

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

"Дослідження та випробування технічних систем"
для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),
усіх форм навчання

Частина 1 - змістовий модуль 1.

Основні терміни та визначення.
Еволюція, класифікація, етапи створення
та використання технічних систем.

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни "Дослідження та випробування технічних систем" для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 1 - змістовий модуль 1. Основні терміни та визначення. Еволюція, класифікація, етапи створення та використання технічних систем / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 56 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 8
від « 22 » лютого 2019.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 72
від « 15 » березня 2019.

ЗМІСТ

Частина 1

Вступ	5
Тематичний план лекційних занять	7
Лекція № 1. Технічна система.....	10
Лекція № 2. Еволюція технічних систем	19
Лекція № 3. Класифікація, властивості та оцінювання технічних систем.....	33
Лекція № 4. Етапи створення та використання технічних систем	42
Рекомендована література	54
Основна	54
Додаткова	54

Частина 2

Вступ	60
Тематичний план лекційних занять	62
Лекція № 5. Роль випробувань в процесі проектування та створення технічних систем	65
Лекція № 6. Основні поняття та класифікація контролю і випробувань складних технічних систем	71
Лекція № 7. Дослідження складних технічних систем з використанням моделей.....	82
Рекомендована література	100
Основна	100
Додаткова	100

Частина 3

Вступ	106
Тематичний план лекційних занять	108
Лекція № 8. Експериментальні дослідження складних технічних систем	111
Лекція № 9. Випробування складних технічних систем	122
Лекція № 10. Технічні засоби для проведення випробувань та досліджень технічних систем.....	145

Рекомендована література	158
Основна	158
Додаткова	158

Частина 4

Вступ	164
Тематичний план лекційних занять	166
Лекція № 11. Проведення технічних вимірювань при випробуваннях та дослідженнях технічних систем.....	169
Лекція № 12. Випробування технічних систем на надійність	184
Лекція № 13. Формування результатів випробувань.....	196
Лекція № 14. Сертифікація складних технічних систем	207
Рекомендована література	224
Основна	224
Додаткова	224

ВСТУП

Дисципліна "Дослідження та випробування технічних систем" формує у майбутніх фахівців загальне уявлення про характер взаємодії елементів складних технічних систем, якими є сучасні автомобілі. Оскільки до надійності та інших найважливіших характеристик технічних систем висуваються високі вимоги, також є необхідність їх подальшого вдосконалювання, все це ставить перед інженерно-технічними працівниками завдання одержання нових наукових знань, для цілеспрямованого пошуку й об'єктивної оцінки конструктивно-технічних рішень.

У свою чергу одержання нових знань пов'язане із проведенням двох рівнів досліджень: емпіричних, з використанням натурних експериментів, і теоретичних, на основі побудови математичних моделей, адекватних досліджуваному об'єкту.

Отже дисципліна "Дослідження та випробування технічних систем" відіграє в цьому процесі важливу роль, тому що в ній з досить високим ступенем узагальнення викладаються всі основні аспекти системного підходу й дається інструмент для орієнтації в обраній спеціальній області техніки.

Дана дисципліна дозволяє погодити між собою різні навчальні курси й пояснити студентам мету їх вивчення. Такий підхід буде сприяти кращому розумінню зв'язків між окремими елементами системи навчання й змістом багатьох підручників.

Тому що теорія технічних систем робить зрозумілою студенту всю систему навчання й проясняє місце окремих дисциплін, наприклад термодинаміки як спеціальної теорії процесів у теплових машинах, або опору матеріалів як загального вчення про міцність — в технічній системі в цілому.

Крім того, саме знання технічних систем дає системний огляд спеціальної проблематики, завдяки чому легше виявляються пробіли, які необхідно ліквідувати при повторенні навчального матеріалу, і одночасно висуває взаємозв'язки між спеціальними дисциплінами на передній план.

Після закінчення вивчення дисципліни "Дослідження та випробування технічних систем", студент повинен **знати:**

- закономірності еволюції та тенденції технічного розвитку технічних систем;

- рівні класифікації, загальні ознаки, категорії та перелік необхідних властивостей технічної системи;
- роль випробувань та експериментальних досліджень в процесі проектування та створення технічних систем;
- методи випробування технічних систем з використанням фізичного та математичного моделювання;
- знати технічні засоби для проведення випробувань та досліджень технічних систем;
- методи проведення технічних вимірювань при випробуваннях та дослідженнях технічних систем;
- знати правила сертифікації складних технічних систем.

вміти:

- проводити критичний аналіз сутності, моделі та структури технічної системи;
- оцінювати необхідні якості та властивості технічної системи і на основі цього приймати необхідні конструкторські рішення;
- проводити необхідні експериментальні дослідження та випробування в процесі створення складних технічних систем;
- проводити імітаційне моделювання при створенні складних систем;
- проводити технічні вимірювання та робити обробку експериментальних даних під час випробувань систем;
- проводити сертифікацію складних технічних систем за відповідними стандартами.

володіти:

- навичками аналізу складних технічних систем при прийнятті конструктивних рішень;
- навичками проведення випробувань в процесі проектування та створення технічних систем;
- знаннями методів проведення експериментальних досліджень, випробувань та сертифікації складних технічних систем.

Матеріал, викладений у даному конспекті лекцій, надає студентам необхідну інформацію з кожного з розділів навчальної програми курсу "Дослідження та випробування технічних систем", і допоможе студентам досягти необхідного рівня знань, практичних навичок та умінь.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 28 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни "Дослідження та випробування технічних систем" складається з двох частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни "Дослідження та випробування технічних систем" для студентів за напрямом підготовки 6.05050305 – "Машинобудування", спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 19 с.

Нижче наведено назву першого змістового модуля дисципліни "Дослідження та випробування технічних систем", найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Дослідження та випробування технічних систем" та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання. / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 58 с.

Змістовий модуль 1. Основні терміни та визначення. Еволюція, класифікація, етапи створення та використання технічних систем.

Тема 1. Технічна система.

Основні терміни та визначення. Сутність, модель та структура технічної системи.

Тема 2. Еволюція технічних систем.

Закономірності еволюції та тенденції технічного розвитку систем. Управління процесом технічного розвитку. Мотивація досліджень та розробок.

Тема 3. Класифікація, властивості та оцінювання технічних систем.

Рівні класифікації. Загальні ознаки. Категорії властивостей. Відношення між властивостями. Перелік необхідних властивостей технічної системи.

Тема 4. Етапи створення та використання технічних систем.

Загальні положення. Стадії створення технічних систем різних типів виробництв. Послідовність стадій створення та використання технічної системи. Розподіл стадій та операцій між виконавцями.

Тема 5. Роль випробувань в процесі проектування та створення технічних систем.

Задачі та організація експериментальних досліджень. Основні принципи побудови систем контролю та випробувань технічних систем. Роль випробувань в процесі створення технічних систем.

Тема 6. Основні поняття та класифікація контролю і випробувань складних технічних систем.

Випробування і контроль – основні терміни та визначення. Взаємозв'язок вимірювань, контролю та випробувань. Класифікації контролю та випробувань. Загальна схема експериментальних досліджень. Класифікація відмов та дефектів складних технічних систем.

Тема 7. Дослідження складних технічних систем з використанням моделей.

Мета і задачі моделювання при створенні складних систем. Загальні відомості про випробування з використанням моделей. Випробування на основі фізичного моделювання. Випробування на основі математичного моделювання. Імітаційне моделювання складних систем.

ЛЕКЦІЯ № 1. ТЕХНІЧНА СИСТЕМА

План лекції. Основні терміни та визначення. Сутність, модель та структура технічної системи.

Література: [3], с.60-88.

Створення об'єктів сучасної техніки - це складний багатограний і багатоетапний процес пошуку, прийняття й реалізації в натурних зразках, на основі відповідних теорій, усієї необхідної сукупності організаційних, проектно-конструкторських, виробничо-технологічних, експлуатаційних та інших рішень по розробці, виробництві, експлуатації й цільовому застосуванню нових або вдосконалених об'єктів.

Для того щоб зрозуміти що таке технічна система, простежимо, як у процесі розвитку цивілізації мінялися уяви людей про машини. Спочатку було прийнято розглядати машину як щось ціле, що складається з тільки їй приналежних, їй властивих частин. Так, млин не міг бути просто млином, а був або водяний, або вітряний. Із цієї причини в старих книгах машини описувалися як єдине ціле. Для позначення деяких машин не було спеціальних понять. Наприклад, у Рамеллі (1588 р.) відсутній термін "насос" при описі відповідної машини.

Можна згадати в цьому зв'язку праці Леонардо да Вінчі (1452-1519 рр.). Уже він розглядав елементи й частини машин як загальні для різних машин елементи й займався їхнім дослідженням. У своїх роботах ("Мадридський кодекс") він сформулював два цікаві постулати про машини:

- книгу про сутність машин слід, насамперед, писати, як книгу про їхнє застосування;
- механізми суть рай для математичних наук, вони виявляють на математику плідний вплив.

Леонардо да Вінчі належить до геніїв, що визначили хід розвитку науки. Так, лише в XIX сторіччі, після створення великої кількості різних машин було проведено систематичне дослідження елементів механізмів і машин, що дозволило, ґрунтуючись на реальних надійних конструкціях, вести пошук закономірностей, що лежать в основі цих машин. На той час поряд з машинами, що застосовувалися у військовій, гірничій і водній справі, існували також прядильні й ткацькі верстати, друковані й піднімальні машини; до них незабаром приєдналася

парова машина, потім пішли гідравлічний двигун, електродвигун, генератор.

Тільки зі створенням технічних шкіл (Париж, 1794 р.; Прага, 1806 р.) починається процес упорядкування й відбувається виділення механізмів з рамок загального вчення про машини (Монж, Карно, Ашетт, Ланс). Спочатку вводять 10, а пізніше - 21 клас механізмів, призначених для перетворення руху. У Борна (1818 р.) мова йде вже про необхідність розрізняти 6 класів основних частин машини, які групуються не за принципом перетворення руху, а по їхніх функціях.

Цю ідею запозичили, і розробляли Коріоліс і Понселе. Вони розрізняють у машинах три основні частини: рецептор, передавальний механізм і інструмент. Їхня концепція була відкинута прихильниками навчання, що швидко поширилися, про механізми (представником якого був і Ампер), і надалі забута. Важливою проблемою, пов'язаною з механікою й, насамперед з теорією міцності стало визначення оптимальних розмірів машин. Ф. Рело (1829-1905 рр.) бачив основу для виявлення принципів роботи машин у прикладній механіці й, зокрема, у кінематиці.

Саме Рело в 1874 р. у своїй роботі "Теоретична кінематика" почав першу спробу створити загальну теорію механізмів і машин. Ідеї того часу прослідковуються в роботах Р. Вілліса, П.Л. Чебишева й І.І. Артоболевського. При цьому розглядаються три області теорії механізмів і машин: синтез механізмів, динаміка машин, теорія автоматів.

Розглянуті концепції поступово стають представлені як у теорії, так і в самій структурі наук. Традиційні елементи навчальних планів і структури наук створюють основу, наприклад, для машинобудування, механіки (з теорією міцності), теорії деталей машин, матеріалознавства й технології матеріалів, організації виробництва. У цьому напрямку розбудовувалися, природно, і спеціальні області, особливо ті, у яких прогрес техніки йшов рука про руку з розвитком відповідної науки, наприклад, термодинаміка й теплові машини.

Із практичних міркувань усі питання, пов'язані із плануванням, виробництвом і експлуатацією, вирішувалися в рамках кожної галузі. Внаслідок цього виникли відособлені друг від друга сфери знань і професій, у яких усяке професійне навчання повинне було доповнюватися багаторічним досвідом. Причина цього полягала у відсутності теорії й, як наслідок, у відсутності системи збору й класифікації винаходів і сутності нових технологій.

Таке положення було можливим і прийнятним тільки на етапі першої технічної революції, коли здійснювався перехід від ручних форм виробництва до промислових - до машинного століття. Зростаюче промислове виробництво, різні кризові ситуації (особливо друга світова війна), сировинні й екологічні проблеми, що виникли в ході другої технічної революції - усе це зажадало розробки нових підходів і теорій. Створення нових технічних засобів, поряд з підвищенням вимог, з одного боку, і новими способами розв'язку завдань (наприклад, засобами обчислювальної техніки), з іншої, викликало необхідність перегляду методів вивчення технічних систем.

