тих випадків, коли виконання потрібних функцій бере на себе (по сумісництву) якась інша, уже наявна система, що використала функціональний ресурс. Закон підвищення ступеня ідеальності технічних систем є найважливішим у ТВВЗ. На базі поняття ідеальності вводиться подання про ідеальне рішення, ідеальний кінцевий результат (ІКР) рішення. Формулювання ІКР виконується за таким правилом: система (або її частина) сама забезпечує досягнення кінцевої мети. Формулюючи ІКР, не слід замислюватися над тим, як можна досягти близького до нього рішення.

ІКР дозволяє вибрати з безлічі напрямків найперспективніше рішення, тому що хоча він, як правило, недосяжний, але в безпосередній близькості від нього лежить область винахідницьких рішень високого рівня.

Оскільки для виконання функції потрібен тільки матеріальний об'єкт, то замість зниклої (ідеалізованої) системи цю функцію мають виконувати інші системи (сусідні ТС, над- або підсистеми). Тобто частина систем перетвориться таким чином, щоб виконувати ще й додаткові функції – функції зниклих систем. Прийнята до виконання «чужа» функція може бути аналогічною власній, тоді відбувається просто збільшення головної корисної функції (ГКФ) даної системи. Якщо ж функції не збігаються – відбувається збільшення кількості функцій системи. Зникнення систем і збільшення ГКФ або кількості виконуваних функцій – дві сторони загального процесу ідеалізації.

Тому розрізняють два види ідеалізації систем (рис. 13 [24]):

– 1-го виду, коли маса (М), габарити (Г), енергоємність (Е) наближаються до нуля, а ГКФ або кількість виконуваних функцій залишається незмінною:

$$I(S_1) = \lim_{\substack{M, \Gamma, E \rightarrow 0 \\ n = \text{const}}} \Phi_n (M, \Gamma, E).$$

– 2-го виду, коли ГКФ або кількість функцій збільшується, а маса, габарити, енергоємність залишаються незмінними:

$$I(S_2) = \lim_{\substack{M, \Gamma, E \rightarrow 0 \\ n = \infty}} \Phi_n (M, \Gamma, E),$$

тут Φ_n – функція системи або «сума» декількох функцій.

Загальний тип ідеалізації систем відбиває обидва процеси (зменшення M, Γ, E і збільшення ГКФ або кількості функцій):

$$I = \lim_{\substack{M, \Gamma, E \rightarrow 0 \\ n = \infty}} \Phi_n (M, \Gamma, E).$$

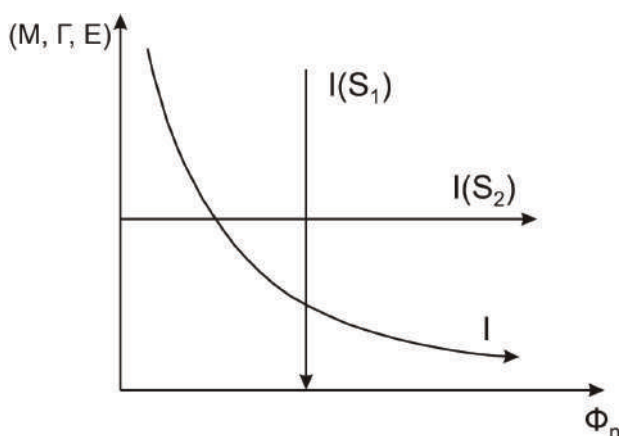


Рис. 13. Типи ідеалізації систем

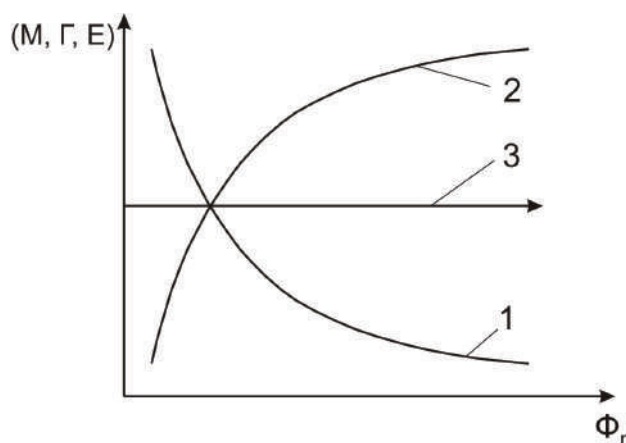


Рис. 14. Один зі змішаних типів ідеалізації реальних систем:

1 – процес ідеалізації загального типу; 2 – процес збільшення корисно-функціональних підсистем (розгортання ТС – збільшення M, Γ, E); 3 – рівнодіюча лінія розвитку

Таким чином, граничний випадок ідеалізації техніки полягає в її зменшенні (і, в остаточному підсумку, у зникненні) при одночасному збільшенні кількості виконуваних нею функцій. В ідеалі техніки не повинно бути, а функції, потрібні людині й суспільству, мають виконуватися.

Ідеалізація реальних технічних систем може відбуватися шляхом, що відрізняється від наведених залежностей. Найчастіше спостерігається змішаний тип ідеалізації, коли виграш у M, Γ, E отриманий у процесі ідеалізації, відразу витрачається на додаткове збіль-

шення ГКФ або кількості функцій. Ці процеси можна умовно зобразити кривими, показаними на рис. 14.

Подібні залежності характерні, наприклад, для авіації, водного транспорту, військової техніки тощо. Процес ідеалізації зовні аналогічний 2-му виду I (S_2), коли збільшення ГКФ відбувається при незмінних значеннях M, Γ, E . Насправді M, Γ, E підсистем зменшуються, але самі ці підсистеми подвоюються, потроюються, з'являються нові й т.д. Таким чином, на рівні підсистем відбувається процес ідеалізації 1-го виду, а на рівні технічних систем – 2-го виду.

Якщо рознести в часі процеси 1, 2 (рис. 14), тобто розділити змішаний процес на два роздільних, то одержимо якийсь узагальнений (нормальний) процес розвитку технічних систем, що включає фазу розгортання і фазу згортання системи (рис. 15). Технічна система, виникнувши, починає «завойовувати» простір (збільшує свої M, Γ, E), а досягнувши деякої межі, зменшується (згортається).

Процес розвитку технічних систем відбувається у часі, тому горизонтальна вісь (Φ_n – ГКФ) це одночасно й вісь часу – кожний винахід збільшує ГКФ системи (рис. 16).

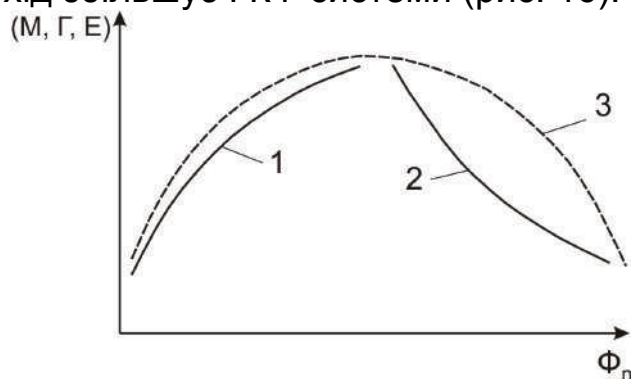


Рис. 15. Нормальний вигляд ідеалізації реальних систем: 1 – розгортання ТС; 2 – згортання ТС; 3 – оригінальна крива



Рис. 16. Розвиток ТС у часі

Ці графіки можна перетворити в остаточний вигляд – хвилеподібну криву розвитку технічної системи в просторі й часі (рис. 17). Ця модель розвитку справедлива для всіх рівнів ієрархії – над- і підсистем, речовини.

Таким чином, процес розвитку (ідеалізації) технічних систем можна описати виразом

$$I = \lim_{\substack{M, \Gamma, E \rightarrow \max(M, \Gamma, E) \\ n \rightarrow \infty}} \Phi_n(M, \Gamma, E) + \lim_{\substack{M, \Gamma, E \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \Phi_n(M, \Gamma, E).$$

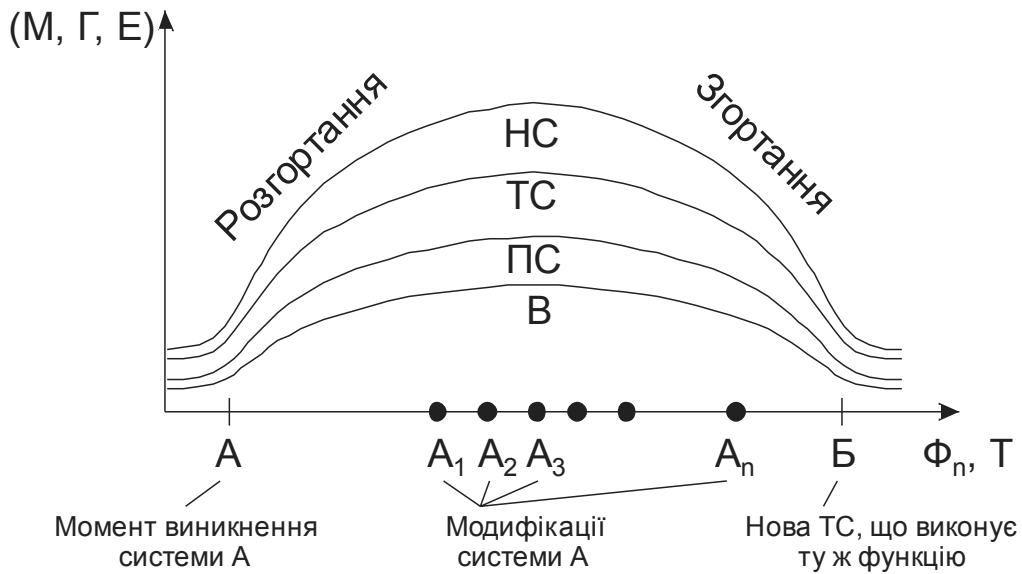


Рис. 17. Просторово-часова модель розвитку ТС

Один з механізмів розгортання (переходу в НС) – перехід «моно-бі-полі» добре вписується в «хвилю» розвитку ТС (рис. 18). На будь-якому етапі розвитку (розгортання) система може бути згорнута в ідеальну речовину – у нову моносистему, що може стати початком нової хвилі розвитку.

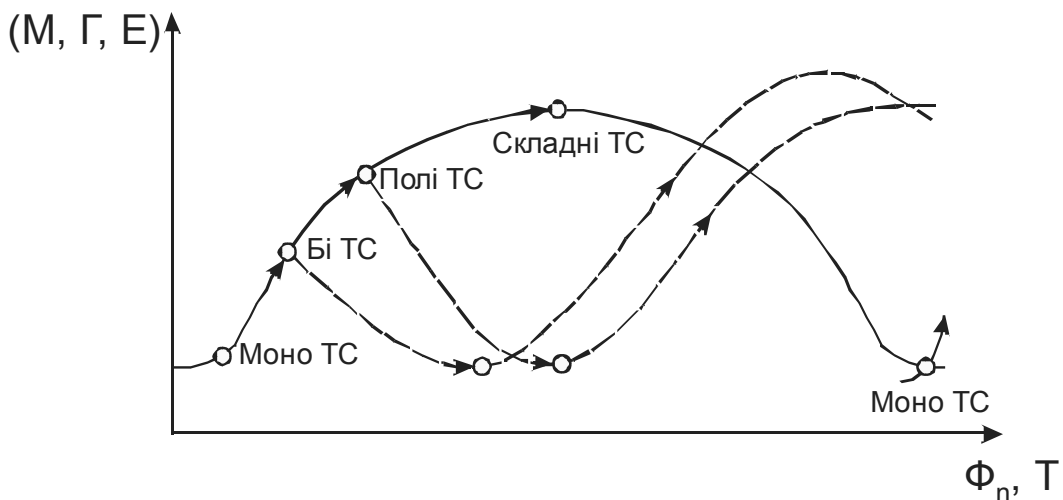


Рис. 18. Модель розвитку технічних систем

Як робляться кроки по лінії розвитку технічної системи, що рухає систему від одного винаходу до іншого, який механізм цього процесу?

Аналіз історії розвитку багатьох ТС показує, що всі вони розвиваються послідовно:

1. Виникнення потреби.
2. Формулювання головної корисної функції – соціального замовлення на нову технічну систему.

3. Синтез нової технічної системи, початок її функціонування (мінімальна ГКФ).

4. Збільшення ГКФ – спроба «визнати» із системи більше, ніж вона може дати.

5. При збільшенні ГКФ погіршується якась частина (або властивості) технічної системи – виникає технічне протиріччя, тобто з'являється можливість сформулювати винахідницьке завдання!

6. Формулювання необхідних змін ТС (відповідь на запитання: що треба зробити для збільшення ГКФ і що не дозволяє нам це зробити?), тобто перехід до винахідницького завдання.

7. Вирішення винахідницького завдання із застосуванням знань із галузі науки і техніки (і навіть ширше – з культури взагалі).

8. Зміна в технічній системі відповідно до винаходу.

9. Збільшення ГКФ (див. крок 4).

Підвищення ідеальності технічних систем може відбуватися як у рамках існуючої конструктивної концепції, так і в результаті радикальної зміни конструкції, принципу дії системи.

Підвищення ідеальності системи конструктивної концепції у рамках існуючої пов'язане з кількісними змінами в системі й реалізується як за допомогою компромісних рішень, так і шляхом вирішення винахідницьких завдань нижчих рівнів, заміни деяких підсистем на інші, відомі. При цьому можна виділити такі тенденції:

«Дотягування», тобто поліпшення виконання корисних функцій за рахунок оптимізації різного роду дрібних удосконалень.

Приклад. Застосування поліпшених матеріалів, введення додаткових регулювань, підбір оптимальних розмірів, передатних відношень і т.п.

«Вижимання», тобто зниження факторів розплати за рахунок оптимізації різного роду дрібних удосконалень.

Приклад. Застосування більш дешевих матеріалів, стандартизованих елементів, виключення надлишкових запасів міцності, підвищення технологічності й т.п.

Корекція, тобто зниження факторів розплати шляхом повної або часткової компенсації шкідливих функцій системи, виправлення її недоліків.

Приклад. Застосування антифрикційних і фіброгасильних прокладок, гнучких муфт, що компенсують неспіввісність валів, «плаваючих» встановлювальних елементів і т.п.

Універсалізація, тобто збільшення кількості виконуваних системою корисних функцій. Найчастіше на дану систему передаються функції інших систем, що входять в одну з нею надсистему.

Спеціалізація, тобто різке підвищення якості виконання одних

корисних функцій при відмові від інших.

Приклад. Створення гами спеціалізованих автомобілів: машини для збирання сміття, поливання вулиць, снігоприбиральні, пожежні та ін.

Підвищення одиничної потужності транспортного, обробного, добувального, енергетичного устаткування.

Приклад. Потужність турбогенераторів приблизно за 20 років зросла з 100 до 500 тисяч кіловатів. Незважаючи на те, що це зростання супроводжувалося збільшенням факторів розплати (вага, вартість тощо), до останнього часу він був виправданий. Зараз потужності досягли рівня мільйона кіловатів, але подальше зростання не передбачається, мабуть, у зв'язку з тим, що фактори розплати (втрати в народному господарстві при аварійній зупинці генератора) досягли неприпустимих величин.

Використання ресурсів технічних систем є одним з важливих механізмів підвищення як загальної, так і приватної ідеальності.

У багатьох випадках необхідні для вирішення завдання ресурси є в системі в придатному для застосування вигляді – готові ресурси. Потрібно тільки здогадатися, як їх використати. Але нерідкі ситуації, коли наявні ресурси можуть бути використані тільки після певної підготовки: нагромадження, видозміни тощо. Такі ресурси називаються похідними. Нерідко як ресурси, що дозволяють удосконалювати технічну систему, вирішувати винахідницьке завдання, використовуються також фізичні й хімічні властивості наявних речовин – здатність зазнавати фазових переходів, змінювати свої властивості, вступати в хімічні реакції й т.п.

Розглянемо ресурси, найбільш часто використовувані при вдосконаленні технічних систем.

Ресурси речовини готові – це будь-які матеріали, з яких складається система і її оточення, продукція, що випускається нею, відходи тощо, які, у принципі, можна використати додатково.

Приклади. На заводі, що випускає керамзит, останній використовують як заповнювач фільтра для очищення технічної води.

На півночі як заповнювач фільтрів для очищення повітря використовують сніг.

Ресурси речовини похідні – речовини, що одержуються в результаті будь-яких впливів на готові речовинні ресурси.

Приклади. Для захисту труб від руйнування сірковмісними відходами нафтоперегінного виробництва через труби попередньо прокачують нафту, а потім продуванням гарячого повітря окислюють нафтову плівку, що залишилася на внутрішній поверхні, до лакоподібного стану.

Для миття посуду в ресторанах запропоновано використовувати замість мила розчин натрієвої соди, що розчиняє харчові жири.

Ресурси енергії готові – будь-яка енергія, нереалізовані запаси якої є в системі або її оточенні.

Приклади. В обприскувачі для дерев тиск рідини створюється під дією кроків того, хто працює, завдяки закріпленому на його чоботі нагнітачу.

Абажур для настільної лампи обертається завдяки конвекційному потоку повітря, що створюється теплом лампи.

Відтавання вічної мерзлоти відбувається за допомогою тепла води, добутої із глибокої (за межами вічної мерзлоти) свердловини.

Ресурси енергії похідні – енергія, що одержується в результаті перетворення готових енергетичних ресурсів в інші види енергії або зміни напрямку їхньої дії, інтенсивності та інших характеристик.

Приклади. У магнітогідродинамічному насосі для перекачування рідких металів магнітне поле створюється електромагнітом, який одержує енергію від термопар, що використовують тепло розплавленого металу.

Світло електричної дуги, відбите дзеркалом, прикріпленим до маски зварника, висвітлює місце зварювання.

Ресурси інформації готові – інформація про систему, яку можна отримати за допомогою полів розсіювання (звукового, теплового, електромагнітного та ін.) у системі або за допомогою речовин, що проходять через систему або виходять із неї (продукція, відходи).

Приклади. При вмиканні й вимиканні ліній електропередачі виникають потужні електромагнітні імпульси. Їх використовують для глибокого зондування Землі при пошуку корисних копалин.

За пульсом тибетська медицина діагностує до 200 хвороб.

Відомий спосіб визначення марки й параметрів сталі за іскрами, що відлітають при її обробленні.

Ресурси інформації похідні – інформація, яку одержують в результаті перетворення непридатної для сприйняття або оброблення інформації в корисну, як правило, за допомогою різних фізичних або хімічних ефектів.

Приклади. Для вивчення розподілу тисків у важкодоступних місцях, наприклад між матрицею й плитою преса, між ними укладають тонкі аркуші білого й копіювального паперу. У результаті цього на білих аркушах з'являються відбитки, що показують розподіл тисків.

Для усунення перевантаження льотчика було запропоновано закріпити на його животі спеціальні електроди. З появою крену літака на них подається слабка напруга, і пілот відчуває легке «лоскотання» з боку крену.

При виникненні й розвитку тріщини у працюючих конструкціях виникають слабкі звукові коливання. Спеціальні акустичні установки уловлюють звуки в широкому діапазоні, обробляють їх за допомогою ЕОМ і з високою точністю оцінюють характер дефекту, що виник, і його небезпеку для конструкції.

Ресурси простору готові – наявне в системі або її оточенні вільне, незайняте місце. Ефективний спосіб реалізації цього ресурсу – використання порожнечі замість речовини.

Приклади. Для зберігання газу використовують природні порожнини в землі.

Для економії сільськогосподарських угідь помідори саджають між деревами фруктових садів.

Для економії місця у вагоні поїзда двері купе усовуються в міжстінний простір.

Ресурси простору похідні – додатковий простір, що одержують у результаті використання різного роду геометричних ефектів.

Приклад. Використання стрічки Мебіуса дозволяє не менш ніж у два рази підвищити ефективну довжину будь-яких кільцевих елементів: ремінних шківів, магнітофонних стрічок, стрічкових ножів тощо.

Ресурси часу готові – часові проміжки в технологічному процесі, а також до або після нього, між процесами, не використані раніше або використані частково.

Приклади. У процесі транспортування нафти по трубопроводу відбуваються її зневоднення й знесолення.

У роторно-конвеєрних лініях технологічний рух сполучений із транспортним.

Танкер, що перевозить нафту, одночасно здійснює її перероблення.

Ресурси часу похідні – часові проміжки, що одержують в результаті прискорення, переривання або перетворення в безперервні процесів, що відбуваються.

Приклади. Використання прискореної або вповільненої зйомки для швидкоплинних або дуже повільних процесів.

Передача інформації у вигляді короткого імпульсу, стислого в часі.

Ресурси функціональні готові – здатність системи і її підсистем виконувати за сумісництвом додаткові функції як близькі до основних, так і нові, несподівані (надефект).

Приклади. Було встановлено, що аспірин розріджує кров і тому в деяких випадках шкідливо впливає на організм людини. Цю його властивість було використано для профілактики й лікування інфарктів.

Для поліпшення якості запису співака мікрофон вставляють у його вушну раковину.

Ресурси функціональні похідні – здатність системи виконувати за сумісництвом додаткові функції після деяких змін.

Приклади. У прес-формі для виливання деталей з термопластів ливникові канали виконуються у вигляді корисних виробів, наприклад букв абетки.

Підймальний кран за допомогою нескладного пристрою сам піднімає свої підкранові блоки при ремонті.

У дворядному автомобільному двигуні було запропоновано вимкнути один з рядів циліндрів від подачі палива й використати його як компресор.

Системні ресурси – нові корисні властивості системи або нових функцій, які можна отримати при змінненні зв'язків між підсистемами або при новому способі об'єднання систем.

Приклади. Потужні турбогенератори з'єднують парами так, що один працює в режимі генератора, що живить інший, який працює в режимі двигуна й обертає перший. Таке з'єднання дозволяє випробувати обидва генератори в роботі при повному навантаженні. Для усунення втрат у машинах потрібно тільки додати привідний двигун невеликої потужності.

Технологія виготовлення сталевих втулок передбачала їхнє точіння з прутка, свердління внутрішнього отвору й поверхневе загартування. При цьому через гартівні напруги на внутрішній поверхні нерідко виникали мікротріщини. Було запропоновано змінити порядок операцій – спочатку точити зовнішню поверхню, потім здійснювати поверхневе загартування, а потім висвердлити внутрішній шар матеріалу. У цьому випадку після видалення висвердленого матеріалу зникають напруги.

Найефективніше вирішуються завдання, коли вдається використати як ресурси шкідливі речовини, поля, шкідливі функції системи. У цьому випадку виникає подвійний ефект – рятування від шкоди й додатковий вигаш.

Приклади. Крісло водія самоскида виконано таким чином, що при вібраціях, неминучих при русі, воно накачує повітря.

Вихлоп трактора підведено через леміш плуга в землю, тому продукти згоряння знешкоджуються, одночасно удобрюючи землю.

Пьезогенератор використовує шум двигуна для генерації електроенергії, необхідної для різних пристроїв літака.

Електрохімічне оброблення на змінному струмі дешевше, але при ньому інструмент руйнується не менше за виріб. Це небажане явище зробили корисним, перетворивши в інструмент іншу деталь,

наприклад, для припрацювання зубчастих коліс, що працюють у парі, їх опускають в електроліт і підмикають до джерела змінного струму.

Найефективнішим є комбіноване використання ресурсів різних видів.

Приклади. Автомобіль-бетономішалка використовує ресурс часу (бетон виготовляється при транспортуванні) і енергії (обертання бетономішалки здійснюється від двигуна автомобіля).

Деталі, отримані литтям, очищають від ливарної землі, поміщаючи їх у ванну з водою, в якій за допомогою електричного розряду створюється електрогідралічний удар. Але цей спосіб супроводжується дуже сильним шумом. Закривати ванну кришкою складно. Запропоновано покривати воду піною, що гасить звук. Для цього у воду додається небагато мила. Використано речовинні ресурси (воду й повітря), а також енергетичні й функціональні (піна збивається за допомогою електрогідралічних ударів).

Джерела ресурсів, їхнє місцезнаходження можуть бути різними. Ресурси можуть розташовуватися в оперативній зоні, тобто в зоні, в якій безпосередньо відбувається робочий процес, в інших підсистемах даної системи або бути її продукцією або відходами.

Приклади. Вихлопні гази снігоприбиральної машини подаються на формовані сніжні валки, ущільнюючи їх.

Силосна башта обігриває корівник, побудований навколо її.

Проточування залізничних коліс виконують під час руху поїзда за допомогою нескладного пристрою.

При бурінні скважин під палі вийнятий із землі ґрунт змішують із в'язучою речовиною і з цього матеріалу виготовляють палі.

Тепло, що випромінюється чавунним виливком, за допомогою екранів направляють на нього, таким чином регулюючи рівномірність його остигання для вилучення внутрішніх напружень.

Іншими джерелами ресурсів можуть бути системи – сусіди по загальній надсистемі, їхня продукція або відходи, а також зовнішнє середовище (повітря, вода, ґрунт, різні фонові поля: гравітаційне, електричне, магнітне, теплове та ін.).

Приклади. Склоочисник автомобіля застосовують як антену автомобільного радіоприймача.

Для відтавання мерзлого ґрунту використовують сонячне тепло, сконцентроване великими лінзами із прозорої поліетиленової плівки, заповненою водою.

Електричне поле Землі застосовують для керування польотом літака на малій висоті.

Серед ресурсів надсистеми й зовнішнього середовища необхідно особливо відзначити «копійчані» ресурси – широкодоступні, дешеві

речовини.

Приклади. Як добавку до корму для свиней використовують спучену гірську породу – перліт.

Золу теплових електростанцій використовують як стимулятор росту рослин, як наповнювач бетону.

Для запобігання окислюванню розпечена деталь, призначена для гарячого штампування, посипається силікатним склом, що, плавлячись, покриває поверхню деталі тонким шаром. При ударі преса під час штампування захисний шар розсипається.

Для полегшення пошуку й використання ресурсів можна скористатися алгоритмом пошуку ресурсів (рис. 19).

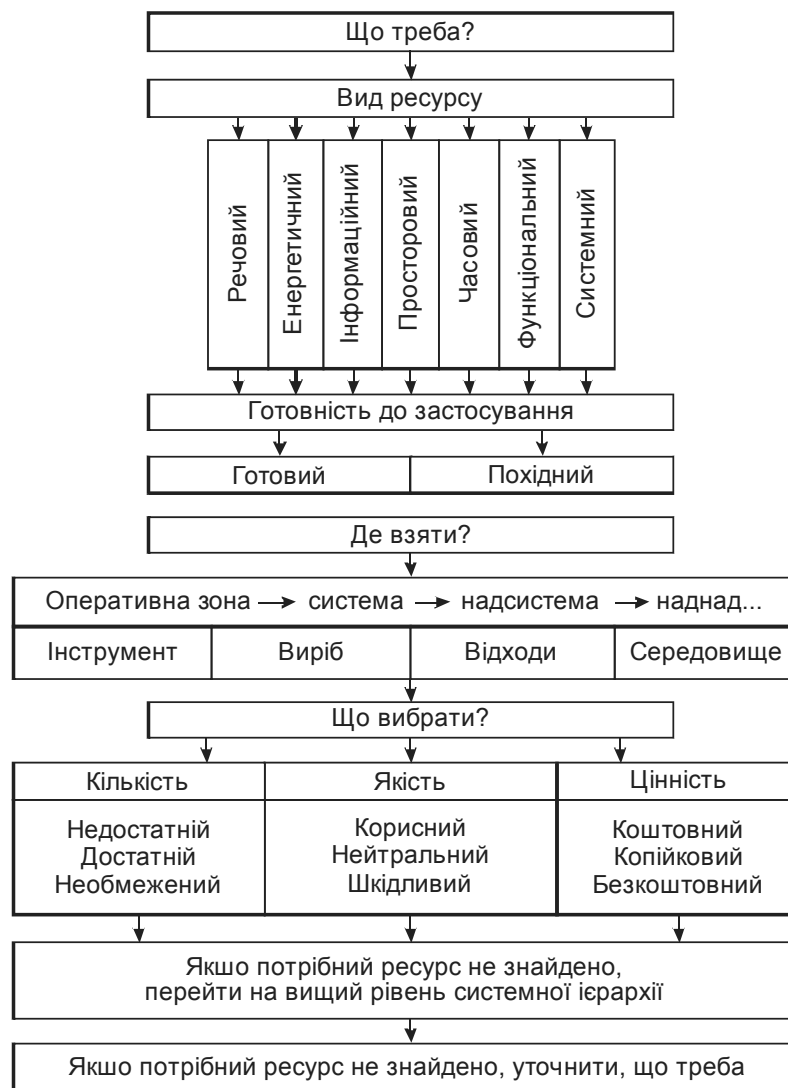


Рис. 19. Алгоритм пошуку ресурсів

У розвитку технічних систем виявлені ресурси можуть використовуватися по-різному, наприклад для звільнення від непотрібних ресурсів.