Одне з нових напрямків в області теорії технічних систем виникло після другої світової війни спочатку у вигляді окремих аспектів загальної теорії в рамках декількох тематично зв'язаних між собою досліджень (Вегербауер, Кессельрінг), а пізніше в більш інтегрованій формі, що особливо відноситься до системотехніки (наприклад, Госслінг, Рот, Хубка, Хансен, Рополь, Іюшикава).

У Радянському Союзі засновником наукової школи в області теорії механізмів і машин, а також систем автоматичної дії були акад. І.І. Артоболевський (1905-1977 рр.). Його основні праці: "Синтез механізмів" (1944); "Курс теорії механізмів і машин" (1945); "Механізми. Посібник для інженерів, конструкторів і винахідників" (1947-1955); "Теорія механізмів" (1965); "Механізми в сучасній техніці" в 7 томах (1970-1976).

Таким чином, значимість загальної теорії створення сучасної техніки полягає в тому, що на основі її принципів і методів установлюється й забезпечується необхідна функціональна й економічна ефективність нових технічних об'єктів, їх техніко-економічні рівні, темпи технічного прогресу й строки відновлення техніки, визначається "навантаження" на економіку відповідних галузей господарства, що бере участь у її створенні.

Необхідність постійного вдосконалювання техніки є причиною пошуку шляхів подальшого вдосконалювання й теорії створення цієї техніки в плані більш повної відповідності її сучасним вимогам, що зажадало наприкінці 70-х років ХХ ст. критичного розгляду досвіду використання комплексної методології.

Суть змістовної основної частини будь-якої теорії визначається використаним у ній загальнонауковим концептуальним підходом, у зв'язку із чим критичному осмислюванню в першу чергу, був підданий

комплексний системний підхід, що лежить в основі теорії створення технічних систем.

Системний підхід дотепер не має єдиного формулювання й розглядається як якийсь "золотий ключик" для вирішення різних проблем. При цьому він нерідко трактується як щось зовсім невідоме до наших днів, як загальна методологія науки, ледве чи не нова філософія, покликана замінити всі існуючі методологічні, світоглядні концепції, включити в себе всі інші методологічні засоби.

Системний підхід являє собою загальнонаукову (тобто нефілософську) концепцію. Системний підхід містить у собі два аспекти: по-перше, у певному розумінні самого об'єкта досліджень саме як системи, а по-друге, у розумінні процесу досліджень як системного по своїй логіці й застосовуваним засобам.

Основною категорією системного підходу вважається **система** (від грецького **sistema** - ціле, що складається із частин), яка є не простим об'єднанням своїх частин. Звідси й заперечення елементаризму - підходу, що невірно орієнтує на простий синтез системи з її елементів, на просте об'єднання або "співіснування" елементів.

Однак слід зазначити, що системний підхід не відбиває змісту всієї сукупності принципів діалектики (у першу чергу, її творчу перетворюючу спрямованість, що забезпечує розвиток системи), у зв'язку із чим він не може розглядатися як самий універсальний і базовий для розробки теорії створення сучасної техніки, що виключає інші, раніше використовувані, і нові, більш універсальні загальнонаукові підходи.

Удосконалений підхід для побудови загальної теорії створення об'єктів сучасної техніки повинен відбивати не тільки системну організацію їх побудови, але й усіх інших проектних об'єктів, факторів і процесів. Він також повинен відбивати еволюційну природу їх походження й управлінську, активну суть діяльності розроблювачів, що лежить в основі всього процесу їх удосконалювання, що забезпечує технічну еволюцію, спрямовану на постійне підвищення якості технічних об'єктів, створюваних для використання в народному господарстві.

Слід зазначити що навіть у деяких фундаментальних науках поки не досягнута повна єдність щодо деяких термінів. Таке положення спостерігається, наприклад, у кібернетиці й теорії систем - науках, які мають основне значення. Відсутність єдності по термінологічних питаннях не дозволяє посперитися на відповідну літературу й змушує розг-

лядати деякі елементарні, але важливі поняття.

Крім того, для різних понять поряд з їхніми визначеннями й назвами, будуть рекомендовані також буквені символи для їхнього позначення. Використання символів, з одного боку, відповідає цілям установлення загальноприйнятої термінології, а з іншого - дозволяє скоротити записи й витрати інженерної праці. У даному конспекті лекцій використовується невелика кількість символів (наприклад, технічна система - TS, машинна система - MS); усі інші поняття будуть записуватися повністю, із вказівкою якщо буде потреба скорочень відразу ж у тексті.

Системою - ми називаємо сукупність, утворену (і впорядковану за певними правилами) з кінцевої безлічі елементів. При цьому між елементами системи існують певні відносини. Можливі також системи, що включають ізольовані елементи (або групи елементів), які не мають відносин з іншими елементами системи.

Елемент і система є відносними поняттями. **Елемент** може одночасно бути системою менших елементів, а система, у свою чергу, може бути елементом деякої більшої системи. Наприклад, деяка машина - це система, утворена своїми елементами, і в той же час ця машина може бути елементом деякого підприємства. Система може бути розділена на підсистеми різної складності. Об'єктом розгляду для конструктора є машини, для проектувальника - навіть підприємства. На відміну від цього, наприклад, матеріаловед свої дослідження проводить на рівні молекул як елементів системи (матеріалу).

Технічні системи (TS) - це не механізми в чистому виді, і не автомати. "Теорія машин", розроблена І.І. Артоблевським, являє собою лише частину цієї майбутньої загальної теорії. Поняття "система" перебуває в одному ряді з такими поняттями, як призначення, поведінка, структура, вхід, вихід, властивість, стан. Система має певне призначення, яке може бути описане системою цілей.

Ціль - це якість (можливо, уявлюване) стан справ, до здійснення якого прагнуть. Тоді система цілей може бути визначена як безліч цілей і відносин між ними. Підціль може конкретизувати мета. Найчастіше підціль є засобом досягнення мети.

Поведінка може бути визначена як безліч послідовних у часі станів системи. Поведінка біологічних систем трактується як сума реакцій на роздратування. Для деяких типів систем (таких, як системи понять і цілей) поняття "поведінка" не має змісту. Метою створення

технічних систем є цілком певна їхня поведінка.

Цілеспрямовану поведінку системи часто називають **функцією**. У цьому випадку під функцією розуміють деяку стабільну здатність до певних дій, що забезпечується лише правильною поведінкою системи, тому що, загалом кажучи, система може функціонувати неправильно. "Поведінку" технічних систем ми будемо називати **функціонуванням** і застосовувати цей термін у зв'язку з бажаною дією.

Поняття **структура (Str)** - характеризує внутрішню організацію, порядок побудови системи. Таким чином, структура - це сукупність елементів і відносин між ними.

Функціонування системи задається її структурою. Відносно замкнена система із заданою структурою функціонує однозначно, тобто її структура повністю визначає спосіб функціонування. З іншого боку, функціонування не визначає структуру однозначно. Та сама функція може бути реалізована різними структурами.

Оточення (навколишнє середовище, Umg) теоретично включає все, що не входить у дану систему. Практично ж ми обмежимося оточенням, що складаються із систем, які включають хоча б один елемент, вихід якого є в той же час входом деякого елемента системи, або елемент, вхід якого є одночасно виходом деякого елемента системи.

Таке "безпосереднє" оточення буде називатися **реальним оточенням**. Повне оточення системи включає наступні складові частини: геосферу, атмосферу, біосферу (включаючи людей), техносферу й астросферу.

Вхід (In) представляє зовнішнє відношення, "навколишнє середовище - система". Вхідна величина може бути залежно від виду системи дією, зв'язком (відношенням) або параметром стану об'єкта дії (операнду). Сукупність усіх входів становить узагальнений вхід (який може бути представлений як вектор окремих входів).

Вихід (Ou) представляє зовнішнє відношення "система - навколишнє середовище". Вихідна величина може бути залежно від виду системи дією, зв'язком або параметром стану операнду. Сукупність усіх виходів може бути зведена до узагальненого виходу (вектору виходу). Вихід системи є безліччю виходів усіх елементів, які не є входами інших елементів системи.

Вхідна й вихідна величини є єдиними зв'язками системи з навколишнім середовищем. Входи й виходи включають усі види зв'язків з навколишнім середовищем; бажані й небажані (перешкоди), зв'язки

матеріального (S), енергетичного (En) і інформаційного (I) характеру.

Модель, представлена на рис. 1.1, наочно ілюструє наведені вище визначення та їх взаємозв'язки.

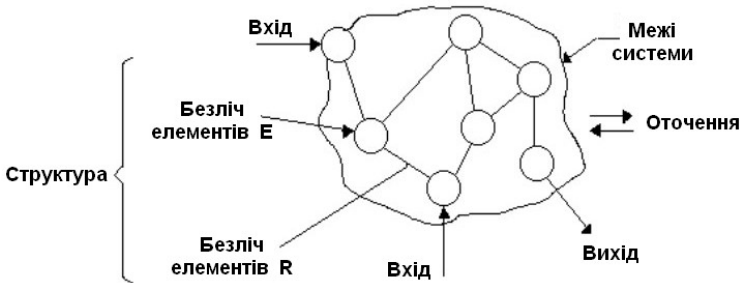


Рисунок 1.1 – Модель системи

Кожна система, її елементи й відносини мають властивості E, властиві цій системі й точно визначальними, такими як розміри, маса, швидкість, форма, стабільність, а також технологічність, транспортність і особливо здатність що-небудь робити, тобто функціонувати. Властивістю є всяка істотна ознака об'єкта.

Об'єктів без властивостей не існує. Однак ступінь втілення цих властивостей може бути різною. Для сукупної характеристики об'єкта, наприклад, при його оцінці, вибирають істотні властивості цього об'єкта. У цих випадках говорять про приватну, узагальнену й сукупні оцінки, узагальненій якості або цінності. Для одержання сукупної оцінки необхідно виміряти окремі властивості, а частки оцінки перетворити в узагальнені.

Сукупність значень властивостей системи в певний момент часу називається станом системи. Аналогічно якості, стан системи можна визначити вектором, що має у якості компонентів окремі властивості. При визначенні якості або стану абстрагують від більшої частини несуттєві або ті властивості, що не представляють інтересу.

Два стани системи можуть бути однаковими або різними. Відмінність між станами називається їхньою різницею. Різниця виникає при переході системи з одного стану в інший. Різниця може бути диференціальною (коли має місце безперервний перехід до наступного стану) або дискретною.

Призначення технічної системи.

Технічні системи повинні реалізовувати заплановані цілеспря-

мовані впливи на операнди технічного процесу. Технічні системи виконують незліченні й різноманітні дії типу фіксувати, рухати, зберігати, нагрівати, з'єднувати, розділяти, ущільнювати, управляти та ін., які слугують для задоволення потреб людей. Подібно функціонуванню й призначенню, слід робити відмінність між технічною й цільовою функціями технічної системи.

Спосіб дії.

У технічних системах для реалізації їх призначення використовуються відомі природні ефекти, наприклад, ефект важеля, гравітація, ефект розширення при підвищенні температури, ефект електричного поля в провіднику, що рухається в магнітному полі, та інші фізичні, хімічні й біологічні явища. Взаємодія складових частин технічної системи така, що реалізує внутрішній технічний процес і тим самим творить необхідний зовнішній вплив.

Так, використовуючи зубчасту передачу, змінюють число обертів і напрямок обертання. Такий причинний ланцюжок з перетворенням наслідків (виходів) у причини (входи) наступних операцій характеризує спосіб дії (спосіб функціонування) технічної системи.

Внутрішні перетворення в технічній системі або описують внутрішніми функціями системи й тоді зображують призначення системи у вигляді її функціональної структури, або характеризують засобами (тобто виконавчими органами), що здійснюють ці функції, і тоді спосіб дії системи може бути представлений як її органоструктура. Виконавчі органи можна розглядати на різних рівнях абстрагування; тим самим визначається також і ступінь абстрактності відповідних їм функцій.

Структура технічної системи.

Технічна система може бути створена тільки в тому випадку, якщо є можливість створити й бажаним образом об'єднати її складові частини. При цьому за допомогою структури повинні бути реалізовані (у можливо більш повній мірі) певні властивості, що забезпечують бажане функціонування системи. Розгляд технічних систем з погляду структури приводить до понять структурних елементів і груп, які перебувають між собою в певних геометричних, механічних, енергетичних та інших відносинах. Структура являє собою як би "рентгенівський знімок" об'єкта. У конструкторській справі звичайно вона характеризується кресленням і специфікацією. Структура об'єкта при тому

розчленовується на елементи й групи залежно від прийнятої точки зору (наприклад, складання або функціонування). Структурні групи чотирьох рівнів у цьому випадку визначаються вимогами виготовлення (технологічне угруповання).