Інша можливість використання ресурсів – застосування для вирішення поставленого завдання.

Приклад. При створенні портативних рацій для альпіністів виникла проблема забезпечення температурної стабілізації кварцового кристала генератора. Звичайний термостабілізатор виходив надто важким, потребував спеціального живлення. Було виявлено і використано ресурс – стабільна температура людського тіла. Термостабілізацію кристала забезпечили, розташували його під пахвою альпініста.

Ще одна можливість використання ресурсів – пошук завдань, для вирішення яких могли б бути використані виявлені ресурси.

На першому етапі розвитку технічної системи по S-кривій ідеальність зростає переважно за рахунок зниження факторів розплати, на другому – за рахунок випереджального зростання корисних функцій. Це зростання практично зупиняє розвиток технічної системи при прискорюваному зростанні факторів розплати. У результаті цього ідеальність системи починає знижуватися, тобто її розвиток замінюється регресом.

3.5. Закон наскрізного проходження енергії

Однією з найчастіших причин виникнення протиріч розвитку технічної системи є порушення закону наскрізного проходження енергії через основні компоненти технічної системи – від двигуна (джерела енергії) через трансмісію (перетворювач енергії) до робочого органа під контролем системи керування.

Головною умовою "рівномірності" частин технічної системи з позиції енергопровідності є рівність їхніх здатностей щодо прийняття й передачі енергії. А ці здатності залежать від рівня розвитку кожної частини системи, що визначається за трьома складовими: речовина, енергія й організація.

Можна сформулювати три правила реалізації енергопровідності технічної системи.

1. Якщо елементи при взаємодії один з одним утворюють енергопровідну систему з корисною функцією, то для підвищення її працездатності в місцях контактування елементів мають бути речовини із близькими або однаковими рівнями розвитку.

У випадках, коли потрібно не відновлювати або розвивати енергопровідність частин технічної системи, а навпаки, розірвати її, то в першу чергу необхідно непогоджувати по рівнях розвитку контактуючі між собою частини.

2. Якщо елементи при взаємодії один з одним утворюють енер-

гопровідну систему зі шкідливою функцією, то для її руйнування в місцях контактування елементів мають бути речовини з різними або протилежними рівнями розвитку.

Наприклад, при застиганні бетон зчіплюється з опалубкою, яку потім важко відокремити. Дві частини добре погоджувалися між собою по рівнях розвитку речовини – обидві жорсткі, шорсткуваті, нерухомі й т.д. Утворилася нормальна енергопровідна система. Щоб не допустити її утворення, потрібна максимальна неузгодженість речовин, наприклад, тверда – рідка, шорсткувата – слизька, нерухома – рухома. Тут уже може бути кілька конструктивних рішень: застосування електроосмосу для утворення прошарку води, нанесення спеціальних слизьких покриттів, вібрація опалубки та ін.

3. Якщо елементи при взаємодії один з одним утворюють енергопровідну систему зі шкідливою й корисною функціями, то для її застосовності в місцях контактування елементів мають бути речовини, рівень розвитку яких і фізико-хімічних властивостей змінюються під впливом якого-небудь керованого поля.

Відповідно до цього правила виконано більшість пристроїв у техніці, де потрібно з'єднувати або роз'єднувати енергопотоки в системі. Це різні муфти вмикання в механіці, вентилі в гідравліці, вимикачі в електриці, діоди в електроніці й багато чого іншого.

3.6. Розгортання-згортання технічних систем

Підвищення ідеальності технічних систем здійснюється шляхом розгортання – збільшення кількості та якості виконуваних корисних функцій за рахунок ускладнення системи, і згортання (термін запропоновано І.М. Верткіним) – спрощення системи при збереженні або збільшенні кількості та якості корисних функцій.

На всіх етапах розвитку процеси розгортання і згортання можуть чергуватися, замінюючи один одного, частково або повністю перекриватися, діючи паралельно, тобто при загальному розгортанні системи окремі її підсистеми можуть згортатися, і навпаки.

Розгортання технічної системи починається з моменту її зародження, тобто створення функціонального центру – основного функціонального ланцюжка з підсистем (елементів), здатних у сукупності виконати основну функцію системи, і триває спочатку в рамках існуючої конструктивної концепції, а потім і при її заміні.

Функціональний центр створюється шляхом об'єднання раніше самостійних систем (зі своїми функціями) і підсистем, спеціально створених для роботи в новій системі й забезпечення в сукупності з першими одержання нової системної властивості. При цьому поєдну-

ються системи, що доповнюють дію одна одної, а також компенсують (усувають, не допускають) шкідливі функції.

Приклад. Функціональний центр автомобіля – мотор, шасі з колесами, найпростіше керування й запас пального – по суті справи, кістяк автомобіля, що нагадує сучасний картинг. Майже таким був перший автомобіль, побудований Бенцем. При його створенні були об'єднані існуючі на той час двигун і коляска. Новими підсистемами були рульове керування й коробка передач.

При створенні першого радіоприймача були об'єднані відомі елементи, що доповнювали один одного, – когерер, електрична батарея; новий елемент – антена; елемент, що компенсує, – молоточок, що струшує злиплі ошурки когерера після проходження сигналу й таким чином підготовляє його до прийому наступного сигналу.

При створенні функціонального центру мають бути виконані такі вимоги.

Усі ланки основного функціонального ланцюжка мають бути хоча б мінімально життєздатними.

Приклад. Літак А.Ф. Можайського мав більш опрацьовані, ніж літак братів Райт, фюзеляж і органи керування. Однак два елементи його функціонального ланцюга були принципово нежиттєздатними. Це крила – жорсткі й плоскі, тобто нездатні забезпечити необхідну піднімальну силу, і парові машини як двигуни, що мають занадто велику вагу при малій тязі й нездатні підняти літак. Багато елементів літака братів Райт були гірше й примітивніше, ніж літака А.Ф. Можайського, але завдяки тому, що всі вони мали мінімальну життєздатність, літак літав.

Усе ланки функціонального ланцюжка мають бути пов'язані між собою енергетичним, речовинним, функціональним або інформаційним зв'язком. У більшості систем сполучаються різні види зв'язків.

Приклади. Між електростанціями, що входять в енергетичне кільце, зв'язок енергетичний та інформаційний (станції одержують із центру інформацію про те, яку необхідну потужність потрібно дати в систему в цей момент).

Між підсистемами автомобіля існують такі зв'язки: енергетичний (відбувається перетворення енергії з одного виду в іншій), речовинний (вузли зв'язані конструктивно) і функціональний.

Між окремими інструментами в готувальні зв'язок функціональний (всі вони призначені для виконання певного набору функцій).

Між радіоміною та її зривником, розташованим за сотні кілометрів, зв'язок інформаційний (сигнал). При цьому енергетичний зв'язок не обов'язковий (командою на вибух може бути, наприклад, відсутність сигналу).

У радіопристрої деталі з'єднані речовинними зв'язками (закріплені на платах), енергетичними (через них проходить енергія під час роботи) і функціональними (кожна деталь доповнює й продовжує дію інших).

Розгортання технічної системи в процесі її розвитку в рамках існуючої конструкції походить від функціонального центру до периферії системи й передбачає:

1. Включення в систему додаткових підсистем (елементів), що підвищують якість виконання основних функцій, які компенсують недоліки.

Приклад. Уведення в автомобіль елементів регулювання, наприклад, гідравлічної коробки передач, балонів з регульованим тиском, кузова, що захищає пасажирів, і т.п.

2. Включення в систему додаткових підсистем (елементів), що розширюють її функціональні можливості.

Приклад. Комп'ютер на автомобілі, що визначає оптимальні режими і рекомендує маршрут; інше устаткування – радіоприймач, запальничка, крісла, що відкидаються, тощо.

3. Збільшення кількості рівнів в ієрархії за рахунок її внутрішньо-системного дроблення шляхом поділу системи на однорідні підсистеми (елементи) або різнорідні (різнофункціональні) підсистеми.

Приклад. Сучасне судно-ліхтеровоз, що складається з носової частини, яка забезпечує обтічність, і кормової, обладнаної двигунами, а також житловими приміщеннями. Між носом і кормою розташовані змінні баржі – ліхтери. Таке судно збирається на рейді та йде своїм ходом до порту розвантаження, де ліхтери не розвантажують, а замінюють, і судно без затримок іде у зворотний рейс.

4. Перехід до ретикулярної (мережної) структури.

Приклад. Перехід в обчислювальній техніці від систем із центральним процесором до систем з паралельними обчисленнями з більшою кількістю процесорів.

Розгортання технічної системи відбувається також за рахунок переходу в надсистему. Для здійснення переходу використовують один з таких шляхів:

– створення надсистеми з різнорідних підсистем (елементів), що дають нові системні властивості. Це еквівалентно створенню нової системи;

– створення надсистеми з однакових або однорідних підсистем (елементів) полісистеми. Найпростішим випадком полісистеми є бісистема – полісистема з двох елементів. У полісистемі можуть об'єднуватися як складні, високорозвинені системи, так і прості елементи.

Приклади. Полісистеми: інформаційно-обчислювальна мережа з ЕОМ; трос, сплетений з безлічі дротиків.

Бісистеми: катамаран, двоколірний олівець.

Створення надсистеми із системи (елементів) зі порушеними (тобто близькими, але неоднаковими) характеристиками.

Приклади. Набір кольорових олівців або олівців різної твердості.

Протяжка – багатолезовий різальний інструмент, що містить набір різальних елементів, кожний з яких заточений і розташований трохи інакше за інші.

Створення надсистеми з альтернативних (конкуруючих) систем. У тих випадках, коли для виконання тієї або іншої функції, досягнення тієї або іншої мети є кілька різних шляхів (систем) і можливості кожного з них практично вичерпані (система досягла насичення), подальший розвиток є можливим за рахунок об'єднання систем різних типів, причому об'єднання виконується так, що недоліки кожної із систем компенсуються, а переваги складаються.

Приклади. Створений Д.Д. Максutowим телескоп, що поєднує лінзові й дзеркальні конструкції; турбогвинтовий двигун, що поєднує переваги реактивного й гвинтового двигунів; активно-реактивний снаряд, що поєднує точність артилерійського снаряда з дальністю польоту ракети.

На сьогодні це один із широко застосованих способів розвитку, що дає можливість досить легко підвищувати параметри системи.

Об'єднання конкуруючих систем виникає й тоді, коли одна система досягла своєї вершини, а інша, перспективна, що йде їй на зміну, ще не може замінити її повністю.

Приклади. Парова машина дозволила вирішити саму важку для вітрильного судноплавства проблему – подолання смуг штилю. Але на перших етапах розвитку вона ще не могла забезпечити трансатлантичної подорожі через низьку економічність. Тоді з'явилися парусно-парові кораблі. З аналогічної причини в 40-х роках з'явилися літаки з ракетними прискорювачами, а нині створюються автомобілі з електродвигуном і двигуном внутрішнього згорання.

Іноді поєднуються системи, які тільки умовно можна назвати конкуруючими, тому що вони призначені для аналогічної діяльності, але в різних областях. Об'єднання дозволяє їм зайняти область, яку жодна із систем окремо не може зайняти, у якій вони обидві неефективні.

Приклад. Бетон погано працює на розтягання і тому його застосування у важко навантажених конструкціях обмежене. Сталь добре витримує розтягання, але легко втрачає стійкість при стиску, занадто

дорога для будівельних конструкцій. Залізобетон, у якому бетонні блоки армовані сталевими стрижнями або дротом, дозволив розгорнути широке й різноманітне будівництво. Ще більш широкі можливості відкриває застосування різних бетонів – металобетонів, у яких пісок і щебень (звичайні складові частини бетону) з'єднані воєдино розплавленим металом.

Створення надсистеми з інверсних систем (систем із протилежними функціями). Об'єднання систем із протилежними функціями дозволяє підвищити керованість надсистеми, довільно змінювати її параметри в широкому діапазоні.

Приклади. Об'єднання нагрівача з холодильником дає кондиціонер.

Використання замість двох систем трубопроводів (по одній транспортувалася пульпа, що руйнує труби, а по іншій – лужна рідина, що осаджувалася на стінках і забивала труби) однією з попереми́нним перекачуванням пульпи й лужної рідини.

Згортання технічної системи проходить три послідовних етапи: мінімальний, частковий і повний. Зароджується технічна система мінімально (у деяких випадках частково) згорнутою.

Мінімальне згортання технічної системи – створення зв'язків між вихідними системами (що перетворюються тепер у підсистеми), які забезпечують появу системного ефекту при мінімальній їхній зміні. У більшості випадків зв'язки мають тимчасовий характер, можливе повернення вихідних систем до самостійного функціонування.

Приклад. Книжковий стелаж, виготовлений зі стандартних полиць, скріплених між собою.

Часткове згортання – зміна підсистем з метою спрощення, припасування одна до одної, при цьому поліпшується робота системи: зменшуються втрати, підвищується надійність тощо. Підсилюються зв'язки між підсистемами, але можливість їхнього виходу із системи нерідко ще зберігається, щоправда, зі зниженням ефективності роботи.

Згортання відбувається, як правило, у напрямку, зворотному розгортанню, – від периферії системи до її функціонального центру (з допоміжних, сервісних, захисних та інших підсистем, системнотвірних елементів).

Приклади. Перехід до безкорпусних конструкцій приладів, мікросхем. Перехід від зовнішнього кріплення крила (стояків, розпірок) у літаках до елементів кріплення, розташованих усередині товстого крила (лонжерони, стрингери, нервюри й т.п.).

Процес згортання передбачає використання всіх видів ресурсів і такі дії: вилучення дублювання функцій окремих підсистем, передача

певних функцій спеціалізованим підсистемам.

Приклад. У старих телекомбайнах телевізор, радіоприймач, магнітофон і програвач мали кожний свій підсилювач. Сьогодні – у подібних системах один підсилювач обслуговує всі підсистеми.

Поєднання окремих підсистем, злиття їхніх функцій, у тому числі перехід від послідовних технологічних процесів до паралельних, поєднання технологічних операцій.

Приклади. У поршневому літаку двигун і рушій (гвинт) були різними підсистемами. У реактивному літаку двигун є одночасно й рушієм.

Знежирення, травлення зразка і його хімічне покриття проводяться в одній ванні за рахунок використання комплексного розчину, що забезпечує всі потрібні дії.

Спрощення внутрішньої структури системи і її підсистем, у тому числі:

- вилучення окремих елементів системи (окремих технологічних операцій у технологічних процесах);
- укрупнення елементарних підсистем (нерозбірних блоків).

Приклади. Поворотний круг для тепловозів – громіздка система, що містить великі підшипники, електропривід тощо. Було запропоновано замінити його поплавком на поверхні штучної водойми.

Точне лиття дозволяє вилучити деякі операції механічного оброблення.

У перших радіоелектронних пристроях елементарними підсистемами були радіодеталі – лампи, резистори, конденсатори, потім – інтегральні схеми – підсилювачі, фільтри, сьогодні – цілі мікропроцесори, що містять тисячі елементів.

Повне згортання – повна зміна підсистем, установлення між ними нерозривних зв'язків. Система стає більш простою, вихід з її колишніх підсистем стає неможливим. На цьому етапі система з усіма її підсистемами, зв'язками тощо часто замінюється «розумною» речовиною, що виконує потрібні функції за рахунок використання різних фізичних, хімічних та інших ефектів.

Приклади. Радіоелементи в інтегральній мікросхемі.

Використання для підтримання постійної температури протягом деякого часу процесу плавлення й затвердіння речовини замість складних систем терморегуляції.

Повністю згорнута технічна система може продовжувати розвиватися, включатися в різні надсистеми, знову розгортатися за умови постійного підвищення ідеальності.

Приклад. Датчик тиску звичайного типу містить мембрану, тензometri й органи настроювання для забезпечення тарованого сигнала.

лу, усього кілька десятків деталей. Було запропоновано замінити ці датчики шматком гуми, в яку при виготовленні вводили електропровідні частинки – мідний порошок. При стисканні гуми пропорційно тиску змінюється електричний опір гуми. Система згорнулася в речовину. Подальше розгортання можливе шляхом розподілу електропровідних частинок у гумі за спеціальним законом для підвищення лінійності показань або, навпаки, одержання потрібної нелінійності, анізотропії. Можлива заміна мідних частинок на феромагнітні, наприклад, для керування їхнім розподілом або для спрощення установа датчика в потрібному місці, заміна твердих частинок електропровідною рідиною, що просочує пористе тіло, та ін.

Згортання при зародженні надсистеми і її подальший розвиток у принципі не відрізняється від згортання при зародженні й розвитку системи нижчого рівня. Слід зазначити, що згортання, як правило, сильніше змінює вихідну систему, ніж розгортання, дає рішення вищого рівня.

3.7. Підвищення динамічності й керованості технічних систем

У процесі розвитку технічної системи відбувається підвищення її динамічності й керованості, тобто здатності до цілеспрямованих змін, що забезпечують поліпшення адаптації, пристосування системи до мінливого, взаємодіючого з нею середовища.

У перекладі з латині «динамізм» – багатство рухів, наповненість дією. Як уже було сказано, найважливішим принципом розв'язання протиріч є перетворення раніше постійного, незмінного параметра в такий, що змінюється відповідно до наших вимог, тобто керований. Підвищення динамічності дає системі можливість зберігати високий ступінь ідеальності при значних змінах умов, вимог і режимів роботи.

Приклад. Літак зі змінюваною залежно від режиму польоту геометрією крила, корпусу та ін.

Технічна система зароджується, як правило, статичною, незмінною, вузькою або навіть однофункціональною. У процесі розвитку відбувається перехід до мультифункціональності.

1. Перехід до систем зі змінними елементами. Апаратний принцип, при якому виконання тієї або іншої функції задано пристроєм системи, для зміни необхідно вводити елементи з надсистеми.

Приклади. Дриль зі змінними свердлами.

Токарний автомат, який можна швидко переналагодити, змінюючи керуючі кулачки і робочий інструмент.

Програмний принцип, при якому в системі є всі потрібні блоки і виконання тієї або іншої функції задається програмою їхнього з'єд-

нання або підмикання.

Приклади. Токарно-револьверний верстат, що обробляє центр, сучасна ЕОМ.

2. Перехід до систем з елементами, що змінюються.

Приклад. Використання надувних гумових мішків для притискання при склеюванні деталей.

У процесі розвитку технічних систем відбувається перехід до систем зі збільшеним числом степенів вільності, з підвищеними можливостями системи до змін:

1. Перехід від статичних незмінних систем до систем з механічними змінами:

- із застосуванням шарнірів;
- із застосуванням шарнірних та інших (зубчастих, пневматичних, гідравлічних і т.п.) механізмів, що змінюють напрямок і величину діючих сил;
- із застосуванням еластичних, гнучких, пластичних та інших матеріалів.

Приклади. Шарнірне з'єднання секцій у двосекційному «Ікарусі».

Використання в суднобудуванні еластичних покриттів типу «ламінфло», зроблених по типу дельфінячої шкіри, що дозволяє значно збільшити швидкість кораблів.

Використання тросових конструкцій.

2. Перехід до систем, що змінюються на мікрорівні, за рахунок властивостей вхідних у них речовин, нелінійних залежностей параметрів, фазових переходів всіх видів, хімічних перетворень.

Приклади. Закріплення деталей при обробленні за допомогою легкоплавкої речовини; використання нелінійності магнітних властивостей речовин для обмеження струму; введення в гартівне масло речовини, що розкладається з виділенням газів при нагріванні, що забезпечує ефективне перемішування мастила (барботажа), яке підвищує якість загартування.

3. Перехід до систем, в яких змінюється, переміщується, стає більш динамічним поле, а не речовина.

Приклади. Сьогодні в радіолокації замість хитких антен починають використовувати фазовані антенні ґрати, в яких регулюється фаза випромінювання безлічі окремих випромінювачів, у результаті чого можна вільно маневрувати діаграмою спрямованості випромінювання – розкачувати її в будь-якій площині з недосяжною для механіки швидкістю, навіть розділяти на декілька «променів».

У металургії для перемішування рідкого металу використовують замість механічних мішалок електромагнітні перемішувачі.

Система зароджується, як правило, некерованою. Підвищення її

керованості передбачає:

1. Примусове керування станом системи:

- уведення керуючих речовин, пристроїв;
- уведення керуючих полів;
- уведення добре керованого процесу, що діє проти основного, котрим потрібно управляти.

Приклади. Уведення різного роду запірної арматури і такої, що регулює потоки, каталізаторів або інгібіторів.

Для керування переміщенням предметного столика мікроскопа діють на зв'язаний з ним мікрометричний гвинт, нагріваючи його.

Тренер регулює швидкість стрічки тренажера, отже, він управляє швидкістю спортсмена, що біжить по ній.

Для забезпечення заданого графіка охолодження деталі її одночасно з подачею охолодного середовища нагрівають, пропускаючи електричний струм.

2. Перехід до самоврядування:

- за рахунок уведення зворотних зв'язків;
- використання «розумних» речовин – різноманітних фізичних і хімічних ефектів, явищ.

Приклади. Системи автоматичного керування верстатами, автопілоти.

Для керування процесом опріснення води в іонообмінній установці було запропоновано використовувати як засувку сам пакет з іонообмінною смолою, що змінює свій об'єм залежно від ступеня солоності води. При зменшенні солоності об'єму пакета стає меншим – більш води подається на опріснення.

У процесі розвитку відбувається зміна стійкості технічної системи:

1. Від системи з одним статично стійким станом до системи з декількома стійкими станами (мультистійкість).

Приклади. Тумблер із двома або більше робочими положеннями, який не можна встановити в проміжному положенні.

Опукла пружиниста мембрана, що має два стійких стани.

2. Від систем, стійких статично, до систем, стійких динамічно, тобто за рахунок руху, що проходить через систему потоку енергії, керування.

Приклад. Триколісний велосипед має статичну стійкість, двоколісний – динамічну. Чим вище статична стійкість літака, тим він безпечніший, але менш маневрений. Зараз створюються літаки, які мають мінімальний, а іноді й нульовий запас стійкості, а їхня безпека забезпечується безперервною роботою автоматів і рулів, призначених для усунення відхилень. Такий літак дуже маневрений.

3. Використання нестійких систем, моментів втрати стійкості.

Приклади. Застосування вибухових речовин, ланцюгових реакцій, процесів високотемпературного синтезу, що самопоширюється, систем, здатних запасати енергію й у потрібний момент поштовхом звільняти її (системи типу "спусковий гачок").

3.8. Закон випереджального розвитку робочого органа

У технічній системі виконання ГКФ покладається на робочий орган. Для нормального виконання функції він повинен мати не менші, ніж двигун і трансмісія, здатності щодо засвоєння й пропускання енергії. Із цієї причини бажано, щоб робочий орган випереджав у своєму розвитку інші частини системи, тобто мав більший ступінь динамізації за речовиною, енергією або організацією.

Помилково віддавати перевагу розвитку двигуна, трансмісії, керуванню. Така техніка не дає значного приросту економічного ефекту й істотно не підвищить коефіцієнт корисної дії (ККД). Наприклад, продуктивність токарного верстата і його технічна характеристика залишалися майже незмінними протягом багатьох років, хоча інтенсивно розвивалися привід, трансмісія й засоби керування, тому що сам різець як робочий орган залишався таким же, тобто нерухомою моносистемою на макрорівні.

З появою обертових чашкових різців продуктивність верстата різко зросла. Ще більш вона зросла, коли була використана мікроструктура речовини різця: під дією електричного струму різальна крайка різця починала коливатися до кількох сотень разів за секунду. Нарешті, завдяки газовим і лазерним різцям, що повністю змінили вигляд верстата, була досягнута небачена раніше швидкість оброблення металу. Робочим органом криголама є обвід корпусу, що продавлює канал у льоді. Незважаючи на використання мільйонів кінських сил атомного реактора, швидкість руху в льодах дуже мала, іноді не більше декількох десятків метрів за годину. Вся справа в тому, що робочий орган залишився таким, яким і був, – нерухомою грубою моносистемою. Віброплити, встановлені в носовій частині, істотно підвищують швидкість криголама. Наступними кроками в розвитку робочого органа стали узгодження ритміки коливань носа криголама й льодового панцира, рідинний робочий орган (водяного струменя) і, нарешті, газовий. Струмені стисненого повітря витісняють воду з-під льоду, і лід обрушується під власною вагою. Випробування й розрахунки показують, що енерговитрати для руху в цьому випадку зменшуються. Це підтверджено багатьма патентами, авторськими свідоцтвами на винаходи.

А якщо робочий орган криголама виконати з газу? Таку констру-

кцію криголама запропонував заслужений винахідник М.І. Шарапов. У носовій частині корабля прикріплено труби, що проходять під льодом. У них подають стиснене повітря. Повітряна подушка, діючи знизу, витісняє з-під льоду воду, і лід під силою власної ваги обрушується. Як показали випробування, швидкість руху в льодах збільшилася до декількох кілометрів за годину!

Проаналізуємо технічну систему для орання землі. І хоча робочим органом цієї системи є леміш плуга, її розвиток мало чим відрізняється від системи виламування льоду. На жаль, конструктори захопилися нарощуванням потужностей двигуна, але не вдосконалюванням самого робочого органа. У результаті сучасні трактори, маючи наймогутніший двигун і значну масу, більш псують землю, утрамбовуючи її колесами. Ця помилка дорого коштує сільському господарству.

Якщо спробувати розвивати робочий орган і надати лемешу вібрації, то навантаження на землю різко зменшується. Виходить, можна значно зменшити потужність двигуна, спростити трансмісію й засіб керування, не зменшуючи продуктивність. Змінимо агрегатний стан лемеша – зробимо його хоча б частково рідким, для цього під тиском подамо на його поверхню рідке добриво. Знову здобудемо значного зниження опору при русі плуга.

Запатентовано винаходи, в яких здійснено спробу використати для орання вихлопні газу двигуна. Непоганий результат можна одержати, якщо динамізувати мікроструктуру лемеша. Для цього можна виготовити його з матеріалу, що має ефект пам'яті форми, або електрострикції. При проходженні по ньому імпульсного електричного струму він завібрує, як живий кріт, заглиблюючись у землю. З'єднавши кілька таких лемешів і змусивши працювати їх у протифазі, одержимо саморушній плуг. Не потрібний буде трактор. Всі частини системи для орання об'єднуються в робочий орган. Звичайно, позначені напрямки потребуватимуть більшої кількості дослідницьких і конструкторських робіт, але це єдино вірний шлях, тому що він відповідає законам еволюції техніки, зокрема закону випереджального розвитку робочого органа.

3.9. Закон переходу «моно-бі-полі»

Розглянемо кілька прикладів. Двигун внутрішнього згорання спочатку був одноциліндровим, потім двоциліндровим. Пізніше з'явилися моделі двигунів із чотирма, вісьма й двадцятичотирма циліндрами.

Така ж історія, але трохи раніше, відбулася з рушницями: спочатку одноствольні, потім двоствольні й навіть шестиствольні.

У 20-ті роки минулого сторіччя літаки, що мали малопотужні двигуни, розвивалися, збільшуючи кількість крил. Був побудований і випробуваний літак-триплан. У деяких країнах він застосовувався як військовий літак-винищувач. Дуже високу у ті часи швидкість – 164 км/ч – розвивав побудований у нас у країні чотириплан, але не одержав широкого використання, тому що був важкий у керуванні. Загальним у наведених прикладах є те, що при розвитку техніки скрізь можна простежити рух від моносистеми до здвоєної й далі до полісистеми.