Питання для самоперевірки

1. В чому полягає значимість загальної теорії створення сучасної техніки?
2. Хто був засновником наукової школи в області теорії механізмів і машин у Радянському Союзі?
3. Що таке системний підхід?
4. З чого складається системний підхід?
5. Що таке система?
6. Що таке технічна система?
7. Дайте визначення термінів "ціль" та "поведінка".
8. Чим визначається функціонування системи?
9. Що представляє собою "Вхід"?
10. Що входить до складу "оточення"?
11. Що представляє собою "Вихід"?
12. Коротко опишіть модель системи.
13. В чому полягає призначення технічної системи?
14. З чого складається структура технічної системи?

ЛЕКЦІЯ № 2. ЕВОЛЮЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

План лекції. Закономірності еволюції та тенденції технічного розвитку систем. Управління процесом технічного розвитку. Мотивація досліджень та розробок.

Література: [3], с.179-194.

Зрівнявши між собою аналогічні технічні системи, створені в різний час, легко виявити певні тенденції в змінах. Характерним прикладом є легковий автомобіль, історія розвитку конструкції якого представлена у вигляді ілюстрацій рис. 2.1.

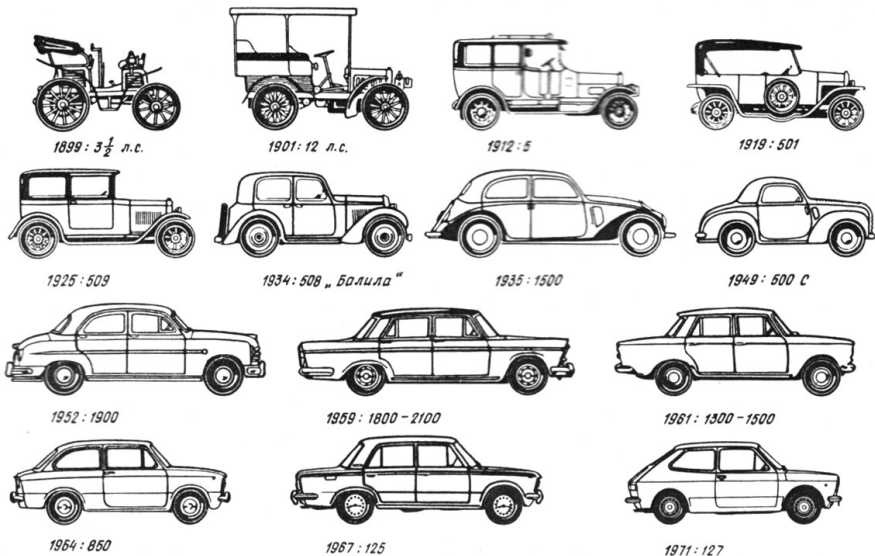


Рисунок 2.1 – Стадії розвитку автомобіля FIAT

Видно, що форми його мінялися в напрямку більшої зручності й обтічності. У той же час еволюція дизельного двигуна (рис. 2.2) характеризується більшою мірою зменшенням розмірів, маси й ціни. Хоча автомобіль залишився автомобілем і дизель - дизелем, разом з тим у зв'язку з підвищенням технічного рівня й ростом потреб змінився й ряд їх властивостей. Змінилися не тільки форма й естетичні властиво-

сті автомобіля, що легко бачити на малюнку, але також швидкість, потужність, надійність, маса та ін.

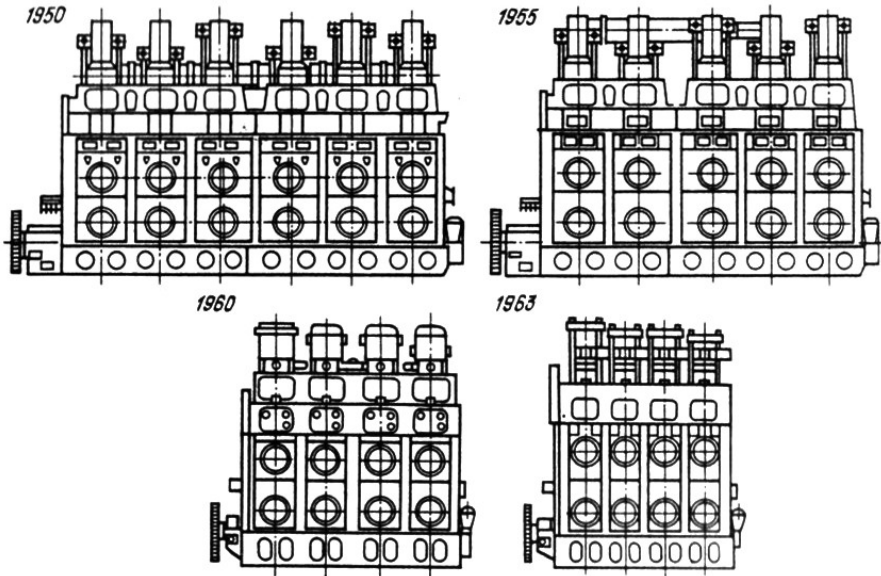


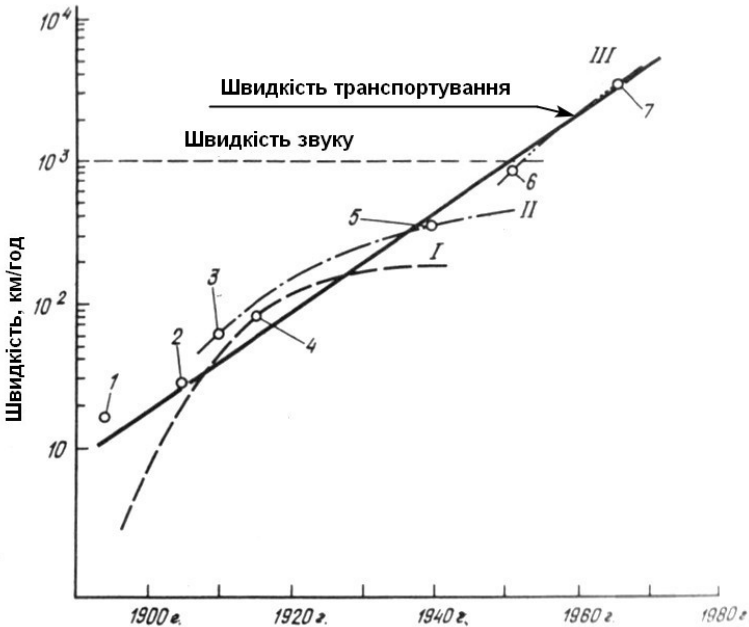
Рисунок 2.2 - Стадії розвитку дизельних двигунів

Усе це дозволяє ввести поняття "технічний рівень" технічних систем для того або іншого вузького інтервалу часу. Під технічним рівнем розуміється сукупність технічних властивостей - параметрів, що визначають сукупну цінність виробу.

На рис. 2.3 показана зміна швидкості руху засобів транспорту за 80 років. Поряд з підвищенням швидкості транспортування взагалі показана також зміна швидкості за часом для різних видів транспортних засобів (автомобіль, гвинтовий літак, реактивний літак).

Кожне із сімейств засобів пересування з певними функціями має характерну криву еволюції швидкості, що наближається асимптотично до певної межі. Ця межа обумовлена або законом природи, наприклад для транспортних засобів з повітряним гвинтом, або обмеженою застосовністю засобів, наприклад для водного транспорту. Особливим випадком є обмеження, що накладаються навколишнім середовищем на технічну систему, наприклад дорога або планування вулиць. У цьому випадку еволюційна крива неасимптотично наближається до

границі, обумовленої впливом навколишнього середовища. Часто ряд систем одного технічного рівня називають поколінням. Так, говорять, наприклад, про покоління ЕОМ.

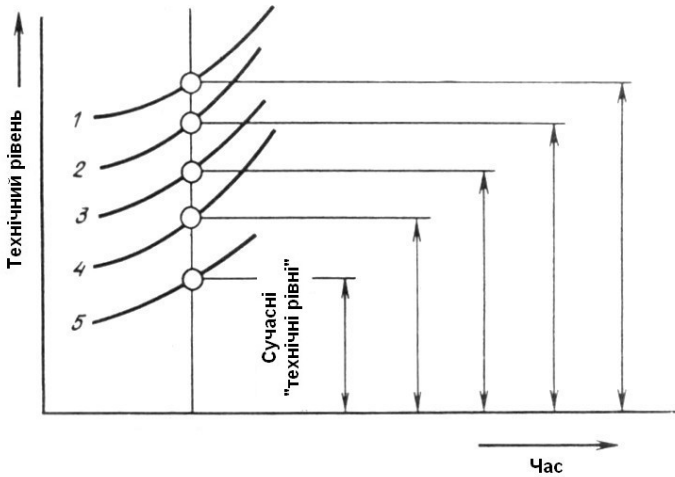


I - автомобілі; II - гвинтові літаки; III - реактивні літаки
 1 - пароплави, 2 - перші аероплани, 3 - "Скаут" фірми "Брістоль",
 4 - "FIAT-510", 5 "Кондор",
 6 - "Каравела" (805 км/ч), 7 - "Конкорд" (2335 км/год)

Рисунок 2.3 - Підвищення швидкостей транспортування в процесі технічного розвитку

З наведеної діаграми (рис. 2.3) видно, що в певний момент часу для систем різного призначення характерні різні граничні величини того самого робочого параметра.

На рис. 2.4 показане сімейство еволюційних кривих, що відбивають, крім того, різний технічний рівень у різних областях від досліджень до виробництва. Еволюційна крива для технічної системи може бути запозичена з біології (рис. 2.5), оскільки щодо цього її можна уподібнити живому організму.



1 - винаходи й відкриття; 2 – дослідження, 3 – розробки,
4 – виробництво, 5 – експлуатація

Рисунок 2.4 - Еволюційні криві для деяких областей діяльності й відповідні "технічні рівні"

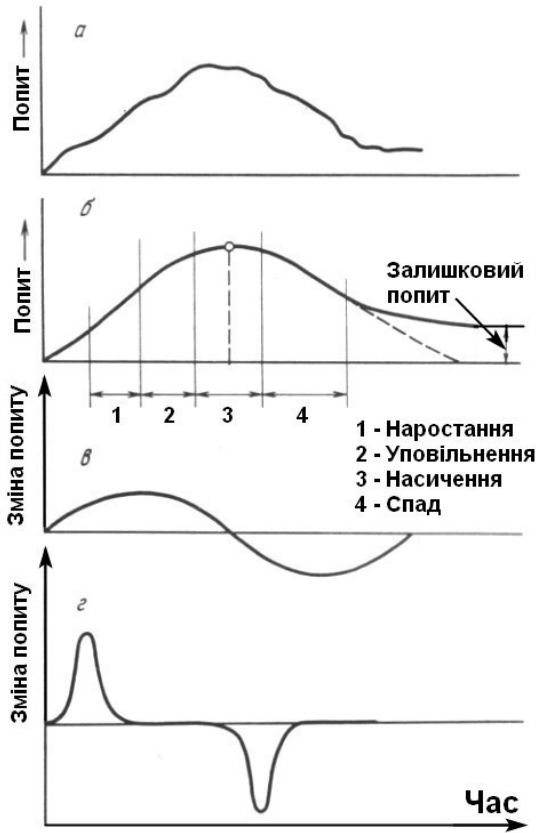


Рисунок 2.5 - Крива розвитку

Еволюція попиту на технічну систему.

Важливою величиною, яка також сильно змінюється згодом, є еволюція попиту на технічну систему. Для простоти аналізу будемо вважатися, що виробництво технічної системи завжди відповідає попиту на неї. Дійсне зростання або зменшення попиту із часом відбува-

ється приблизно так, як показано на рис. 2.6, а. Цю криву можна замінити спрощеною більш плавною кривою (рис. 2.6, б).



а - реальна крива попиту, б - ідеальна крива попиту,
в - крива похідної від попиту, г - крива похідної зі сплеском попиту

Рисунок 2.6 – Криві попиту

Попит на технічну систему, навіть після розробки нових більш ефективних систем, не завжди падає до нуля, про що свідчить спадаюча ділянка кривих на рис. 2.6, а й б. Старі машини будуть використовуватися й надалі, хоча й у менших масштабах. Так, наприклад, спеціалізовані сільськогосподарські машини не можуть повністю витіснити трактор і комбайн. Криву попиту на технічну систему можна

представити також у вигляді першої похідної попередньої кривої. У результаті виходить крива типу синусоїди (рис. 2.6, в). Природно, що реальна крива (рис. 2.6, г) не буде такою гладкою внаслідок різних зовнішніх впливів, наприклад політичних, соціальних або економічних змін. Якщо досліджувати криві попиту на різні технічні системи, то можна встановити, що довжина хвилі цих кривих із часом коротшає. Таким чином, технічний прогрес приводить до того, що тривалість використання виробів коротшає. З іншого боку, при прискоренні випуску нових виробів амплітуда попиту на них збільшується.