Розглянемо перший крок – перехід до бісистем. Що це дає? По-перше, підвищується надійність системи, що сама при цьому принципово не міняється. Наприклад, двомоторний літак має більше шансів долетіти до мети, ніж одномоторний, тому що вихід з ладу одного двигуна вже не спричиняє вихід з ладу всієї системи. По-друге, при бісистемі з'являється нова якість, що не була властива моносистемі. Двомоторний літак має більшу маневреність, ніж одномоторний. Він упевніше виконує повороти в повітрі, точніше витримує курс при бічному вітрі, легше здійснювати й рульовку літака на аеродромі.

Навіть знайомий усім гайковий ключ, виконаний у бісистемі, набуває нової якості – він легше двох ключів, виконаних у моносистемі, менше займає місця і міцніший. Цікаво відзначити, що й природа в пошуках шляхів підвищення надійності особливо важливих частин організму передбачила теж бісистеми, наприклад, у людини дві легені, дві нирки, дві частини серця, два вуха, два ока і т.д. Процес переходу моносистеми в бісистему неминучий, якщо до системи ставляться підвищені вимоги.

Якщо й бісистема перестає задовольняти зростаючі потреби, відбувається наступний еволюційний крок – перехід до полісистем.

Комбінований велосипедний ключ – це вже полісистема, на нього витрачається менше металу й зменшуються його габарити порівняно з групою окремих ключів. Багат шарова фанера набагато міцніше за дошку тих же розмірів. Зараз важко навіть уявити собі книгу з однією або двома сторінками, але ж колись вони були такими: глиняні дощечки, берестяні грамоти. Освоєння космосу стало можливим тільки завдяки багатоступеневим ракетам.

Перехід до полісистем є еволюційним етапом розвитку, при якому набуття нових якостей відбувається тільки за рахунок кількісних показників. Розширені організаційні можливості розташування однотипних елементів у просторі й часі дозволяють повніше використовувати їхні можливості й ресурси навколишнього середовища.

На якомусь етапі розвитку в полісистемі починають з'являтися перебої. Запряжка з більш ніж дванадцять коней стає некерованою, літак із двадцятьма моторами потребує багаторазового збільшення

екіпажу і є важкокерованим. Рушніці із дванадцятьма стволами можна зустріти тільки в музеї. Украй складним стає виготовлення таких систем, але головне – засобу керування ними: громіздкі, багатоступеневі, інерційні.

Можливості системи вичерпалися. Відбулося заперечення заперечення. Далі полісистема знову має стати моносистемою, але на якісно новому рівні. При цьому новий рівень виникає тільки за умови підвищення динамізації частин системи, у першу чергу робочого органа. Наприклад, гайковий ключ: коли динамізувався його робочий орган, тобто губки стали рухомими, з'явився розвідний ключ. Він став моносистемою, здатною працювати з багатьма типорозмірами болтів і гайок.

Численні газові камери двигунів внутрішнього згоряння згорнулися в одну порожнину роторного двигуна, в якій обертається високодінамізований поршень об'ємної трикутної форми. Численні колеса всюдиходів перетворилися в одну рухому гусеницю.

Хотілося б попередити про таке. Вивчаючи в патентному фонді описи винаходів за якою-небудь системою, можна не виявити в них строгої хронологічної послідовності в розвитку. Наприклад, транспортер на повітряній подушці було винайдено ще в 1920 році, тобто високодінамізовану моносистему було запропоновано раніше, ніж були відпрацьовані можливості бі- і полісистеми наявної конструкції. Практичне застосування транспортер на повітряній подушці одержав лише в 70-ті роки. 50 років винахід чекав свого дня. І такі випадки є в багатьох областях техніки.

Можна стверджувати, що всякий винахід, який значно випереджає еволюційний процес, не сприяє в цей момент загальному розвитку системи. Більш того, він потребує значних засобів й часу на спробу його впровадження в існуючу систему. Але ніколи нове не починає працювати перш, ніж вичерпаються резерви старого. Такий підхід більш економічний, отже й доцільний.

Вичерпавши можливості бісистеми, полісистема підвищить ступінь динамізації своїх частин і повернеться знову до моносистеми, зберігаючи попередні якості. Далі процес буде повторюватися неодноразово.

3.10. Перехід технічних систем на мікрорівень. Використання полів

Розвиток технічних систем відбувається в напрямку все більшого використання глибинних рівнів будови матерії (речовини) і різних полів. Аналіз патентного фонду дозволяє виділити ряд рівнів будови

систем, кожний з яких характеризується розмірами типових елементів, видом зв'язку між ними, а також застосовуваними ефектами і явищами:

1) макрорівень – системи містять вузли і деталі спеціальної форми (шестерні, важелі, втулки та ін.);

2) полісистеми з елементів простої геометричної форми (конструкції, зібрані зі сталевих листів, ниток, кульок; магнітні сердечники, іглофрези, троси і т.п.);

3) полісистеми з високодисперсних елементів (порошки, емульсії, аерозолі, суспензії);

4) системи, що використовують ефекти, пов'язані зі структурою речовин, – аморфних і кристалічними, твердих і рідких, із кристалічними перебудовами й фазовими переходами (надмолекулярний рівень);

5) системи, що використовують молекулярні явища – різні хімічні перетворення (розкладання й синтез, полімеризація, каталіз та інгібування тощо);

6) системи, що використовують атомні явища, – фізичні ефекти, пов'язані зі зміною стану атомів речовин (іонізація й рекомбінація, дія елементарних частинок, у тому числі електронів, і т.п.);

7) системи, що використовують замість речовин дію різних полів, – тепла, світла, електромагнітних взаємодій і т.п.

Слід зазначити, що перехід на мікрорівень характерний для використовуваних у технічній системі не тільки речовин, але й пустот. Як зазначалося, використання в системі пустот замість речовини завжди вигідно – підвищується ідеальність.

Слід враховувати, що, коли йдеться про застосування пустот, зовсім не мається на увазі обов'язково вакуум; це скоріше виявлення неоднорідностей у речовині, пустот, заповнених іншими, менш густими речовинами. Так, можна вважати пустотами рідинні й газові вкраплення у твердому тілі, пухирці газу (пари) у рідині та ін. На макрорівні використання пустот дуже різноманітне – свердління, пази, отвори в литві, пустотні резонатори тощо. Типовою полісистемою (рівень 2) можна вважати стільникові конструкції, що застосовуються там, де необхідна висока жорсткість при малій вазі. Проміжним між рівнями 2 і 3 можна вважати використані піни. Системою третього рівня можна вважати капілярно-пористі тіла. Між рівнями 3 і 4 можна розмістити мікропористі мембрани. Система п'ятого рівня – «хімічні» пустоти, створені розташуванням молекул у так званих клатратних з'єднаннях, де молекули одних речовин розміщуються в пустотах «каркаса», створеного молекулами інших речовин. До цього ж рівня належать і широко застосовувані в техніці речовини – цеоліти. До шостого рівня мож-

на віднести процеси іонізації, коли атом втрачає частини своїх електронів, а може, і процеси розпаду атомів і елементарних частинок.

Було запропоновано в одному елементі системи використати ефекти, характерні для різних рівнів. Наприклад, пористе тіло (рівень 3), просочене рідиною (капілярні сили, рівень 4), може відігравати роль каталізатора деякої хімічної реакції (рівень 5). Для підвищення інтенсивності цієї реакції пористе тіло виконано з електрострикційного матеріалу (рівень 4), що перебуває під дією змінного електричного поля (рівень 7).

З історії техніки відомо, що людина досить рано опанувала макрорівень і рівні 4 і 5 (різні хімічні процеси, плавлення і т.д.). У міру розвитку людина усе більш масштабно освоює й інші рівні.

Термін «поле» має різний зміст. У фізиці під полями розуміють такі фізичні явища, як гравітація, електромагнітні взаємодії, ядерні взаємодії. У математиці, сільському господарстві, геології, громадському житті слово «поле» має інший зміст. Поняття «поле» в ТВВЗ ближче всього до фізичного, але має свої відмінні риси. Під полем в «технічному» плані будемо розуміти взаємодію об'єктів (речовин). Аналіз патентного фонду дозволив виявити ряд найефективніших працюючих у техніці полів, а також певну послідовність їхнього застосування в міру розвитку технічної системи. Ця послідовність багато в чому погоджується з етапами переходу на мікрорівень:

- **механічні поля:** переміщення об'єктів; гравітаційні, інерційні, відцентрові сили; зміна тиску, механічні напруження; сили тертя, поверхневого натягу, адгезії тощо; гідродинамічні й аеродинамічні сили; удари, вібрації, акустика (у тому числі інфра- і ультразвук);

- **теплові поля:** нагрівання, охолодження;

- **хімічні поля:** синтез і руйнування молекул; використання каталізаторів та інгібіторів; використання особливо активних речовин: озону, фтору та ін., введення інертних речовин; використання біохімії, запахів і смакових відчуттів;

- **електричне поле:** електростатика, використання ефектів, пов'язаних з електричними зарядами (електризація, коронний розряд і т.п.); електричний струм, ефекти, пов'язані із проходженням струму крізь речовину (електроліз, електрофорез тощо);

- **магнітне поле:** найбільш ефективним у розвитку виявляється сумарне використання різних полів, у тому числі парних комплексів (електрохімія, електромагнетизм, теплові явища й хімія та ін.), у сполученні з різними рівнями будови речовини.

У використанні полів також можна відзначити такі тенденції.

1. Перехід від використання поля одного знака до сполучення в одній системі дії полів протилежного напрямку (знака), наприклад,

зворотно-поступального переміщення, збільшення – зменшення тиску, нагрівання й охолодження, хімічного розкладання й синтезу, дії позитивних і негативних електричних зарядів тощо.

2. Перехід до використання змінних (періодично змінюються в часі або просторі) полів, наприклад вібрації, акустичних полів, температурних коливань, хвильових хімічних процесів (автоволн концентрації та ін.), змінних струмів і електромагнітних хвиль, у тому числі світла, радіації та ін. При цьому діапазон частот змінних полів розширюється, починають використовуватися поля, пов'язані з власними частотами коливань підсистем і елементів системи, стоячі хвилі та ін.

3. Перехід до спільної дії постійних полів різних знаків, змінних різних частот та імпульсних полів з використанням системних ефектів від їхнього сполучення.

Практично більшість функцій, що виконуються технічними системами, можуть бути реалізовані на різних рівнях будови системи з використанням різних полів. Наприклад, функцію скріплення деталей можна виконати на рівні 1 (болти, гайки); на рівні 2 (застібка типу «реп'ях»); на рівні 3 (за допомогою капілярних сил – пінцет для утримання дрібних деталей, що містить краплю рідини, яка змочує деталь); на рівні 4 (з'єднання шляхом паяння, зварювання); на рівні 5 (хімічний клей); на рівні 6 (за допомогою переносу іонів); на рівні 7 (за допомогою магнітного притягання).

Закономірності переходу на мікрорівень і застосування полів широко використовуються в ТВВЗ у рамках вепольного аналізу.

3.11. Узгодження-неузгодження технічних систем

У процесі розвитку технічної системи на перших етапах відбувається послідовне узгодження системи і її підсистем між собою й надсистемою, що полягає в приведенні основних параметрів до певних значень, що забезпечують ефективне функціонування. На наступних етапах відбувається неузгодження – цілеспрямована зміна окремих параметрів, що забезпечує одержання додаткового корисного ефекту (надефект). Кінцевим етапом у цьому циклі розвитку є динамічне узгодження-неузгодження, за якого параметри системи змінюються керовано (як наслідок, і самокеровано) так, щоб приймати оптимальні значення залежно від умов роботи.

Узгодження виявляється вже при створенні системи, коли відбувається добір необхідних підсистем, що утворять основний функціональний ланцюжок. До підсистем, крім вимоги забезпечення мінімальної працездатності, ставиться вимога сумісності одна з одною, тому трапляється, що підсистема, яка найкраще виконує свою функцію по-

за системою, виявляється не кращою для створюваної системи.

Процес узгодження-неузгодження супроводжується підвищенням ідеальності системи як за рахунок зменшення функцій розплати, так і за рахунок підвищення якості виконання корисних функцій. При цьому часто виникає типове протиріччя: узгодженість одних параметрів призводить до погіршення узгодженості інших.

Приклади. Уведення феромагнітних сердечників в електричних машинах забезпечило хороші умови для замикання магнітних силових ліній (узгодженість), що дозволило значно підвищити потужність і коефіцієнт корисної дії машин. Але одночасно поліпшилися й умови для проходження вихрових струмів, що викликають додаткові втрати й шкідливий розігрів машини. Вихід було знайдено у неузгодженості – застосуванні шихтованих (зібраних з окремих, електрично ізольованих один від одного листів сталі) магнітних сердечників. У результаті узгодженість для основного магнітного потоку збереглась, а для шкідливих вихрових струмів – порушилася.

Хороші умови проходження магнітного потоку необхідні в номінальних умовах роботи, але при аварійних режимах (коротке замикання) призводять до появи більших струмів, здатних ушкодити машину. Щоб уникнути цього, звертаються до динамічної неузгодженості – введенню у сердечник «ділянок насичення», які при номінальних струмах насичені й нормально проводять магнітний потік, а при аварійних струмах насичуються, їхній магнітний опір різко зростає, наростання струму обмежується.

У техніці відомі такі види узгодженості:

1. Пряма узгодженість – збільшення одного параметра потребує збільшення іншого.

Приклад. Збільшення числа обертів двигуна автомобіля потребує збільшення передаточного числа коробки передач.

2. Зворотна узгодженість – збільшення одного параметра потребує зменшення іншого.

Приклад. Збільшення числа обертів двигуна потребує зменшення діаметра коліс автомобіля.

3. Однорідна узгодженість – узгодженість однотипних параметрів.

Приклади. Температури різних ділянок системи; твердості взаємодіючих матеріалів тощо.

Неоднорідна узгодженість – узгодженість різнотипних параметрів.

Приклади. Швидкість різання погоджується із твердістю й геометрією різця. Розміри об'єкта погоджуються із частотою його дії.

4. Внутрішня узгодженість – узгодженість параметрів підсистем між собою.

Приклад. Підбір матеріалу пар тертя для забезпечення довговічності вузлів.

Зовнішня узгодженість – узгодженість параметрів системи з надсистемою, зовнішнім середовищем.