Звідси випливає, що потрібно всіляко прискорювати розробку нових систем. Так, до речі, і було завжди. Це можна проілюструвати наступним прикладом. Тривалості періоду створення (від задуму до готового виробу) для ряду систем змінювалися таким чином:

- фотоапарат - 112 років (1727-1839);
- радіо - 35 років (1867-1902);
- радар - 15 років (1925-1940);
- телевізор - 12 років (1922-1934);
- атомна бомба - 6 років (1939-1945);
- транзистор - 5 років (1948-1953).

Таке зниження тривалості періоду створення виробів, обумовлене технічним прогресом, можна передбачити й використовувати в прогнозах. Інша важлива ознака кривої зміни попиту, а саме локалізація зміни попиту на усе більш вузькому проміжку часу (рис. 2.6, г), пов'язана з динамізмом сучасної сфери споживання.

Фактори еволюційного процесу.

Як відомо, поряд з новими методами виготовлення, новою сировиною й новими технічними рішеннями, при створенні технічної системи використовується накопичений у минулому досвід. Додаються зусилля до поліпшення властивостей існуючих виробів і створюються нові вироби, які повинні задовольняти зростаючі потреби людей.

З розвитком цивілізації ці потреби змінюються. Якщо раніше людей цікавили в основному лише проблеми підтримки життя, то сьогодні їх потреби часто набагато перевищують життєво необхідні.

Однак змінюються й умови функціонування технічних систем. З розвитком науки й техніки з'являються знання, які дозволяють застосовувати нові матеріали, технологічне устаткування й технічні рішення. Ці технічні можливості використовуються повністю лише при сприят-

ливій економічній ситуації. Крім того, необхідна мотивація для спонукання суспільства до вирішення тієї або іншої технічної проблеми. Ця мотивація може впливати або з безумовних потреб суспільства, або зі сфери економіки (наприклад, прагнення до збільшення доходу), або з розвитку науки (наприклад, прагнення до досягнення практичного ефекту від теорії).

При дослідженні цих взаємозв'язків не слід забувати, що суспільство, наука, техніка й економіка розбудовуються взаємозалежно. Комплекс цих відносин у схематичній формі представлений на рис. 2.7.

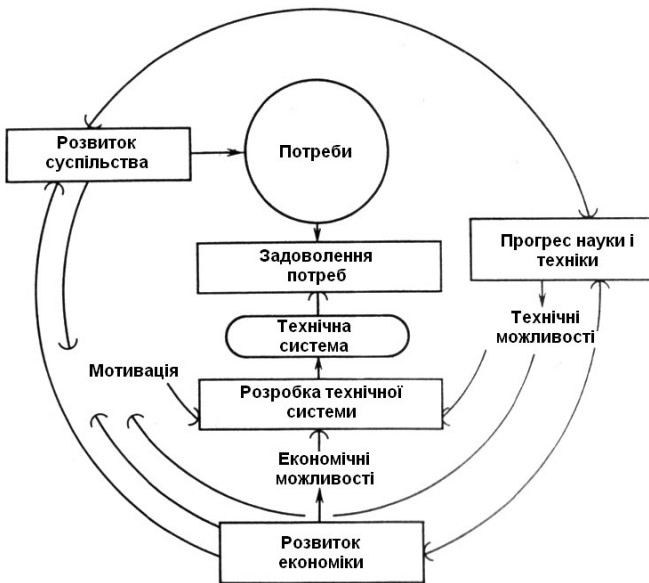


Рисунок 2.7 - Відносини в макросистемі суспільство - економіка - наука й техніки

Крім зовнішніх відносин слід враховувати внутрішні зв'язки процесу конструювання, що існують між конструктором, спеціальною інформацією, технічними засобами, керівництвом і умовами процесу конструювання.

На еволюцію технічних систем впливають і такі фактори, як формування потреб і наявність сировини. Є чи ні, в країні власні джерела нафти, вугілля, заліза, нікелю, титану, урану? В умовах економічного

співробітництва різних країн ці питання відступають на другий план.

Важливу роль відіграє також прийнятна ступінь ризику. Статистичні дослідження показують, що, наприклад, у США з 100 початих розробок реалізується тільки 10, з яких лише в трьох випадках виробляється такий виріб, який виявляється на рівні сучасних вимог і знаходить широке застосування.

Організація та обсяг дослідницьких і конструкторських робіт. Одночасно зі зростаючими вимогами до технічних систем, ростом їх числа й збільшенням складності повинен відповідно зростати обсяг дослідницьких і конструкторських робіт. Побічно він характеризується кількістю фахівців, зайнятих дослідженнями й розробками. Можна вважати, що в цей час в усьому світі в цій області працюють приблизно 4 млн. чоловік, що становить близько 0,1 % усього населення. Однак у промислових країнах цей відсоток вище; згідно зі статистичними даними, в 1966 р. у США він становив 6,2 % усього населення.

Іншим показником обсягу дослідницьких і конструкторських робіт є витрати на них. Промислові країни витрачають на ці роботи усе більше й більше засобів. У цей час у високорозвинених країнах витрати на науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи становлять 2-3 % загальної суми національного доходу.

Цікаво також співвідношення між окремими видами витрат. Так, наприклад, частка витрат на фундаментальні дослідження становить близько 10 % загальних витрат на науково-дослідні роботи. Виникає питання, яким чином покривати ці видатки. Зростаюча вартість розробок, ризик невдачі що підвищується, обмежують можливість виконання дослідницьких і конструкторських робіт без підтримки держави. Вища школа, наприклад у Німеччині, фінансується як державою, так і по прямих замовленнях промисловості. У зв'язку із цим усе більше вищих навчальних закладів займається проведенням науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт.

Підтримка держави проявляється й у фінансуванні інформаційних центрів і бібліотек, які надають свою інформацію зацікавленим особам і організаціям.

Великі витрати й недолік висококваліфікованого персоналу спонукають підвищувати ефективність дослідницьких і конструкторських робіт. Для цього слід прагнути до співробітництва на можливо більш широкій основі, у тому числі на міжнародному рівні, тому що

жодна держава поодиноці не в змозі проводити великі дослідження й розробки у всіх областях. Сьогодні вирішення дослідницьких і конструкторських завдань вимагає високого ступеня спеціалізації. Важливо не тільки вести власні розробки, але й стежити за розробками в інших країнах, використовуючи закордонні досягнення шляхом придбання ліцензій і унікального устаткування.

Тенденції технічного розвитку.

Для визначення тенденцій розвитку науки й техніки слід виходити із цілей суспільства. Філософія й соціологія, які займаються з'ясуванням цілей суспільства, звичайно далекі й абстрактні для людей, що займаються технікою. Однак у цей час відповідальність інженерів за розвиток суспільства подібна відповідальності лікарів за здоров'я людей, так що розв'язок цієї проблеми не можна більше залишати політикам, філософам і соціологам. Учені й інженери, керуючись соціально-моральними нормами, повинні перешкоджати використанню техніки в егоїстичних цілях окремих соціальних груп.

Існує ряд незаперечних цілей суспільства, очевидних більшості людей. Не розглядаючи питання про пріоритетність цих цілей, приведемо найбільш значні з них:

- виключення голоду;
- виключення війн;
- рятування від хвороб і збільшення тривалості активному життя людей;
- боротьба зі злочинністю;
- підвищення добробуту;
- підвищення рівня освіти;
- скорочення частки фізичної праці;
- скорочення робочого часу.

Інше питання полягає в тому, наскільки ці цільові настанови можуть сприяти щастю й задоволеності людей. Думки про те, яку роль у цьому повинна відіграти техніка, розділилися. Деякі пропонують повністю відмовитися від техніки, інші виступають за її безконтрольний розвиток. Незалежно від висловлюваних крайніх думок наука й техніка будуть розбудовуватися. Важливо, щоб вони розбудовувалися тільки на благо людей. Для того щоб люди могли правильно управляти розвитком техніки, необхідно знати, у якому напрямку він повинен відбуватися і яким чином він повинен регулюватися.

Тенденції розвитку техніки часто формулюються на рівні пев-

них властивостей технічних систем. Визнаними тенденціями розвитку є механізація, автоматизація, електрифікація, комп'ютеризація, використання нових принципів роботи й прогресивних способів виробництва. Механізацію можна визначити як передачу функцій дії від людини машині. Аналогічно цьому автоматизація - це передача функцій керування й контролю від людини машині. Електрифікація, хімізація та ін., означають розширення використання електричних, хімічних і інших явищ для вирішення технічних завдань.

Аналіз цих тенденцій показує, що вони безпосередньо впливають тільки на зниження частки фізичної праці; зв'язок з іншими цілями суспільства проявляється побічно. Зв'язок цих тенденцій із цілями суспільства стане ясніше, якщо ми розглянемо розвиток найважливіших галузей техніки. Технічний рівень визначають:

- інформатика, електроніка й обчислювальна техніка;
- ракетно-космічна техніка;
- атомна енергетика;
- транспорт і зв'язок;
- охорона навколишнього середовища;
- медична техніка;
- дослідження морів і океанів.

Досягнення в цих областях повинні підвищувати добробут і опікувати здоров'я людей, задовольняти їхні потреби й робити життя більш повним. Прогрес техніки здійснюється як розвиток властивостей технічних систем. Розглянемо тепер тенденції розвитку на прикладі деяких властивостей систем.

Функції.

Робоча функція переживає бурхливий розвиток, і в цьому в першу чергу проявляється технічний прогрес.

Функції підготовки й обслуговування, очевидно, не повинні торкнутися які-небудь революційні зміни. Електричні, пневматичні й гідравлічні приводи як технічно, так і економічно поліпшуються поступово.

Функції керування, регулювання й узгодження інтенсивно розбудовуються як одне з головних додатків автоматизації, кібернетики й електроніки. Ці функції вже досягли високого рівня й продовжують удосконалюватися.

Функціонально обумовлені властивості - характеризують технічну цінність машини. Тиск, потужність, температура, швидкість та

інші технічні параметри машин зростають. З метою досягнення максимальної економічної ефективності створюються усе більші функціональні одиниці (турбіни, кораблі, літаки).

Виробничі властивості. Ці властивості також суттєво змінюються під впливом технічного прогресу, але не завжди в напрямку збільшення. Коли, наприклад, підвищуються вимоги до надійності, доводиться миритися з більш коротким періодом використання технічної системи. Чітко проявляється тенденція до зменшення розмірів (мініатюризація) і маси виробів. Усе більш широке застосування знаходить блоковий принцип, що полегшує експлуатацію й технічне обслуговування.

Естетичні властивості. Важливість цієї категорії властивостей підвищується, і існує лише відносно невелика група технічних систем, для яких естетичні властивості не мають значення. Привабливий зовнішній вигляд виробу, не тільки сприяє кращому сприйняттю, але й підвищує продуктивність праці.

Характеристики поставок, планування й обліку. Ці характеристики, що забезпечують планування й облік продукції, як і доставку товару споживачеві, дуже важливі в умовах конкуренції й підвищених вимог споживача до обслуговування.

Характеристики відповідності правовим нормам. Міжнародні економічні зв'язки що розширюються, ускладнюють завдання задоволення всім правовим нормам, у тому числі міжнародним, а також перевірку на патентну чистоту. У зв'язку із цим усе більше зростає відповідальність виготовлювачів за якість своїх виробів.

Економічні властивості. Для забезпечення конкурентоспроможності виготовлювач повинен підтримувати як можна більш низьку собівартість. Засобами досягнення високої економічної ефективності виробів є раціоналізація робіт стандартизація деталей, типізація вузлів, високопродуктивне устаткування, кваліфікований персонал, стимулювання високопродуктивної праці і т.п.

Якість виготовлення. Тому що технічні системи безперервно ускладнюються й удосконалюються, то до якості й виготовлення пред'являються усе більш високі вимоги.

Конструктивні властивості. Внутрішні (конструктивні властивості визначають розглянуті вище зовнішні властивості. Тому необхідно приділяти велику увагу поліпшенню основних конструктивних властивостей виробу - структури, форми розмірам (масі) і матеріалам.

Структура - ця впорядкована безліч елементів та відносин. Незважаючи на нормалізацію й стандартизацію, асортимент конструктивних елементів зростає, а відносини між ними в усе більш досконалих технічних системах ускладнюються.

Основними тенденціями в конструюванні є спеціалізація й агрегування функцій конструктивних елементів. Аналогічно й у просторових відносинах елементів структури існує кілька напрямків розвитку; перш за все це тенденція до створення блокових систем, коли з підготовлених груп (блоків) можна сформувати різні варіанти технічної системи. Іншим напрямком виявляє касетування, що спрощує маніпуляції зі змінюваними елементами.

Основною тенденцією відносно форми є спрощення або уніфікація, тому що форма виявляє значний вплив на вартість. Однак це часто суперечить естетичним вимогам, у зв'язку із чим доводиться шукати компромісні рішення.

Компактність і мінімальна маса звичайно є бажаними конструктивними властивостями, якщо це не суперечить іншим вимогам. Поліпшення маніпуляційних властивостей, економія матеріалів і виробничих площ - найбільш очевидні наслідки компактності й мінімальної маси виробів.

У зв'язку з розробкою різноманітних нових матеріалів можливості конструкторів відносно вибору матеріалів безупинно зростають. При цьому слід зазначити:

- розширення кількості застосовуваних металевих матеріалів (у цей час - більш 50);
- застосування штучних матеріалів (сплавів, пластмас і синтетичних матеріалів);
- підвищення якості матеріалів (так, міцність сталі підвищена з 30 кГ/мм² до 70-80 кГ/мм²);
- використання композиційних матеріалів з різними властивостями.

Якість обробки поверхні поліпшується з появою й розвитком нових технологічних методів.

Застосування високопродуктивних верстатів підвищує можливість досягнення малих допусків, але, з іншого боку, конструкція повинна бути такою, щоб нормальне функціонування забезпечувалося при можливо більших допусках.

Керування процесом технічного розвитку.

Розглянемо спочатку способи керування, застосовування на урядовому рівні. У більшості країн підхід до керування дослідженнями й розробками однаковий; відмінності є лише в деталях. З'ясовуються потреби й можливості розвитку найважливіших областей: економіки, таких, як промисловість, сільське господарство, охорона здоров'я, оборона, будівництво, транспорт та ін., і потім установлюється загальний напрямок політики розвитку й конкретизуються завдання.

Керування здійснюється державними (законодавчими), виконавчими й дорадчими урядовими органами. Часто поряд із цими органами існують самостійні міністерства й відомства по науці й техніці. У країнах із плановим господарством такі міністерства й відомства відіграють важливу роль. Технічна політика, що полягає в постановці завдань досліджень і розробок, визначенні їх пріоритетності й виборі найбільш ефективних засобів рішення, є найважливішим чинником технічного розвитку.

Мова йде про два аспекти керування: постановку завдань і контроль над їхнім вирішенням. Постановка завдання повинна ґрунтуватися на довгострокових прогнозах розвитку, тобто вчасно постановки завдання необхідно мати як можна більш точні уявлення про те, що буде бажано зробити через 5, 10 і більше років. Проблематику керування важко викласти коротко, тому обмежимося декількома зауваженнями, що відносяться до методології керування.

Управлінське рішення повинне опиратися на об'єктивні факти й закономірності, установлені вірогідно. Жоден прогноз не може ґрунтуватися тільки на інтуїції. Додамо, що збір і обробка необхідної для ухвалення рішення інформації - складна проблема, особливо у зв'язку із завданнями перспективного планування. При цьому необхідно широко застосовувати математичні методи й обчислювальну техніку. Більші обсяги пам'яті запам'ятовувальних пристроїв і висока швидкодія сучасних обчислювальних машин дозволяють обробляти величезні масиви інформації й внаслідок цього підготовляти різні варіанти рішень, що робить ухвалення рішення більш обґрунтованим і об'єктивним.

При вирішенні проектно-конструкторських завдань також необхідно мати на меті досягнення максимуму результатів при мінімальних витратах. Не все потрібно розробляти самостійно. Нерідко завдання може бути вирішене краще і якісніше шляхом передачі, наприклад, процесу конструювання спеціальній конструкторській організа-

ції або шляхом придбання ліцензій.

Таким чином, керування технічним розвитком - це, з одного боку, планування, при якому визначаються тенденції розвитку, намічаються цілі й формулюються завдання; з іншого боку, - це координація й контроль досліджень і розробок з метою підвищення їх ефективності.

Мотивація досліджень і розробок.

Для ефективного технічного розвитку недостатньо технічних і економічних можливостей, необхідно також наявність стимулів, що діють як рушійна сила розвитку.

Без зацікавленості в рішенні не може бути вирішене ніяке завдання. Можна навіть сказати, що тільки тоді, коли комбінація цих трьох факторів - технічного рівня, економічних можливостей і зацікавленості - здобуває потрібну силу, приводиться в рух механізм досліджень і розробок. Коли є переконлива мотивація, вона впливає на технічну й економічну ситуації; з іншого боку, технічний і економічний потенціали полегшують мотивацію технічного розвитку.

Переконливу мотивацію створює економічне й технічне змагання. Так були винайдені парова машина, двигун внутрішнього згоряння, радіо, електрична лампа, реактивний двигун, обчислювальна машина, атомний реактор. Важливо лише, щоб таке змагання мало на меті благо й не переходило в суперництво держав.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть характерні приклади складних технічних систем на яких можна прослідити певні тенденції в розвитку їхніх конструкцій?
2. Як змінюється з часом попит на технічну систему?
3. Що відбувається з тривалістю використання виробів протягом певного часу?
4. Назвіть фактори еволюційного процесу.
5. Що відбувається з обсягом конструкторських робіт при зростанні вимог до технічних систем?
6. Назвіть основні цілі суспільства.
7. На основі чого формуються тенденції розвитку техніки?
8. Що визначає розвиток галузей техніки?
9. Що характеризують функціонально-обумовлені властивості?
10. Що таке структура?

ЛЕКЦІЯ № 3. КЛАСИФІКАЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

План лекції. Рівні класифікації. Загальні ознаки. Категорії властивостей. Відношення між властивостями. Перелік необхідних властивостей технічної системи.

Література: [3], с.89-152.

Визначення "технічна система" було обрано в якості узагальнюючого терміна для всіх видів машин. У різних процесах технічні системи здійснюють необхідні перетворення об'єктів дії (операндів). Область застосування технічних систем дуже широка й містить у собі всі галузі економіки.

Класифікація технічних систем по різних визначальних ознаках вносить досить стрункий порядок у їхню велику безліч і дозволяє краще орієнтуватися. Як наслідок цього з'являється можливість вивчення передового досвіду, що дозволяє часом виявити між досить далекими технічними системами цікаві, досі сховані відносини. Перелічимо для початку ті аспекти, які беруться до уваги при проведенні класифікації (систематизації) технічних систем, і приведемо характерні приклади.

Технічні системи можуть бути класифіковані по наступних ознаках:

- по функції (робочій дії) наприклад, технічні системи для фіксації, додання форми, обертання, підйому;
- по типу операнду, наприклад, технічні системи для перетворення матерії, енергії, інформації, біологічних об'єктів;
- за принципом здійснення робочої дії, наприклад, технічні системи, засновані на механічному, гідравлічному, пневматичному, електронному, хімічному, оптичному, акустичному принципі;
- по характеру функціонування, наприклад, потужні, швидкісні, імпульсні технічні системи, системи для різних умов навколишнього середовища (наприклад, для тропічного клімату) і т.п.;

- за рівнем складності, наприклад, конструктивні елементи, вузли, машини, підприємства в цілому;
- по способу виготовлення, наприклад, технічні системи, виготовлені шляхом лиття, кування, штампування, обточування;
- по ступеню конструктивної складності;
- за формою, наприклад, технічні системи (конструктивні елементи) у вигляді тіла обертання, плоскі, складної форми;
- по способу впорядкування більш низьких рівнів технічної системи, наприклад, установки з упорядкуванням підсистем по способах їх дії або технології;
- по матеріалу, наприклад, технічні системи зі сталі, міді, пластмаси;
- по ступеню оригінальності конструкції, наприклад, запозичені, дороблені, модифіковані, оригінальні технічні системи;
- по типу виробництва, наприклад, технічні системи, виготовлені в умовах одиничного, серійного або масового виробництва;
- за назвою фірми-виготовлювача, наприклад, технічні системи "Сіменс", "Фіат", "Зульцер" та ін.;
- по місцю в технічному процесі, по експлуатаційним властивостям, зовнішньому вигляду, техніко-економічним характеристикам і т.п.

Ясно, що та сама технічна система може належати одночасно декільком класам.

Загальні ознаки технічних систем.

Технічні системи характеризуються рядом ознак. Першою ознакою слід вважати вже згадуване різноманіття елементів системи, що не має аналогії в інших областях. Номенклатура в машинобудуванні, без обліку типових варіантів, містить у собі десятки тисяч різних деталей технічних систем. Поряд з різноманіттям функцій, виконуваних цієї номенклатурою деталей, вони мають також безліч інших властивостей. Хоча різні технічні системи функціонують по-різному, метою функціонування завжди залишається здійснення перетворень; у нормальних робочих умовах воно детерміновано і їм можна управляти. У випадку uszkodження системи її функціонування порушується.

Значну частину технічних систем становлять складні й дуже складні системи, що полягають із тисяч або навіть десятків тисяч еле-

ментів. Природнім наслідком такої складності є висока вартість таких технічних систем. До них насамперед відноситься дороге устаткування, виготовлене в умовах одиничного виробництва.

Основним матеріалом для виготовлення технічних систем як і раніше служить метал, переважно сталь, хоча усе більш зростає застосування полімерів.

Категорії властивостей технічних систем.

Усі численні й різноманітні властивості технічних систем можна класифікувати по різних категоріях.

Класифікація властивостей по способу їх встановлення.

Це а) зовнішні й б) внутрішні властивості.

Одні властивості технічних систем легко можна встановити або за допомогою органів почуттів, або за допомогою різних допоміжних пристроїв. Назвемо ці властивості зовнішніми. До них відносяться, наприклад, форма, розміри, колір. Інші властивості зовні ніяк не проявляються, і для їхнього встановлення доводиться прибїгати до спеціальних заходів. Такі властивості ми назвемо внутрішніми.

Однак розрізнення властивостей технічних систем тільки з таких позицій привело б до неточних і відносних результатів. Для більш точного визначення зазначених властивостей необхідно виходити із системного принципу; тоді зовнішні властивості перетворюються у відносини системи до її оточення. Внутрішні властивості стануть як відносини між елементами системи й властивостями елементів. Відносини на більш низьких рівнях ми брати до уваги не будемо; це властивості окремих елементів, наприклад властивості матеріалу або електричні властивості, які визначаються структурою елемента. Користувача технічної системи цікавлять головним чином зовнішні властивості.

Класифікація властивостей по причинному зв'язку.

Відповідно до цієї класифікації розрізняють а) вхідні впливи (причина) і б) функції (наслідок).

Між вхідними впливами й функціями існують причинні відносини. Здатність конструктора тонко почувати відмінність між причиною і її наслідком слід віднести до числа його головних творчих здібностей. Йому доводиться "конструювати" причини для одержання необхідних наслідків. Приведемо приклади причинних відносин у технічних системах: висока температура свічі накаливання є причиною запалення стислої паливної суміші; недостатня твердість станини то-

карського верстата є причиною погіршності обробки деталей. Тимчасова послідовність причини й дії проявляється у вигляді процесу.

Класифікація властивостей по функціональній залежності.

По функціональній залежності властивості підрозділяються на а) залежно мінливі й б) незалежно мінливі властивості.

В областях природознавства й техніки існує багато формул, що виражають взаємозалежності властивостей одна від одної. Так, наприклад, існує залежність між тиском і рівнем рідини; міцністю й температурою матеріалу; швидкістю руху об'єкта і його кінетичною енергією; швидкістю потоку й діаметром труби. Усі ці властивості перебувають між собою у функціональній залежності, яка може бути виражена аналітично. Ті властивості, на які виявляється вплив, називаються залежними змінними (міцність). Ті властивості, які впливають на інші, називаються незалежними змінними (матеріал, форма, габарити). Ті самі властивості в різних технічних системах можуть виступати як залежні або незалежні.

Класифікація властивостей по можливості їх кількісного визначення.

По можливості їх кількісного визначення властивості технічної системи можуть бути підрозділені на а) обумовлені легко; б) обумовлені із труднощами; в) не обумовлені кількісно.