Приклад. Зміна конструкції автомобіля залежно від якостей доріг, на які він розрахований. Надання автомобілю вигідної аеродинамічної форми.

5. Безпосередня узгодженість – узгодженість систем, так або інакше зв'язаних між собою.

Приклади. Електростанція та її споживачі; двигун і об'єкт, що приводиться ним у рух.

6. Умовна узгодженість – узгодженість систем, безпосередньо не зв'язаних одна з одною, здійснюється через глибинні (суспільні) механізми.

Приклад. Зв'язок між окремою галуззю й рівнем техніки. У 50-ті роки американці не допускали можливості запуску супутника в СРСР через відсутність у нас на той час ЕОМ, здатних виконувати необхідні для цього розрахунки. Правда, розрахунки вдалося зробити без складних ЕОМ, створивши нові математичні підходи.

Технічні системи у своєму розвитку проходять такі етапи узгодження:

1. Примусове узгодження – у системі, в якій є підсистеми з різним рівнем розвитку, ефективність більш розвинених систем знижується до рівня найменш розвинених.

Приклад. Швидкість ескадри кораблів дорівнює швидкості самого тихохідного корабля.

2. Буферне узгодження – узгодження за допомогою узгоджувальних ланок, що спеціально вводяться (підсистем, елементів).

Приклад. Коробка передач в автомобілі; трансформатор в електричній мережі.

3. Згорнуте узгодження (самоузгодження) – узгодження за рахунок самих підсистем, звичайно завдяки тому, що хоча б одна з них може працювати в динамічному режимі. Окремим випадком такого самоузгодження є ресурсне узгодження – за допомогою наявних у системі ресурсів, найчастіше – похідних.

Узгодженості-неузгодженості підлягають будь-які параметри технічних систем, у тому числі матеріали, форми й розміри, ритміка дії, структура, енергетичні, інформаційні й інші потоки тощо.

Приклад. Для забезпечення постійної відстані між зварювальним електродом і металом при підводному зварюванні (у цьому випадку зварник не має змоги спостерігати за процесом) запропоновано використовувати як обмазку електрода речовину, що плавиться трохи

повільніше самого електрода. Задану відстань одержують завдяки виступаючій за край електрода трубці з обмазки, яка не встигла вигоріти або розплавитися (усередині трубки горить дуга).

Матеріали

Узгодження

1. Вирівнювання властивостей матеріалів по всьому об'єму: використання матеріалів високої чистоти; усунення внутрішніх напружень у матеріалі.

Приклади. Застосування надчистого заліза для запобігання окислюванню. Відсутність у матеріалі домішок виключає можливість утворення мікрогальванічних пар, що викликають швидку корозію. Відпускання сталевих виробів після загартування.

2. Використання однакових матеріалів для різних частин системи і для виконання різних функцій.

Приклад. Мідь дуже високої чистоти, щоб уникнути забруднення, зберігають у посудинах з такої ж чистої міді.

3. Усунення контактних явищ. Добір матеріалів для взаємодіючих частин системи таким чином, щоб вони не чинили руйнуючої дії один на одного.

Приклади. Матеріали, що працюють у середовищі електроліту (води), не повинні утворювати електрохімічні пари; матеріали, що працюють у середовищі водню, не повинні бути піддані водневому окрихчуванню тощо.

Неузгодження

1. Диференціація властивостей матеріалу за об'ємом: напрямок легування матеріалів; використання попередньо напружених матеріалів.

Приклади. Виготовлення інтегральних схем дифузцією атомів різних домішок у чистий кремній; поверхнєве загартування сталі. Недавно було виявлено, що дерева ростуть таким чином, що внутрішня частина зазнає значних стискальних, а зовнішня – розтягальних зусиль. Це значно підвищує опір при вітровому згині. Так само використовується й попередньо напружений залізобетон, наприклад у конструкції Останкінської телевежі.

2. Використання різних матеріалів, що взаємодоповнюють один одного при виконанні функцій: використання композитних матеріалів; введення добавок.

Приклади. Використання бетонів (металобетонів); застосування інгібіторів (сповільнювачів реакцій) і каталізаторів (прискорювачів реакцій).

3. Використання контактних явищ, тобто відмінностей між речовинами для одержання корисного ефекту, у тому числі відмінностей

між фізичними властивостями (жорсткість, коефіцієнт термічного розширення, контактна різниця потенціалів, відбивна здатність, електропровідність, магнітні властивості, питома вага, поверхневий натяг тощо) або хімічними (електрохімічний потенціал, хімічна активність та ін.).

Приклад. Використання контактної різниці потенціалів для одержання сигналу про зіткнення двох речовин.

Динамічна неузгодженість-узгодженість-неузгодженість

1. Використання замість речовини полісистеми зі змінюваним станом.

Приклад. Антена Куликова являє собою набір дисків (катушок, гудзиків), стягнутих тросиком. При натяганні тросика вона перетворюється в стрижень, при розслабленні – у «купку».

2. Використання речовин у агрегатному стані, що змінюється, які перебувають у змішаному агрегатному стані (наприклад суміш твердого тіла й рідини), що переходять у процесі роботи з одного агрегатного стану в інший під дією керуючого поля.

Приклади. За необхідності створити тиск усередині порожнини в неї поміщають шматочок сухого льоду – твердої вуглекислоти. Застосування електро- і магнітореологічних рідин, що твердіють у відповідному полі.

3. Використання речовин з нелінійною залежністю параметрів від полів.

Приклади. Використання насичуваних в магнітному полі феромагнітних речовин; застосування напівпровідників, матеріалу з «пам'яттю форми».

4. Використання з'єднань із допоміжними речовинами, що мають потрібну властивість або можуть створювати ці з'єднання, причому після того, як необхідність у цьому відпадає, додаткова речовина легко вибирається або зникає сама під дією поля, навколишнього середовища або спеціальних речовин (розчинників, у найпростішому випадку – води).

Приклад. Одержання тонких шарів порошоків шляхом розбрикування й наступного випарювання розчинів, що містять потрібну речовину.

5. Самоузгодженість матеріалів.

Приклади. В активних хімічних середовищах відбувається самопасивація (поява захисних плівок) деяких металів. За певних умов у вузлах тертя виникають плівки, що самовідновлюються (ефект вибіркового переносу).

Форми та розміри

Узгодження

1. Надання системі форми та розмірів, що забезпечують опти-

мальну взаємодію із зовнішнім середовищем.

Приклади. Аеродинамічна обтічна форма автомобілів, суден, літаків; форма парашута, що забезпечує максимальний опір потоку.

2. Використання простих геометричних форм, які легко виготовляються, з добре вивченими властивостями.

Приклад. Використання в будівництві кубічних конструкцій.

Зокрема, надання симетричної форми виробам для поліпшення взаємодії із симетричними потоками середовища (рідини, газу) або для спрощення виготовлення.

Приклад. Циліндрична форма снаряда, ракети.

Неузгодженість

1. Надання системі форми й розмірів, що забезпечують появу додаткового корисного ефекту.

Приклади. Для підвищення ходових якостей корабля на його носовій частині роблять спеціальне стовщення – бульб, що створює свою систему хвиль, які, інтерферуючи з хвилями, що утворюються корпусом корабля, гасять їх і таким чином знижують хвильовий опір. Різцю надають розміри й форму, при яких виникають вібрації, що сприяють обламуванню стружки при обробленні виробів.

2. Використання неklasичних геометричних форм, що дають нові корисні ефекти. Зокрема, надання асиметричної форми виробам для одержання корисного ефекту.

Приклад. Скошені стабілізатори дають можливість ракеті обертатися в польоті, тим самим збільшуючи точність влучення в ціль.

Динамічна неузгодженість-узгодженість-неузгодженість

1. Зміна форми та розмірів відбувається під дією зовнішнього керування.

Приклад. Окуляри, виготовлені з двох шарів гнучкої прозорої пластмаси, між якими залито гліцерин. Варіюючи тиск гліцерину, змінюють фокусну відстань.

2. Самоузгодження форми та розмірів. Якщо є дві рухомі одна відносно одної поверхні, то оптимальною формою поверхні їхньої взаємодії буде та, яка створюється при їх приробітку.

Приклад. Після багатьох розрахунків і безлічі дослідів було доведено, що оптимальною формою поверхні залізничного колеса є та, котра буде при початковому ступені його спрацювання.

Ритміка роботи

Узгодження

Приклад. Робота конвеєрних ліній.

1. Настроювання всіх підсистем на роботу в одному ритмі.

2. Настроювання ритму роботи інструменту відповідно до частоти його власних коливань або власних коливань виробу.

Приклад. Для руйнування шару вугілля в нього через щілини закачують воду і подають тиск імпульсами з частотою, що відповідає власній частоті коливань шару.

Неузгодженість

1. Перебій ритму, розлад роботи підсистем.

Приклад. Періодична зміна швидкості конвеєра знижує стомлюваність робітників.

2. Настроювання ритму роботи частин виробу залежно від частоти його власних коливань.

Приклад. При проектуванні турбін, мостів, крил літаків, будинків тощо завжди намагаються, щоб їхня резонансна частота за жодних умов не збіглася з частотою змушених коливань конструкції (збіг може викликати руйнування).

Динамічна узгодженість–неузгодженість

1. Керування частотою системи в процесі її роботи.

Приклади. У супергетеродинному радіоприймачі настроювання на різні станції здійснюють зміною одночасно із частотою прийомного контуру частоти додаткового генератора (гетеродина) так, щоб різниця між ними залишалася постійною.

У потужних центрифугах для виключення можливості руйнування при проходженні через критичну швидкість обертання спеціальні порожнини заповнюють водою; після того як небезпечні швидкості пройдені, воду зливають.

2. Самоузгодження, а також явище самосинхронізації, що полягає у тому, що різночастотні коливання системи, які входять в одну надсистему, навіть дуже слабо зв'язані між собою, через якийсь час виробляють єдиний ритм спільного руху.

Приклади. Самосинхронізуються маятникові годинники, що висять на одній стіні.

Через якийсь час автоматичні преси в одному цеху починають ударяти в такт.

У радіоприймальних пристроях використовують самонастроювання за рахунок слабких зворотних зв'язків.

Структура

Узгодження

1. Узгодження складності підсистем. Системи з різними рівнями складності погано взаємодіють одна з одною. Не можна встановити сучасну систему ЧПК на довоєнний токарний верстат.

Приклад. При аналізі роботи рубальної машини було виявлено, що вузол кріплення ножів складається з двох деталей, одна з яких дуже складної конструкції і трудомістка у виготовленні, а друга – проста сталева смужка. Деяке ускладнення другої деталі дозволило істо-

тно спростити першу, у результаті сумарна трудомісткість значно зменшилися.

2. Виключення проміжних узгоджувальних підсистем.

Приклад. Автомобіль можна подати як ланцюжок перетворювачів енергії – енергію природного палива в теплову енергію в циліндрі, теплову енергію в рух поршня, енергію прямолінійного руху поршня в обертання колінчатого вала, зміну швидкості обертання коробкою передач і перетворення колесами енергії обертання в енергію руху автомобіля. З появою роторних двигунів внутрішнього згоряння відпадає необхідність у проміжному перетворенні енергії згоряння в рух поршня, а потім колінчатого вала.

3. Стандартизація елементарних частин систем. Використання однакових і однотипних елементарних підсистем у різних системах. Перехід до модульних конструкцій.

Приклад. Стандартизація деталей виконується в два етапи: стандартизація простих деталей типу кріплення і стандартизація складних блоків типу інтегральних схем, на основі невеликої кількості різновидів яких можуть бути побудовані всілякі пристрої.

Неузгодженість – перехід до систем з диференційованими внутрішніми умовами. Умови в оперативній зоні можуть стати оптимальними для проведення технологічного процесу (температура, тиск, газовий состав, швидкість оброблення інформації), тоді як умови на вході й виході системи визначаються зовнішнім середовищем і людиною.

Приклад. Для оброблення сильноокисних матеріалів створюються цехи з інертною атмосферою.

Динамічна узгодженість-неузгодженість – самоорганізація структури системи. Питання самоорганізації структури систем при проходженні через систему потоків речовини або енергії докладно розглядаються в створеній за останнє десятиліття науці – синергетиці. Самоорганізація широко поширена в живій природі та тільки зараз починає застосовуватися в техніці.

Приклади. Для забезпечення регулювання кількості води в бічних каналах зрошувальної системи при значній зміні витрати через головний канал запропоновано виконати вхід у бокові канали під кутом таким чином, щоб при певній швидкості течії в головному каналі на вході в боковий створювався вир (воронка), що обмежує приплив рідини.

Створення беззношуваної пари тертя за рахунок ефекту вибіркового переносу.

Потоки в системах

Функціонування технічних систем виявляється в перетворенні

потоків речовини, енергії, інформації, що проходять через систему. При цьому також спостерігаються узгодженість, неузгодженість, динамічна узгодженість-неузгодженість.

Узгодженість – вирівнювання провідності всіх частин системи для потоку.

Приклад. Узгодженість вхідних і вигідних опорів електричних ланцюгів.

Неузгодженість – надання різним частинам системи різної провідності.

Приклад. Діод пропускає електричний струм тільки в одному напрямку.

Динамічна узгодженість-неузгодженість – зміна провідності різних частин залежно від умов.

Приклад. Тріод змінює свою провідність під дією керуючого сигналу.

Живучість системи

Узгодженість – живучість підсистем (елементів) добирається однаковою.

Приклад. Створення рівномірних конструкцій, що забезпечують максимальну тривалість роботи при мінімальній вартості системи.

Неузгодженість – штучне введення в систему підсистем зі зниженою живучістю для її захисту. Під час аварій слабкі підсистеми приймають удар на себе, а вся система залишається цілою.

Приклади. Використання в електричних ланцюгах запобіжників із плавкими вставками.

Використання в механічних пристроях зрізних штифтів.

Динамічна узгодженість – неузгодженість – ступінь живучості підсистем змінюється залежно від умов роботи.

Приклад. Автоматичні запобіжні пристрої, що забезпечують захист системи по різних параметрах за заданою програмою.