Приклади, наведені на початку цієї лекції, можуть служити ілюстрацією цих категорій. У тих випадках, коли неможливо оцінити кількісно властивості, застосовується бальна система оцінки, тобто з використанням певних критеріїв проводиться оцінка властивостей по зростаючих рівнях (класам). Такий метод, безперечно, дає більш точні результати, ніж якась суб'єктивна, здебільшого продиктована емоціями "оцінка", що закінчується звичайно висновком "добре" або "погано". Однак і тут виникає безліч невизначеностей, обумовлених, з одного боку, труднощами визначення "ціни" бала, а з іншого - суб'єктивністю експерта, що дає оцінку.

Класифікація властивостей по їхній значимості.

Щодо цього властивості підрозділяються на а) дуже важливі (незамінні), наприклад функція, безпека; б) важливі, наприклад надійність, термін служби, ціна; в) менш важливі, наприклад відсутність необхідності в упакуванні, можливість тривалого зберігання; г) не істотні для функціонування технічної системи властивості, наприклад зовнішній вигляд, колір.

Не всі властивості технічної системи легко визначити з погляду їх значимості. Крім того, необхідно враховувати відносність цієї значимості, оскільки значимість тих або інших властивостей залежить від обставин. Часом найважливішою властивістю виявляється швидкість поставки системи або легкість її демонтажу.

Маса, що не має істотного значення для, наприклад, верстата, є найважливішим параметром літального апарата. Тому значимість різних властивостей потрібно ретельно аналізувати в кожному конкретному випадку.

Класифікація властивостей по їхній фізичній сутності.

Властивості можна класифікувати по їхній фізичній сутності наступним чином:

- геометричні властивості, наприклад ширина, висота, симетрія, форма, міжосьова відстань, кут;
- кінематичні властивості, наприклад швидкість, прискорення;
- механічні властивості, наприклад міцність, пружність, прогин, герметичність;
- теплові властивості, наприклад нагрівання, теплопровідність, теплові втрати, теплоізоляція;
- електричні й магнітні властивості, наприклад ємність, напруга, опір, електрична провідність;
- оптичні властивості, наприклад фокусна відстань, переломлення, відбиття, поляризація;
- акустичні властивості здатність, що наприклад поглинає, луна, шум, звукова частота;
- хімічні властивості, наприклад хімічна активність, концентрація, корозія, хімічна спорідненість.

Класифікація властивостей по їхній фізичній сутності відповідає структурі технічних наук. Наведений перелік категорій властивостей наочно ілюструє строкатість і різноманіття властивостей технічних систем.

Перш ніж перейти до наступних способів класифікації, подивимося, чи допоміг описаний підхід досягти поставленої мети - полегшити роботу конструктора. Найбільш істотне, що можна виділити в наведеній дотепер класифікації властивостей, - це розкриття відносин між властивостями; насамперед це стосується перших трьох способів класифікації. Класифікація властивостей по їхній фізичній сутності демонструє, крім того, різноманіття властивостей технічної системи.

Зрозуміло, жодного з дотепер наведених способів класифікації недостатньо для повної характеристики властивостей, що необхідно для методичної роботи конструктора. Не можна забувати, що така характеристика повинна не тільки бути застосовною до властивостей будь-яких технічних систем (від деталі до підприємства), але й урахувати технічний, економічний, ергономічний, маніпуляційний, соціальний, юридичний та інші аспекти. Мова, таким чином, іде про дуже складне завдання, дотепер повністю ще не вирішене. У книзі Кесельрінга "Аналіз конструкцій" приводиться наступний перелік груп можливих властивостей:

1) кількісні (параметри); 2) геометричні; 3) механічні; 4) теплові; 5) електричні й магнітні; 6) оптичні; 7) акустичні; 8) хімічні; 9) виробничі й монтажні; 10) експлуатаційні.

Групи 2-8 відповідають галузям знань, а групи 1, 9 і 10 сформовані по інших принципах. Хоча цей перелік охоплює далеко не всі властивості, уже можна говорити про широкий спектр властивостей технічних систем.

Відносини між властивостями.

Математична логіка й статистика є найважливішими дисциплінами при вивченні відносин; вони дозволяють виразити ці відносини аналітично, що дозволяє оперувати ними.

Властивості та їх загальні відносини вивчаються в природознавстві й техніці, де вони виражаються або формулами, або на словах. Для здійснення необхідної дії конкретної технічної системи загальні відносини часто недостатні.

У випадку складних процесів загальні відносини на практиці щораз конкретизують стосовно до наявних умов. Так, наприклад, для поширення тепла є формули переносу тепла теплопровідністю, випромінюванням і конвекцією. Які відносини мають місце, коли ми поміщаємо предмет у нагрівальну піч, і який їхній відносний внесок?

Для відповіді на ці питання конструктор повинен мати досвід у даній області, який дозволив би вірно оцінити конкретні умови в розгляданій ситуації. Особливості виробництва можна потім урахувати поправочними коефіцієнтами в загальних формулах. Дуже складні відносини між властивостями можна виразити також за допомогою матриць і математичних символів.

Важливо оцінити й відносини між категоріями властивостей. В

готового виробу внутрішні елементарні властивості (конструктивні й технологічні) є визначальними для зовнішніх властивостей, які визначають у свою чергу економічні властивості.

Наведені приклади виявляють надзвичайну складність відносин. Складність ще більш зростає з урахуванням відносин у технічній системі на більш низьких рівнях.

Перелік необхідних властивостей технічної системи.

Коли говорять про технічні вимоги, технічні умови або технічне завдання, то завжди мають на увазі наявність повного переліку точно сформульованих необхідних властивостей технічної системи. Нерідко неповна вказівка необхідних властивостей стає причиною дефектів готових виробів; при цьому вже неважливо, чи стало це наслідком недогляду або помилкового припущення про те, що наявність певної властивості технічної системи несуттєва або є звичайною річчю.

Важливість правильного й повного переліку необхідних властивостей відбиває відоме положення: правильна постановка завдання - це вже половина рішення. Зміст і форма переліку необхідних властивостей різні в кожному конкретному випадку; їх обумовлюють фактори:

- складність виконуваної функції - вона різна, наприклад, для виробничого комплексу й окремої деталі машини;
- конструктивна складність - складна конструкція на відміну від простої, нова конструкція на відміну від модернізованої;
- потреба в додаткових властивостях, таких, як висока надійність, великий термін служби, привабливий зовнішній вигляд;
- вимоги замовника.

Перші три фактори вже були розглянуті. Для пояснення останнього розглянемо питання про задоволення виробничої потреби. Існують дві можливості.

Закупівля готового виробу. Споживач, що бажає вирішити свою проблему за допомогою того або іншого виробу, з'ясовує, чи є в продажу виріб з бажаними властивостями. Як правило, він має можливість вибрати між декількома виробами.

Замовлення спеціального виробу. Якщо виробу з бажаними властивостями немає в продажі, споживач змушений очікувати, поки буде пройдений довгий шлях від моменту оформлення замовлення через

стадії конструювання й виготовлення до поставки виробу. Виріб, виготовлений з урахуванням індивідуальних вимог замовника, відповідно обходиться дорожче. Для правильних постановки й вирішення такого завдання потрібне активне співробітництво ряду фахівців, серед яких конструктор повинен відігравати головну роль.

Тому що постановка завдання ніколи не буває ідеальною, то при виконанні кожного замовлення конструктор повинен надавати проєктованій системі додаткові властивості. Замовники певного роду, такі, як армія, пошта, залізниця, страхові агентства, нерідко висувають особливі вимоги, виходячи зі свого професійного досвіду. Усе сказане відноситься до виробу в цілому, який споживач одержує. Вимоги до підсистем і елементів звичайно визначає сам конструктор.

У переліку властивостей конкретного виробу особливу групу утворюють постійні вимоги, які не встановлюються в явній формі, але мають на увазі практично завжди. Їх враховує, мабуть, кожний конструктор. До таких вимог відносяться:

- максимально досяжний рівень експлуатаційних властивостей, серед них, зокрема, мінімальні габарити, мінімальна маса; мінімальне споживання енергії, доступність і замінність усіх елементів, що мають обмежений термін служби, оптимальна надійність;
- оптимальні ергономічні показники: проста, легка й зручна в обслуговуванні; захист від шкідливих побічних виходів (перешкод), таких, як шум, тепло, вібрація, вихлопні гази, пил і т.п.; мінімальна шкода навколишньому середовищу;
- максимальний облік усіх особливостей існуючого виробництва: застосування наявних матеріалів, стандартних деталей і документації; використання наявного устаткування й технології;
- найкращі економічні показники: мінімальні витрати виробництва; мінімальні експлуатаційні витрати.

З розглянутих вимог логічно випливають ряд принципів, якими керується конструктор, а саме:

- вибір найбільш простого конструкторського рішення;
- однаковий (не завжди максимальний) термін служби всіх деталей або легка замінність деталей, підданих зношуванню;
- оптимальне використання міцності матеріалів;
- облік особливостей оточення, включаючи природні ресурси й

населення;

- повага існуючих традицій.

Деякі із цих вимог суперечать одна одній, і доводиться шукати компромісний рішення.

Вимогами особливого роду є *обмеження*. Вони диктуються конструкторові природою й суспільством, внаслідок чого він обмежений у виборі рішень. Природні фактори звичайно не сприймаються як обмеження, тому що ми звикли до законів природи й усвідомлюємо, що не можна сконструювати вічний двигун.

Суспільство накладає обмеження правового характеру.

Слід підрозділяти вимоги по їхньому значенню для покупця на три категорії:

- вимоги, які обов'язково повинні бути виконані, такі, як робоча функція й ціна. Їх у свою чергу підрозділяють на тверді вимоги, відхилення від яких неприпустимо, і нежорсткі вимоги, відхилення від яких можуть бути терпимі.
- вимоги, які у виняткових випадках не обов'язково виконувати в заданому обсязі,
- побажання, які слід виконувати при сприятливих обставинах.

Конструктор повинен, спираючись на точку зору замовника, визначати, до якої категорії відноситься кожна вимога.

Питання для самоперевірки

1. Навіщо потрібна класифікація технічних систем?
2. По яких ознаках можуть бути класифіковані технічні системи?
3. Назвіть загальні ознаки технічної системи.
4. Який матеріал вважається основним для виготовлення технічних систем?
5. Назвіть основні категорії властивостей технічних систем.
6. Як класифікуються властивості технічних систем по причинному зв'язку?
7. Як класифікуються властивості технічних систем по функціональній залежності?
8. Наведіть приклади відносин між властивостями технічних систем.
9. Які фактори обумовлюють перелік властивостей технічної системи?
10. Навіщо потрібні обмеження?

ЛЕКЦІЯ № 4. ЕТАПИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

План лекції. Загальні положення. Стадії створення технічних систем різних типів виробництв. Послідовність стадій створення та використання технічної системи. Розподіл стадій та операцій між виконавцями.

Література: [3], с.162-178.

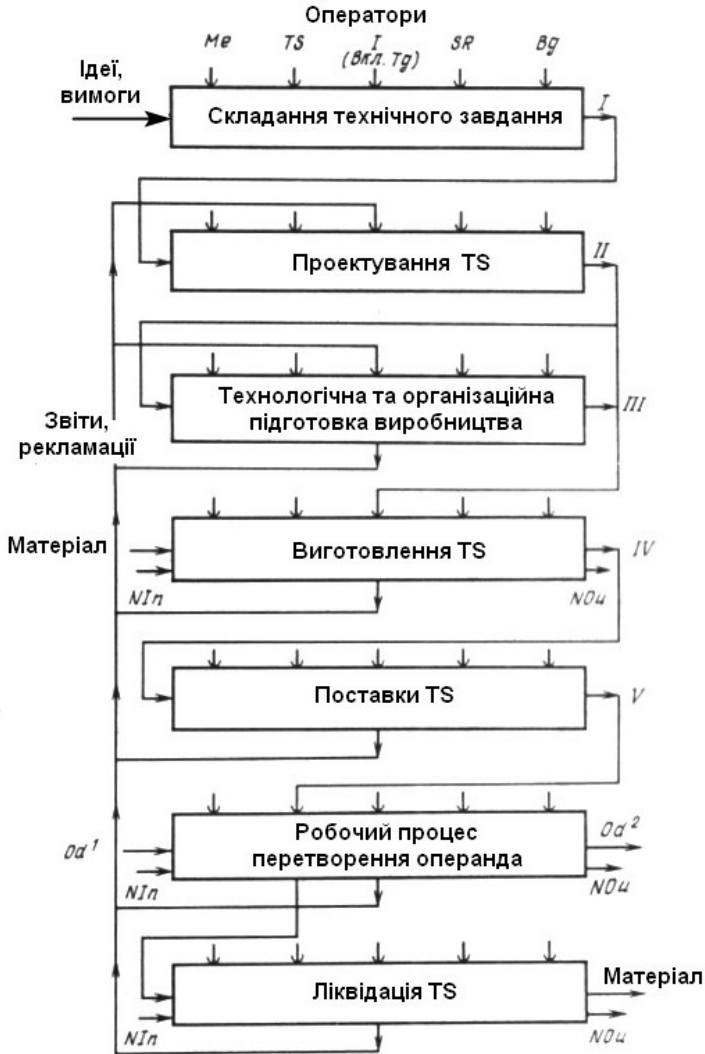
Наскільки складна сама технічна система, настільки складним і тривалим є процес її створення. Як для планування розробки, так і для наступного використання системи важливо знати в подробицях увесь "цикл життя" системи, й фактори що впливають на нього.

Конструктор бере участь (хоча б як консультант) на всіх стадіях створення системи. Увесь "цикл життя" технічної системи складається із чотирьох етапів: створення, переміщення, використання за призначенням та ліквідація. Кожний із цих етапів містить цілий ряд стадій, операцій і прийомів. Далі розглянемо зміст, відносини й послідовність відповідних процесів. Блок-схема (рис. 4.1) відображає за допомогою елементарних процесів етапи створення й використання технічної системи. Блок-схема й використовувані в ній символи базуються на моделі типу "процес".

При більш докладному обговоренні ми будемо враховувати вплив рівня складності технічної системи і кількості екземплярів, що виготовляються, що приводить до необхідності розділити технічні системи на три категорії, а саме:

- технічні системи до третього рівня складності серійного виробництва;
- технічні системи до третього рівня складності одиничного виготовлення;
- технічні системи четвертого рівня складності (підприємства);

Доцільно спочатку дати загальну характеристику окремих процесів і зв'язків між ними. Давати більш повне визначення змісту процесів і включення їх у загальну структуру на початковій стадії є нецільним.



I- технічні вимоги, звіт по дослідженням, техніко-економічне обґрунтування;
 II- опис TS, схема перелік складових частин, розрахунки; III- плани-графіки, технологічні карти, обладнання; IV- зберігання TS та підготовка до поставок;
 V- монтаж та наладка TS у замовника на місті роботи

Рисунок 4.1 – Модель циклу "життя" технічної системи

На стадії підготовки до створення технічної системи, встановлюється принципова можливість і доцільність створення технічної системи й складається технічне завдання для процесу проектування. Зміст процесу підготовки сильно залежить від виду й ступеня складності технічної системи, а також пропонованих до неї вимог.

Найбільш важлива частина процесу підготовки - *пошукове дослідження*. Його метою є оцінка можливості реалізації. В принципі, можуть проводитися пошукові дослідження двох видів:

- дослідження перетворень у робочому процесі - наприклад, при підготовці до створення верстата повинні проводитися дослідження з обробки матеріалів, а при підготовці до створення транспортера - дослідження характеристик потужності й вантажопідйомності;
- дослідження з метою поліпшення властивостей технічної системи - при цьому аналізуються відповідні засоби відносно принципів роботи, структури, використовуваних матеріалів, форми, якості поверхні, терміну служби тощо.

При проведенні прикладних досліджень такого роду використовують результати фундаментальних досліджень і практичний досвід застосування аналогічних систем. Важливим елементом досліджень є експеримент. У рамках пошукових досліджень іноді створюється дослідне виробництво.

Результатом *підготовчого процесу* є постановка завдання, тобто перелік технічних вимог до технічної системи.

Стадія проектування охоплює всі операції конструкторських робіт, від попередніх ескізів до креслень деталей і технічних умов. Вихідні параметри стадії проектування стають вихідними даними для стадії підготовки виробництва, що включає як технічні, так і організаційні заходи (вибір технології, устаткування, організація матеріально-технічного постачання, планування процесу виробництва в часі, розподіл робіт та ін.).

На стадії виготовлення матеріали зазнають обробки відповідно до технічної інформації, отриманої на попередніх стадіях, і нарешті матеріалізується сконструйована раніше технічна система.

На етапі переміщення змінюються приналежність технічної системи (виробник - споживач) та її місце розташування (місце виробництва - місце використання). Типовими стадіями на цьому етапі є зберігання на складі, реклама, упакування, транспортування, монтаж.

Технічна система використовується у виробничому процесі для перетворення операндів з метою одержання бажаних вихідних характеристик. Ці перетворення є головною метою всієї діяльності по створенню й використанню технічної системи. У процесі використання технічну систему слід утримувати в справності й модернізувати.

Нарешті, внаслідок морального або фізичного зношування в процесі використання технічна система перестає відповідати пропонованим вимогам і ліквідується.

Стадії створення технічних систем серійного виробництва.

Поділ етапів створення й використання технічної системи на стадії можна показати у вигляді блок-схеми (рис. 4.2). Перші стадії вже були розглянуті; тепер ми перейдемо до стадії проектування.



Рисунок 4.2 - Спрощена блок-схема стадій створення й використання технічної системи серійного виробництва

Стадія проектування. У більшості випадків технічна система проектується досвідченим інженером-конструктором і групою. На стадії проектування повинні бути розроблені наступні документи:

- звіт про результати або про стан досліджень за цим завдан-

- ням;
- проект конструкції (загальний вид) готового виробу і його найважливіших вузлів;
 - функціональна й кінематична схеми;
 - звіт з техніко-економічним обґрунтуванням для прийняття рішення про виробництво;
 - огляд патентних пошуків з метою з'ясування, чи не порушені в розробленому проекті будь-які авторські права;
 - вказівки на те, яким чином виконані поставлені вимоги, і пропозиції про можливість поліпшення властивостей розробленої технічної системи;
 - попередній аналіз економічної ефективності розробленої технічної системи.

Виконаний проект повинен бути перевірений і затверджений з урахуванням зауважень спеціальної комісії. Оскільки проект визначає більшість властивостей майбутньої технічної системи, його розробці, перевірці й оцінці слід приділити максимум уваги.

Після затвердження проекту починається виконання робочих креслень технічної системи, по яких повинен бути виготовлений експериментальний зразок.

Підготовка експериментального виробництва. Поряд з виконанням креслень підготовляється експериментальне виробництво. Підготовку виробництва експериментального зразка необхідно провести таким чином, щоб він міг бути виготовлений з мінімумом підготовчих робіт і спеціальних інструментів.

Виготовлення експериментального зразка. На стадії виготовлення експериментального зразка необхідно ще раз оцінити властивості технічної системи, пов'язані з виготовленням, насамперед властивості, що стосуються монтажних операцій. Тому що конструктор краще інших фахівців знає особливості своєї конструкції, необхідно, щоб він сам (або в крайньому випадку його представник) стежив за процесом виготовлення. Це допоможе вчасно виявити всі можливі помилки й труднощі, внести необхідні корективи в технічну документацію.

Випробування експериментального зразка. Випробування є вирішальним чинником у визначенні цінності розробленої технічної системи. Випробування також дуже важливі відносно накопичення досвіду, особливо для молодих конструкторів. Маючи результати випробувань, вони можуть порівнювати свої задуми з реальністю, здо-

бувати досвід, а разом з ним - упевненість у собі й у своїх силах, вчитися на своїх і чужих помилках.

Випробування експериментального зразка повинні бути проведені під максимальним навантаженням і в найбільш складних з очікуваних, умовах експлуатації. У випробуваннях повинне бути оцінене функціонування системи, повинні бути з'ясовані функціонально обумовлені, експлуатаційні й по можливості всі інші властивості технічної системи, у тому числі придатність до обслуговування й ремонту.

Хід і результати випробувань повинні бути викладені систематично й повно у звіті; особливо це стосується виявлених недоліків і рекомендацій з поліпшення експериментального зразка. З урахуванням результатів випробувань слід уточнити інструкції із захисту від корозії, упакуванню, транспортування, монтажу, запровадженню в дію, експлуатації, обслуговування та іншу технічну документацію.

На підставі випробувань і оцінки експериментального зразка ухвалюється рішення про серійне виробництво. Підготовка до виготовлення експериментального зразка, його виготовлення й випробування надають необхідні дані для прийняття такого рішення.

Ці дані повинні бути доповнені відомостями по ергономічним, естетичним і маніпуляційним властивостям, а також оцінками у відношенні діючих правових норм і інструкцій. Аналіз зазначених даних дозволяє з достатньою впевненістю судити про економічні властивості розробленої технічної системи.

З урахуванням аналізу можливостей збуту, проведеного на новому рівні, робиться висновок про те, чи буде успішним виробництво розробленої технічної системи в наявних умовах виробництва й ринку. Іноді може виявитися, що раціональніше припинити подальшу розробку щоб уникнути ще більших збитків.

Коректування конструкторської документації. Після випробувань експериментального зразка здійснюється стадія коректування конструкторської документації для серійного або масового виробництва на підставі придбаного досвіду з метою вдосконалення конструкції й технології виготовлення розробленої технічної системи. Ця робота дуже важлива, хоча й малоцікава. Для того щоб таке коректування було найбільш ефективне, слід піддати аналізу всі недоліки, виявлені в експериментальному зразку, встановити їхні причини й внести в конструкцію відповідні вдосконалення.

Підготовка виробництва. Підготовка серійного виробництва

охоплює, крім організації виробництва й матеріально-технічного постачання, створення спеціальних верстатів і технологічного оснащення, пророблення питань зберігання, транспортування й збуту продукції, взаємин із суміжниками тощо. Цій стадії необхідно приділити в організаційному відношенні велику увагу. Це особливо важливо для конструктора допоміжного устаткування, робота якого завжди пов'язана із твердими обмеженнями по строках.

Виробництво. Виробництвом завершується етап створення технічної системи. Перша стадія серійного виробництва - це виробництво зразків настановної серії, що представляє собою свого роду "генеральну репетицію" налагодженого виробничого процесу.

Виготовлення зразків настановної серії призначене головним чином для того, щоб надійніше оцінити властивості розробленої системи й ще раз випробувати придатність відповідного встаткування для виконання завдання серійного або масового виробництва, що становить зміст двох наступних стадій - **заключного коректування конструкторської й технологічної документації**.

Слід нагадати, що при серійному й масовому виробництві завжди прагнуть до раціоналізації процесу виробництва з метою його полегшення й здешевлення. Це особливо важливо при складанні й монтажі, де використовується в основному ручна праця. Механізація цих робіт вимагає від конструктора гарного знання технології. Тому конструктор технічної системи й особливо конструктор виробничого устаткування повинні добре знати стан і можливості виробництва.

Наступні етапи переміщення, використання й ліквідації вже були розглянуті. Тільки постійний контроль з боку конструктора всіх стадій створення й використання виробу, дозволяє реалізувати всі можливості закладені в конструкції технічної системи.

Стадії створення технічних систем одиничного виготовлення.

Технічні системи одиничного виготовлення звичайно великі по масштабах або мають унікальні властивості. Такі технічні системи висувають підвищені вимоги до конструкторського процесу. Концепція й конструктивна схема розробленої системи обов'язково повинні бути вдалими. Якщо необхідні властивості технічної системи одержати відразу не вдається, то доробки повинні бути по можливості незначними, для того щоб не торкатися концепції й конструктивної схеми

системи. Часто функціональні випробування такої технічної системи проводяться на місці монтажу у користувача, а у виготовлювача можуть перевірятися тільки підфункції системи й функції її вузлів.

Особняком стоять технічні системи, які повинні задовольняти спеціальним вимогам замовника, а їх функціонування та інші властивості вже відомі й не містять у собі для виготовлення ніякого ризику. Проте виготовлювач повинен виявити увагу до конструкторських доробок і старанність у виробництві, щоб уникнути неприємностей.

Створення технічної системи одиничного виготовлення проходить через наступні основні стадії: ескізне проектування, технічне проектування, підготовку виробництва, виробництво, монтаж і налагодження.

При проектуванні керуються характером майбутнього виробу. Розробляючи технічну систему одиничного виготовлення, конструктор повинен тісно співробітничати з адміністрацією, економістами й технологами з метою мінімізації витрат, які у випадку нераціональних рішень можуть виявитися неприйнятними.

Щоб підвищити надійність очікуваного функціонування технічної системи, доцільно, якщо тільки це можливо, попередньо піддати випробуванням функції нових і технічно важливих частин системи. Уся документація системи, виконуваної по спеціальному замовленню, повинна бути ретельно перевірена й відкоректована з урахуванням вимог замовника.

Випробування технічної системи одиничного виготовлення здійснюються у погоджених із замовником умовах. Увесь досвід розробки, виявлені недоліки, заходи для їхнього усунення й пропозиції по поліпшенню характеристик повинні бути зареєстровані в документі про зміни, а також враховані в модифікаціях конструкторської документації з метою обліку їх при можливому повторному виробництві.

При експлуатації технічної системи всі її властивості постійно перевіряють. При цьому конструктор повинен протягом довгого часу стежити за використанням розробленої їм технічної системи, тому що він краще інших фахівців може оцінити її переваги й недоліки й дати необхідні рекомендації. У процесі експлуатації виявляються приховані дефекти, такі, як передчасне зношування окремих деталей.

Контакт конструктора з користувачем дуже важливий для обох сторін відносно придбання досвіду. Кваліфіковане обслуговування системи має особливе значення для досягнення максимального еконо-

мічного ефекту.

Рекомендується по кожній технічній системі, що поставляється, вести книгу обліку дефектів і вдосконалень, у якій відзначався б увесь досвід створення й використання системи. Слід зазначити, що вкрай небажано форсувати створення технічної системи за рахунок скорочення або виключення окремих стадій; звичайно це веде, навпаки, до затримки й подорожчання розробки. Це не стосується раціональної організації робіт, що включає запозичення досвіду й паралельного проведення деяких операцій.

Стадії створення технічних систем четвертого рівня складності.

Особливий випадок у порівнянні з розглянутими вище технічними системами представляє, наприклад, створення технологічної лінії, цеху або виробничого комплексу. Творцем таких систем є інженер-проектувальник. Абстрактною моделлю системи служить проект, виконаний відповідно до вимог замовника.

Технічні системи четвертого рівня складності мають у своєму складі готові технічні (машинні) системи більш низьких рівнів складності, які закупаються або виготовляються на замовлення. Такий процес проектування протікає трохи по-іншому.

Головне завдання проектувальника полягає в створенні функціональних структур з використанням готових елементів і розташуванні проектованої системи в просторі. Тому що проектування йде на рівні структурних елементів, які можуть розташовуватися в просторі більш-менш незалежно один від одного, то поряд з робочою функцією більшу роль відіграє функція зв'язку.

Вхідні до складу проектованої системи машини та їх зв'язки належать різним спеціальним областям машинобудування, електроніки, хімічної технології та ін. Тому інженер-проектувальник такої системи працює в тісному контакті з фахівцями у відповідних областях. Спільна робота різних фахівців у відповідних проектних організаціях ретельно регламентується.

Проектні роботи з технічних систем четвертого рівня складності повинні проводитися як мінімум у дві фази й періодично проходити експертизу. Іноді двох фаз недостатньо, тому що попередня концепція проекту може розбудовуватися й деталізуватися. Так, проект виробничого цеху звичайно включає підпроекти будинку, машинного устат-

кування, електроустаткування, зв'язку, теплопостачання, каналізації і т.п. Можна вказати наступні **основні стадії створення й використання технічних систем четвертого рівня складності**:

а) проектування;

- 1) передпроектні пророблення й техніко-економічне обґрунтування. На цих стадіях конкретизується постановка завдання, висувуються проектні ідеї й робляться начерки основних рішень; техніко-економічне обґрунтування служить для ухвалення рішення про реалізацію;
- 2) технічний проект включає пояснювальну записку, схеми основних технічних рішень і специфікацію основного устаткування;
- 3) робоча документація охоплює всі технологічні й конструкторські схеми й креслення підсистем, вузлів і системи в цілому;

б) будівельно-монтажні роботи. На цій стадії ведуться поставки устаткування, будівництво й монтаж на підставі проектної документації й діючих норм і правил;

в) пусконаладжувальні роботи. На цій стадії, як при випробуваннях звичайної технічної системи, повинні бути продемонстровані необхідні властивості технічної системи (наприклад, побудованого промислового комплексу);

г) експлуатація. Після досягнення проектних показників технічна система вступає в період нормальної експлуатації.

Тимчасова послідовність стадій створення й використання технічної системи.

Дотепер стадії й операції етапів створення й використання технічної системи описувалися з погляду їх змісту й взаємних відносин. Тепер розглянемо їхню тимчасову послідовність із метою виявлення тих факторів, які впливають на тривалість процесів створення й використання системи. Почавши займатися цим завданням, ми відразу ж виявимо протиріччя.

Як замовник, так і виготовлювач бажають по можливості зменшити час створення технічної системи, оскільки при цьому підвищується економічна ефективність початої розробки. З іншого боку, замовник зацікавлений у високій якості виробу, що пов'язано, однак, з витратами часу й засобів.

Аналогічна ситуація характерна для підготовки до виробництва й самого виробництва. Однак порівнявши процеси створення технічних систем серійного і одиничного виробництва, можна помітити, що в останньому випадку ряд стадій відсутній.

Проте процес одиничного виготовлення більш тривалий, тому що деякі стадії не мають стандартного забезпечення. Значну частку часу створення таких систем займають монтаж і пусконаладжувальні роботи як найбільш трудомісткі й відповідальні стадії.

Зрозуміло, що залежність початку наступної операції від кінця попередньої збільшує тривалість відповідної стадії. Бажане скорочення часу може бути досягнуте, з одного боку, шляхом зменшення тривалості окремих стадій і операцій, а з іншого - шляхом їхнього паралельного проведення, тобто сполучення в часі.

Зниження тривалості операцій можливо головним чином на тривалих стадіях, наприклад при проектуванні, підготовці до виробництва й самому виробництві. Найбільша економія часу виходить при пропуску цілої стадії. Прикладами таких можливостей можуть служити придбання ліцензії, завдяки чому випадає стадія проектування, або закупівля готових підсистем і вузлів, завдяки чому випадають стадії підготовки до їхнього виробництва й властиво виробництва, а також скорочується стадія конструювання. Тривалість стадії проектування залежить, наприклад, від обсягу робіт, а також від кваліфікації конструкторів. Вплив інших факторів на тривалість процесу проектування (хоча б загалом) вже розглядався.

Аналогічні фактори впливають на тривалість процесу виробництва. Для відомого технічного рівня виробництва (вирішального фактора) ідеальною, тобто самою короткою тривалістю виробництва буде сума самих тривалих (але оптимізованих по тривалості) послідовних операцій.

Дійсна тривалість виробництва звичайно виявляється більшою внаслідок виникаючих у процесі виробництва утруднень і непогодженостей. При плануванні процесів виробництва в часі широко використовуються діаграми Ганта й методи сіткового планування.

Сполучення операцій у часі можливо лише тоді, коли це дозволяють взаємозв'язку між ними. Паралельні роботи звичайно доводиться вести в умовах недоліку інформації. Це може мати негативні наслідки, наприклад, рішення, прийняте в умовах недоліку інформації, може виявитися неоптимальним, а коли це з'ясується, змінити його

стане неможливо.

Корисний період існування технічної системи, тобто тривалість її використання, залежить від цінності (технічного рівня) системи, від зношування її, крім того, від появи нової, більш досконалої системи такого ж призначення, тобто від темпів технічного прогресу. Тому, незважаючи на природне бажання споживача як можна довше використовувати звичну технічну систему, потреба в більш ефективній системі виявляється сильнішою.

Розподіл стадій і операцій між виконавцями.

Описані стадії й операції необхідно ретельно координувати й контролювати. На підприємстві ці роботи звичайно розподіляються між різними відділами й виконавцями. В принципі кожний відділ повинен нести повну відповідальність за проведення певних робіт.

Питання для самоперевірки

1. З яких етапів складається життєвий цикл технічної системи?
2. На які рівні за рівнем складності розділяють технічні системи?
3. На якому етапі складається технічне завдання?
4. Яка мета проведення пошукових досліджень?
5. Навіщо потрібні експериментальні дослідження?
6. Які операції охоплює стадія проектування?
7. Що відбувається на стадії виготовлення?
8. Що роблять із технічною системою коли вона перестає відповідати пропонованим до неї вимогам?
9. Для чого проводиться виготовлення зразків настановної серії?
10. Чим завершується етап створення технічної системи?
11. Що характерно для створення технічних систем четвертого рівня складності?
12. Назвіть основні стадії створення й використання технічних систем четвертого рівня складності.
13. В чому полягає розподіл стадій і операцій між виконавцями?
14. Коротко розкажіть тимчасову послідовність стадій створення й використання технічної системи.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛИТЕРАТУРА

Основна

1. Теоретические основы испытаний и экспериментальная обработка сложных технических систем / Л. Н. Александровская и др. М. : логос, 2003. 736 с.
2. Сладкова Л. А. Исследования и испытания наземных транспортно-технологических машин : учебное пособие. М. : МГУПС (МИИТ), 2016. 275 с.
3. Хубка В. Теория технических систем. М. Мир, 1987. 208 с.
4. Александровская Л. Н., Аронов И. З., Круглов В. И., Шолом А. М. Сертификация сложных технических систем. М. : Логос, 2001. 342 с.

Додаткова

5. Журавлев М. П. Исследование и испытание технологических систем : учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. 84 с.
6. Тарасенко Ф. П. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем) : учебник. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2004. 186 с.
7. Шишмарев В. Ю. Надежность технических систем : учебник для студ. высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2010. 304 с.
8. Бережная К. В., Бережной В. И. Математические методы моделирования экономических систем : учебное пособие. М. : Финансы и статистика, 2006. 432 с.
9. Рекомендации по организации ремонта строительных машин агрегатным методом. М. : Стройиздат, 1987. 104 с.
10. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М. : Наука, 1983. 416 с.
11. Кунце Х. И. Методы физических измерений. М. : Мир, 1989. 216 с.
12. Безверхий С. Ф., Яценко Н. Н. Основы технологии полигонных испытаний и сертификация автомобилей. М. : ИПК Издательство стандартов, 1996. 600 с.
13. Балабин И. В., Куров Б. А., Лаптев С. А. Испытания автомобилей. М. : Машиностроение, 1988. 192 с.

14. Гиг Дж. Ван Прикладная общая теория систем М. : Мир, 1981. 336 с.
15. Браверманн Э. М., Мучник И. Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. М. : Наука, 1983. 156 с.
16. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. : Высшая школа, 1999. 275 с.
17. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики. М. : Финансы и статистика, 1998. 220 с.
18. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. С-Пб. : Политехника, 2000. 320 с.
19. Орлов П. И. Основы конструирования машин. Справочник. В 2-х т. Т.1, Т.2. М. : Машиностроение, 1987.
20. Джонсон Р., Каст Ф., Розенцвейг Д. Системы и руководство. М. : Советское радио, 1971. 648 с.
21. Калашников В. В. Сложные системы и методы их анализа. М. : Знание, 1980. 64 с.
22. Малышев В. В., Карп К. А., Кочетков В. И. Надежность сложных технических систем. М. : Логос, 1999. 88 с.
23. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М. : Мир, 1978. 305 с.
24. Михайлов Ф. А. Теория и методы исследования нестационарных линейных систем. М. : Наука, 1986. 320 с.
25. Негойце К. Применение теории систем к проблемам управления. М. : Мир, 1981. 183 с.
26. Райкин А. Л. Элементы теории надежности для проектирования технических систем. М. : Советское радио, 1967. 265 с.
27. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие. К. : МАУП, 2003. 368 с.
28. Могилевский В. Д. Методология систем: вербальный подход. М. : Экономика, 1999. 251 с.
29. Специальные методы идентификации, проектирования и живучесть систем управления : учебное пособие / Н. И. Подлесный и др. К. : Выща школа, 1990. 446 с.
30. Цофнас А. Ю. Теория систем и теория познания. Одесса : Астро-принт, 1999. 288 с.
31. Растринг Л. А. Адаптация сложных систем. Рига : Зинатне, 1981. 375 с.
32. Гайдес М. А. Общая теория систем. (Системы и системный ана-

- лиз). М. : Глобус-Пресс, 2005. 202 с.
33. Мирзоев Р. Г., Харченко А. Ф. Основные процедуры системных исследований : учебное пособие. СПб. : СПбГУАП, 2000. 180 с.
 34. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. М. : МПСИ, 2005. 584 с.
 35. Конспект лекций по дисциплине "Математические основы теории систем" для студентов специальности 7 091 401 / сост. С. А. Бобриков. Одесса : ОНПУ, 2001. 101 с.