Окремо слід зупинитися на узгодженості – неузгодженості процесу взаємодії пари інструмент – виріб. Творець роторних і роторно-конвеєрних ліній Л.І. Кошкін, який дуже багато зробив для забезпечення Радянської Армії патронами під час Великої Вітчизняної війни, розробив класифікацію інструменту на базі характеру його взаємодії з виробом.

Клас 1. Інструмент діє на виріб у точці. Для такої взаємодії характерна складна кінематика, автоматизація утруднена.

Приклади. Точіння простим різцем. Шиття голкою. Написання тексту від руки. Контроль за допомогою індикатора. Фарбування кистю (полісистема точок).

Клас 2. Інструмент діє на виріб по лінії. Кінематика стає істотно

простішою, як правило, відпадає необхідність точного контролю положення виробу.

Приклади. Точіння фасонним різцем. Протягання шліців. Волочіння дроту. Друкування на ротаторі. Контроль поверхонь за лекалом калібрами-пробками. Фарбування валиком.

Клас 3. Інструмент взаємодіє з виробом усією своєю робочою поверхнею. Кінематика найпростіша – прямолінійний рух інструменту.

Приклади. Об'ємне штампування. Пресування із пластмаси. Лиття. Друкування із плоских друкарських матриць.

Клас 4. Об'ємна взаємодія інструменту (обробного середовища) з виробом.

Приклади. Різні види хімічного оброблення. Термооброблення. Вирощування кристалів. Одержання дробу краплинним способом.

Інша класифікація розроблена Л.І. Кошкіним на базі співвідношення транспортних і технологічних робочих рухів.

Клас 1. Несуміщення транспортного і технологічного рухів. Транспортний і технологічний рухи чергуються. Такий порядок роботи є характерним для більшості існуючих верстатів.

Клас 2. Технологічний рух суміщується з транспортним. Швидкість одного руху дорівнює швидкості іншого. Така система має переваги (немає неробочих пауз) і недоліки (швидкість транспортування обмежується швидкістю оброблення).

Приклади. Безцентрово-шліфувальні верстати. Прокатування. Верстати для накатування монет. Волочіння.

Клас 3. Суміщення технологічного й транспортного рухів із забезпеченням незалежності швидкостей, що досягається за рахунок переміщення не тільки виробу, але й інструменту (спільний рух деталі з обробним інструментом).

Приклад. Роторні машини.

Клас 4. Технологія оброблення не залежить від транспортного руху.

Приклади. Печі для термооброблення. Установки для нанесення покриттів.

Практика доводить, що розвиток від класу 1 до класів 3,4 є процес узгодження-неузгодження між інструментом і виробом, між транспортним і технологічним рухами.

Звичайне узгодження між виробом та інструментом здійснюється за рахунок зміни інструменту, оскільки виріб, як правило, є заздалегідь заданим кінцевим продуктом. Але в деяких випадках, особливо на стадії проектування нового виробу, його можна зробити зручним для оброблення. Таку дію можна назвати підвищенням його чутливості на діяння, що здійснюється: створенням виробів, придатних для

оброблення певним інструментом (забезпечення їхньої технологічності);

Приклад. Заміна трудомістких у виготовленні коліс велосипедного типу на колеса у вигляді суцільного диска.

Уведення у виріб речовин, полів, що надалі забезпечують добру взаємодію виробу з інструментом.

Приклад. У різні партії нафти вводять різні добавки, що дозволяють визначити нафту, що розлилася.

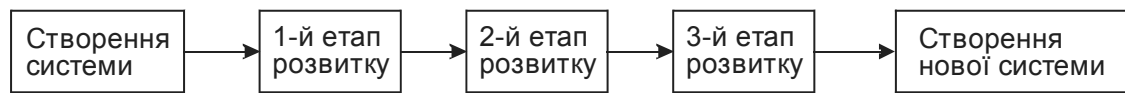
Приклади. Нанесення концентраторів напружень перед ламанням сталевого прокату на частини.

Приклади. Оброблення металу в стані надпластичності. Оброблення високоактивного натрію в замороженому стані.

Наведені вище види узгодженості-неузгодженості, як правило, не можуть розглядатися ізольованими один від одного. Розвиток – єдиний процес, в якому одночасно може відбуватися узгодження форм, розмірів, ритміки дії, живучості виробу з інструментом тощо.

Виділення окремих законів розвитку технічних систем є грубим спрощенням. Насправді вони діють у сукупності, забезпечуючи ефективний, всебічний розвиток системи. Наслідки одного закону нерідко тісно переплітаються з наслідками іншого, часто йдеться про одні й ті самі закономірності, розглянуті з різних сторін. Для практичного використання законів розвитку технічних систем зручно подати їх у вигляді окремих «ліній» розвитку, кожна з яких характеризує одну конкретну, внутрішньо несуперечливу закономірність (рис. 20). У вигляді таких ліній розвитку можуть бути відбиті й закономірності, місце яких у системі законів поки не визначено, або закономірності, які важко віднести до того або іншого закону, оскільки в них підсумовується дія різних законів розвитку.

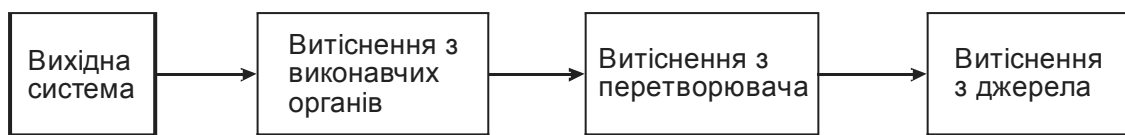
1. Етапи розвитку ТС



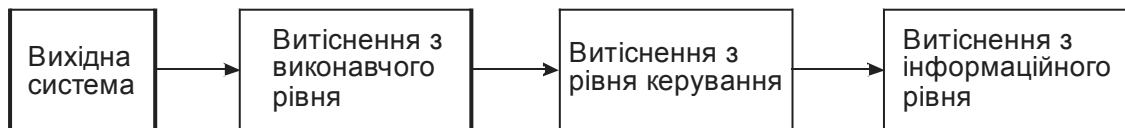
2. Витіснення людини з ТС



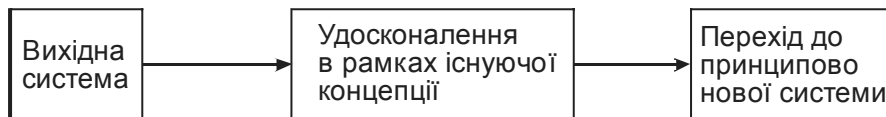
Витіснення на одному рівні:



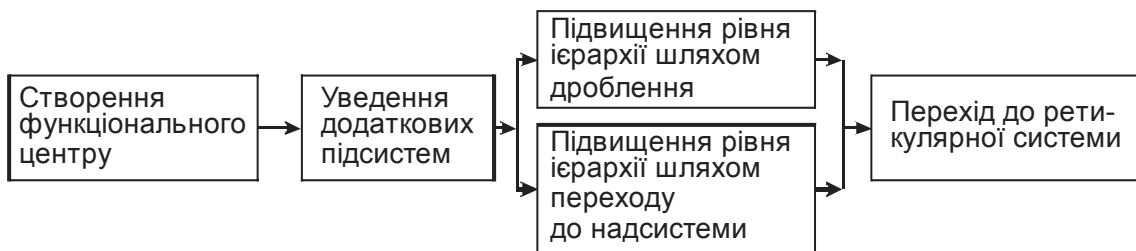
Витіснення між рівнями:



3. Збільшення ступеня ідеальності ТС



4. Розгортання-згортання ТС



Згортання:

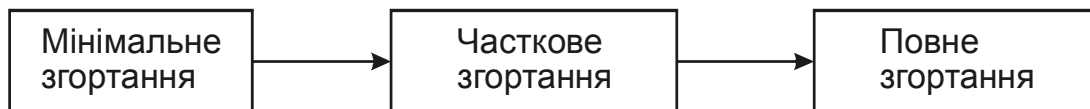
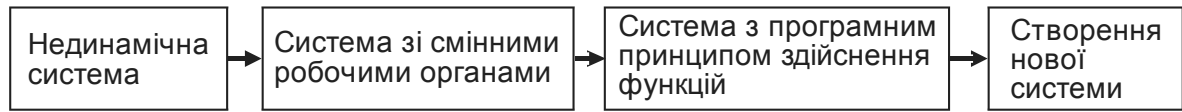


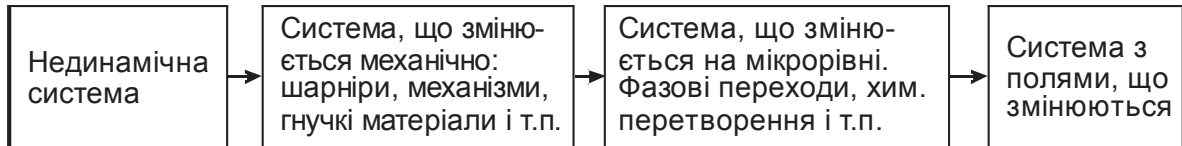
Рис. 20. Лінії розвитку ТС

5. Підвищення динамічності й керованості ТС

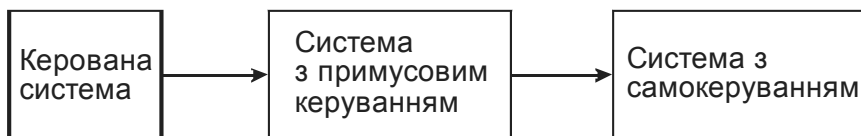
Перехід до мультифункціональності:



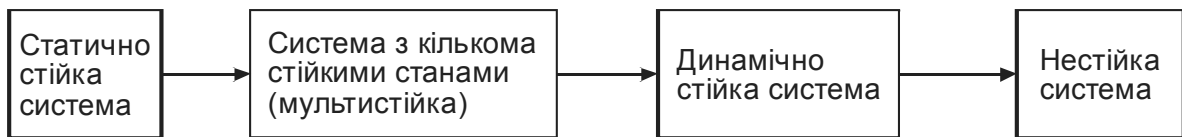
Збільшення числа степенів вільності:



Підвищення керованості:

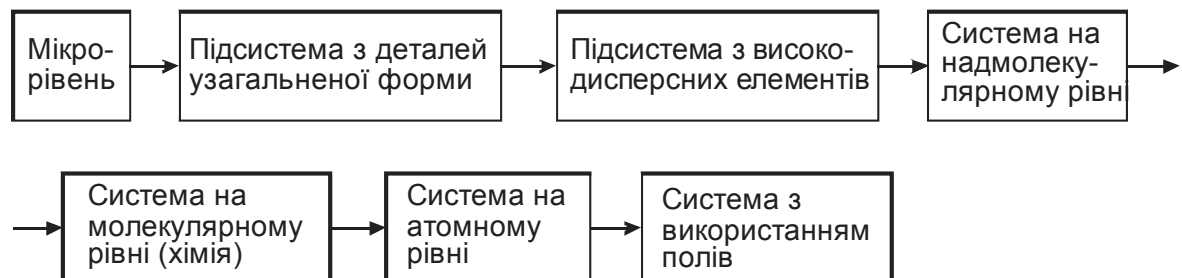


Зміна ступеня стійкості:



6. Перехід на мікрорівень і до використання

Перехід на мікрорівень:

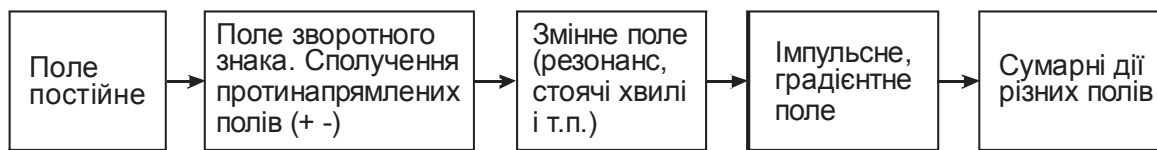


Перехід до вискоєфективних полів:

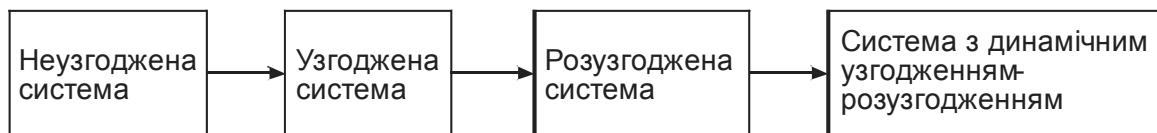


Рис. 20. Продовження

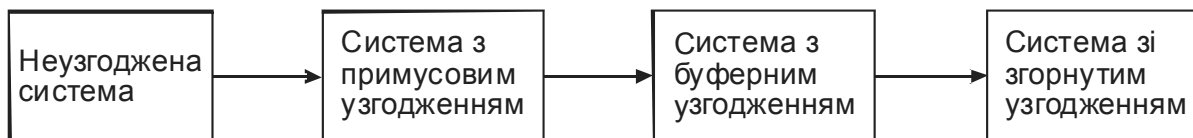
Підвищення ефективності дії поля:



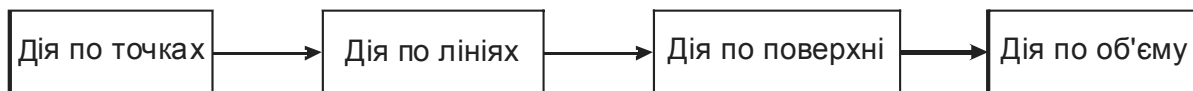
7. Узгодження-розузгодження ТС



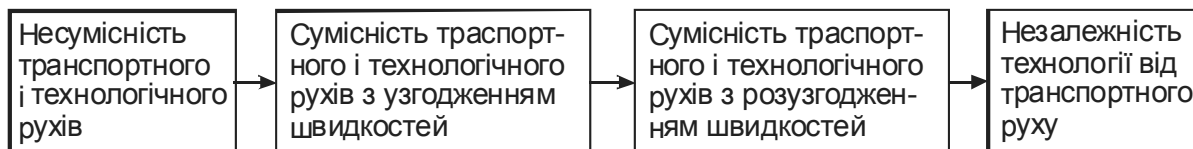
Види узгодження:



Узгодження взаємодії інструменту з виробом:



Підвищення ефективності дії поля:



8. Дроблення ТС

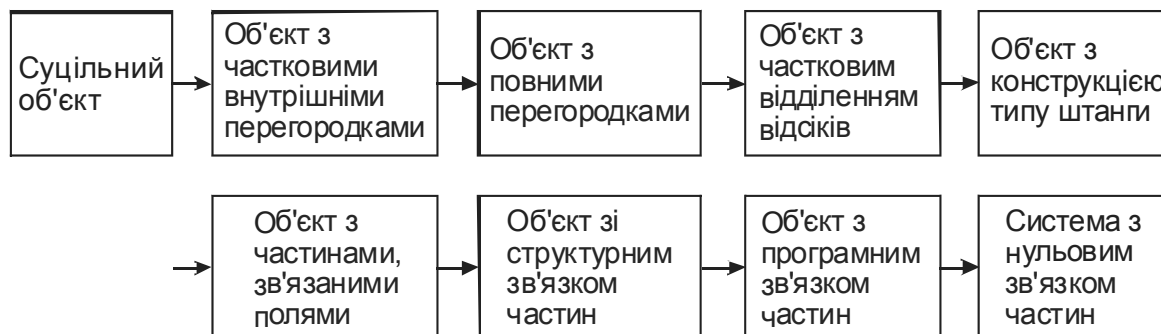


Рис. 20. Закінчення

Контрольні запитання

1. На які етапи ділиться життєвий цикл системи?
2. Які фактори росту кожного етапу?
3. Які фактори гальмування кожного етапу?
4. Нелінійність якого параметра визначає загин на третій етап: літака, піднімального крана, телевізора?
5. Перелічіть основні елементи повної технічної системи.
6. По яких лініях витісняється людина з технічної системи?
7. Яким чином можна збільшити ступінь ідеальності технічної системи?
8. У чому полягає зміст закону наскрізного проходження енергії?
9. На якому етапі відбувається розгортання технічної системи, на якому – згортання?
10. Перелічіть основні заходи, спрямовані на підвищення ідеальності технічних систем.
11. Наведіть приклади підвищення динамічності й керованості технічних систем у ході її розвитку.
12. Наведіть приклади переходу «моно-бі-полі».
13. Перелічіть ресурси, що використовуються в ТВВЗ.
14. Наведіть приклади згортання технічної системи.
15. Перелічіть поля, що застосовуються в ТВВЗ, і порядок їхнього використання.
16. У чому полягає принцип узгодженості?
17. Наведіть приклади неузгодженості в технічних системах.

Завдання

3.1. Фундамент піраміди Хеопса має абсолютно точне нівелювання, хоча займає площу 4,5 га. Як древні єгиптяни, не маючи сучасних високоточних приладів для нівелювання, змогли виконати цю роботу?

3.2. Ви у лікаря в зубному кабінеті. Поставивши на хворий зуб пломбу, лікар попереджає вас: «Якщо пломба випаде, потрібно негайно звернутися знову, щоб поставити нову, інакше зуб може зруйнуватися остаточно і його прийдеться видалити». Однак пломба випадає іноді зовсім непомітно, і людина може тижнями не підозрювати про те, що трапилось. Як довідатися, що пломба випала, і набратися мужності для чергового візиту до лікаря?

3.3. Тепер ви кравець. Вам принесли модну яскраву тканину з різними кольоровими смугами й попросили пошити літній костюм, але так, щоб нитки шва не були помітні на костюмі. Ви прийняли замовлення й задумалися. Кожна кольорова нитка буде виділятися на цьому костюмі. Сховати шов усередину не дозволяє фасон. Як бути?

3.4. Як довідатися, який з радіоелементів перегрівається при роботі і його слід замінити?

3.5. Формувальний автомат щосекунди видає одну круглу таблетку. Вона котиться по похилому лотку й попадає на приймальний стіл лінії упакування. Іноді автомат видає брак: таблетку не круглої форми, а з відколами по краях або ж взагалі розколоту на дві половинки. Як, не застосовуючи яких-небудь спеціальних механізмів, відокремити браковані таблетки від цілих?

3.6. Коли Петро I будував своє місто на Неві, серед робочого люду пішла погоска, що це не богоугодна справа. Усі послалися на ікону Богородиці, що раптом заплакала, коли почалося будівництво. Накинув Петро поверх свого царського мундира армячок і разом з тульським зброярем майстром Тичкой пішов у церкву, де народ видивлявся ікону, яка плаче. Петро подивився на ікону й запитав Стусану: «Чи великий отут закладено секрет?» Той відповів: «Що хитро, те й просто», – і загасив палаючу свічку, що стояла в самій іконі. Після цього візиту царя очі Богородиці завжди були сухими. Який секрет розгадав Стусана?

3.7. У багатьох великих містах автомобільні перехрестя обладнуються спеціальними світлофорами, які самі регулюють тривалість світіння червоного або зеленого кольору залежно від кількості автомашин, що скупчилися. Як це може бути?

3.8. У бункер по трубопроводу самопливом подається пісок. У міру заповнення бункера потрібно перекривати трубопровід, але будь-які засувки або крани швидко стираються піском. Запропонуйте ідеальний кран.

3.9. Назвіть деякі принципів зміни, які відбудуться в майбутньому з наручними годинниками при їхньому русі до ідеалу.

3.10. Ви потрапили на консервний завод. Дзенькаючи, нескінченним потоком рухаються по конвеєрі обмиті гарячою водою порожні скляні банки. Але деякі з них мають тріщини в корпусі, а отже, і відколи на горловинах. Запропонуйте пристрій для відділення бракованих банок від загального потоку. Але не занурюйте банку у воду, не застосовуйте фотоелементи та іншу екзотику. Робіть простіше, ідеальніше!

3.11. Художникові І.С. Телятникову в 1942 році було доручено розроблення ордена Олександра Невського. На ордені повинен бути портрет полководця, причому такий, щоб відразу було ясно, хто це. Але не збереглося ні портретів, ні описів зовнішності російського князя. Як бути?

3.12. Нелегко визначити, при якій освітленості краще ростуть ті або інші рослини. Потрібні тривалі досліди: висадити рослини, освіт-

лювати їх по-різному, чекати, які будуть результати. А якщо потрібно ще довідатися, яка освітленість «приємна» рослині в різному віці, у різний час доби? Як бути?

3.13. Під час Великої Вітчизняної війни в пекучі грудневі морози на одному з уральських заводів необхідно було встановити потужний прес для штампування листів броні танків. Основа преса вагою в кілька сотень тонн потрібно було опустити в підготовлену для нього яму, але не було піднімальних кранів. А чекати не можна, танки потрібні фронту. Як бути?

3.14. В астрономічній обсерваторії ведуть пошук нових і наднових зірок. Для цього щодня фотографують одну і ту саму ділянку неба. І хоча вона невелика, на ній в телескоп видно кілька десятків тисяч зірок. Як серед них виявити нову зірку, якої учора ще не було?

3.15. На хімічному заводі між двома цехами необхідно було прокласти трубопровід зі скляних труб. Вкопали траншею, насипали на дно пісок і стали укладати труби. Але через зовсім невеликі нерівності дна труби стали ламатися, особливо при засипанні їх землею. Можна було б, звичайно, вирівняти дно траншеї дуже ретельно, але це довго й дорого. Як бути?

3.16. У краплі води мільйони мікробів. Як відокремити один з них для спостереження під мікроскопом?

3.17. Досить багато інкубаторських курчат гине в першу добу після вилуплювання з яєць через відсутність рефлексу на місце розташування корму й води. Доводиться сподіватися, що деякі з них випадково знайдуть корм і воду, а інші почнуть їм наслідувати. Як зменшити втрати курчат?

3.18. «Ну звичайно, телепатія існує, я сам це перевірів!» – заявив один раз Вільям Крукс, знаменитий фізик, президент Лондонського королівського товариства. От що він розповів: «До мене прийшли два брати, обоє високі, із пронизливими чорними очима. Вони показували дивні речі. Я замкнув одного з них у підвал, другого помістив у кімнату на четвертому поверсі свого будинку. Цьому другому я тихо говорив перше слово, що прийшло на розум. Телепат клав мені руки на плечі та довго вдивлявся в очі. Після цього я замикав кімнату й спускався в підвал до першого. Той теж обіймав мене, удивлявся в очі, а потім безпомилково називав сказане мною слово! Я ручаюся, що ніякого зв'язку між братами не було!» Телепати виявилися шахраями. Але як їх викрити?

3.19. Одного разу молодий художник узявся написати портрет старого некрасивого банкіра. Друзі попереджали його: даремно узявся! Якщо намалює схожим, банкір не заплатить, скаже, що портрет поганий. Якщо художник прикрасить його, старий купець теж відмо-

вється платити, цього разу причепившись до відсутності подібності. Друзі виявилися праві. «Це не я, а якесь опудало!» – розлютився банкір і пішов, не заплативши ні копійки. Однак через кілька днів він знову з'явився в художника і насилу вмовив його продати нещасливий портрет за ціну в десять разів більш первісної. Що ж відбулося?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию изобретательских задач / Г.С. Альтшуллер. – Новосибирск: Наука, 1986. – 209 с.
2. Викентьев И.Л. Лестница идей: основные теории решения изобретательских задач (ТВВЗ) в примерах и задачах / И.Л. Викентьев, И.К. Каиков. – Новосибирск: Наука, 1992. – 104 с.
3. Гасанов А.И. Методы инженерного творчества: учеб. пособие для студентов техн. специальностей / А.И. Гасанов, С.М. Кокин; МВТУ // в 4 ч. – М.: МОМА «ТВВЗ», 1999. – Ч.1. – 286 с.
4. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике / В.Н. Глазунов. – М.: Речной транспорт, 1990. – 150 с.
5. Глазунов В.Н. Поиск принципов действия технических систем / В.Н. Глазунов. – М.: Речной транспорт, 1990. – 111 с.
6. Голдовский Б.И. Рациональное творчество. О направленном поиске новых технических решений / Б.И. Голдовский, М.И. Вайнерман. – М.: Речной транспорт, 1990. – 120 с.
7. Голдовский Б.И. Комплексный метод поиска решений технических проблем / Б.И. Голдовский, М.И. Вайнерман. – М.: Речной транспорт, 1990. – 112 с.
8. Дерзкие формулы творчества / Сост. А. Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1987. – 269 с.
9. Джонс Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
10. Долотов Б.И. Развитие творческого мышления: учеб. пособие / Б.И. Долотов; КНАГТУ. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2002. – 84 с.
11. Долотов Б.И. Развитие творческого воображения: учеб. пособие / Б.И. Долотов, П.Г. Демышев; КНАГТУ. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2004. – 116 с.
12. Злотин Б.Л. Изобретатель пришел на урок / Б.Л. Злотин, А.В. Зусман. – Кишинев: Лумина, 1989. – 255 с.
13. Злотин Б.Л. Месяц под звездами фантазии: школа развития творческого воображения / Б.Л. Злотин, А.В. Зусман. – Кишинев: Лумина, 1988. – 271 с.
14. Злотин Б.Л. Модели для творца / Б.Л. Злотин, А.В. Зусман // Журнал ТВВЗ. – 1994. – № 1. – С. 82 – 91.
15. Злотин Б.Л. Решение исследовательских задач / Б.Л. Злотин, А.В. Зусман. – Кишинев: МНТЦ «Прогресс», 1991. – 204 с.

16. Иванов Г.И. Формулы творчества, или как научиться изобретать: кн. для учащихся старших классов / Г.И. Иванов. – М.: Просвещение, 1994. – 208 с.
17. Кудрявцев А.В. Методы интуитивного поиска технических решений / А.В. Кудрявцев. – М.: Речной транспорт, 1991. – 111 с.
18. Лисичкин Г.В. Химики изобретают: кн. для учащихся / Г.В. Лисичкин, В.И. Бетанели. – М.: Просвещение, 1990. – 112 с.
19. Меерович М.И. Формулы теории вероятности / М.И. Меерович. – Одесса: Полис, 1993. – 232 с.
20. Моисеева Н.К. Функционально-стоимостный анализ в машиностроении / Н.К. Моисеева. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
21. Селюцкий А.Б. Нить в лабиринте / А.Б. Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1988. – 277 с.
22. Одрин В.М. Морфологический метод поиска технических решений: современное состояние, возможности и перспективы / В.М. Одрин. – К.: Знание, 1982. – 16 с.
23. Одрин В.М. Морфологический анализ систем: построение морфологических таблиц / В.М. Одрин, С.С. Каратавов. – К.: Наук. думка, 1977. – 174 с.
24. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа: метод. рекомендации. – М.: Информ-ФСА, 1991. – 40 с.
25. Певзнер Л.Х. Азбука изобретательства / Л.Х. Певзнер, Т.А. Рыбникова. – Екатеринбург: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1992. – 240 с.
26. Поиск новых идей: от озарения к технологии (Теория и практика решения изобретательских задач) / Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Злотин, А.В. Зусман, В.И. Филатов. – Кишинев: Картя Молдовеняске, 1989. – 381 с.
27. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
28. Селюцкий А.Б. Правила игры без правил / А.Б. Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1989. – 280 с.
29. Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности / под ред М.Г. Карпунина. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 240 с.
30. Воронов А.Г. Применение методов технического творчества при проведении функционально-стоимостного анализа: метод. рекомендации / А.Г. Воронов. – М.: Информэлектро, 1990. – 60 с.
31. Саламатов Ю.П. Как стать изобретателем: 50 часов творчества:

- кн. для учителя / Ю.П. Саламатов. – М.: Просвещение, 1990. – 240 с.
32. Скирута М.Е. Инженерное творчество в легкой промышленности / М.Е. Скирута, О.Ю. Комиссаров. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 184 с.
 33. Титов В.В. Выбор целей в поисковой деятельности / В.В. Титов. – М.: Речной транспорт, 1991. – 125 с.
 34. Селюцкий А.Б. Шанс на приключение / А.Б. Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1991. – 304 с.
 35. Howe M. New Scientist. 1988. V.120. N 1644-1645. P. 58-60.

Кривцов Володимир Станіславович
Воробйов Юрій Анатолійович
Планковський Сергій Ігорович

Теорія й практика вирішення винахідницьких завдань

Редактор Н.М. Сікульська

Зв. план, 2008

Підписано до друку 17.12.2008

Формат 60×84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк.

Ум. друк. арк. 5,3. Обл.-вид. арк. 5,93. Наклад 100 прим.

Замовлення 518. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu