

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

О. М. Артюх, О. В. Дударенко
В. В. Кузьмін, А. Ю. Сосик
А. В. Щербина

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Навчальний посібник

Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2021

УДК 629.33.001(075.8)

Д 70

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національний університет «Запорізька політехніка»
(Протокол № 3 від 6.12.2021 р.)*

Рецензенти:

Сахно В. П. – д.т.н., професор, академік Транспортної академії України, Заслужений працівник освіти України, завідувач кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету (м. Київ).

Панченко А. І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Мехатронні системи та транспортні технології» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Воронін С. В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машинобудування та технічний сервіс машин» Українського державного університету залізничного транспорту.

Д 70 Дослідження та випробування технічних систем : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 212 с.

ISBN 978-617-529-341-6

Навчальний посібник 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, а також є необхідність їх подальшого вдосконалювання. Все це ставить перед інженерно-технічними працівниками завдання з одержання нових наукових знань, для цілеспрямованого пошуку й об'єктивної оцінки конструктивно-технічних рішень. Посібник призначений для студентів які навчаються за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

УДК 629.33.001(075.8)

ISBN 978-617-529-341-6

© Національний університет
«Запорізька політехніка», 2021
© Артюх О. М., Дударенко О. В.,
Кузьмін В. В., Сосик А. Ю.,
Щербина А. В., 2021

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Технічна система	8
1.1 Основні терміни та визначення	8
1.2 Призначення технічної системи	15
1.3 Спосіб дії	15
1.4 Структура технічної системи.....	16
2 Еволюція технічних систем.....	18
2.1 Закономірності еволюції та тенденції технічного розвитку систем	18
2.2 Еволюція попиту на технічну систему	21
2.3 Фактори еволюційного процесу	23
2.4 Організація та обсяг дослідницьких і конструкторських робіт	25
2.5 Тенденції технічного розвитку.....	26
2.6 Мотивація досліджень і розробок	31
3 Класифікація, властивості та оцінювання технічних систем ..	33
3.1 Рівні класифікації технічних систем.....	33
3.2 Загальні ознаки технічних систем.....	34
3.3 Категорії властивостей технічних систем	35
3.4 Відносини між властивостями.....	38
3.5 Перелік необхідних властивостей технічної системи	39
4 Етапи створення та використання технічних систем.....	43
4.1 Стадії створення технічних систем різних типів виробництва	43
4.2 Стадії створення технічних систем серійного виробництва	46
4.3 Стадії створення технічних систем одиничного виготовлення	50
4.4 Стадії створення технічних систем четвертого рівня складності	52
4.5 Розподіл стадій і операцій між виконавцями.....	55
5 Роль випробувань в процесі проектування та створення технічних систем	56
5.1 Задачі та організація експериментальних досліджень	56
5.2 Роль випробувань в процесі створення технічних систем	58

6	Основні поняття та класифікація контролю і випробувань складних технічних систем	63
6.1	Випробування і контроль – основні терміни та визначення	63
6.2	Взаємозв'язок вимірювань, контролю та випробувань	65
6.3	Класифікації контролю та випробувань	66
6.4	Загальна схема експериментальних досліджень.....	70
6.5	Класифікація відмов та дефектів складних технічних систем.....	72
7	Дослідження складних технічних систем з використанням моделей	75
7.1	Мета і задачі моделювання при створенні складних систем.....	75
7.2	Випробування на основі фізичного моделювання.....	84
7.3	Випробування на основі математичного моделювання ...	87
7.4	Імітаційне моделювання складних систем	91
8	Експериментальні дослідження складних технічних систем	95
8.1	Експериментальні дослідження.....	97
8.2	Планування експерименту	99
9	Випробування складних технічних систем.....	107
9.1	Види випробувань.....	107
9.2	Стендові випробування	108
9.3	Ходові (натурні) випробування	125
9.4	Експлуатаційні випробування	126
9.5	Прискорені й форсовані пробігові випробування	126
9.6	Сертифікаційні випробування	129
10	Технічні засоби для проведення випробувань та досліджень технічних систем	132
10.1	Датчики.....	132
10.2	Тактильні датчики	144
10.3	Датчики справності електричних ламп.....	145
10.4	Підсилювачі.....	145
11	Проведення технічних вимірювань при випробуваннях та дослідженнях технічних систем.....	147
11.1	Модельний експеримент (теорія розмірності).....	151
11.2	Експериментальні дані і їх обробка	152

11.3	Перевірка статистичних гіпотез	159
12	Випробування технічних систем на надійність.....	163
12.1	Статистичний метод дослідження випадкової величини	164
12.2	План і програма випробувань.....	173
13	Формування результатів випробувань	176
13.1	Точнісні характеристики результатів випробувань	178
13.2	Формування результатів контрольних випробувань.....	182
13.3	Формування результатів повторних випробувань.....	185
13.4	Методи підвищення точності результатів випробувань	185
14	Сертифікація складних технічних систем.....	188
14.1	Системи сертифікації: міжнародні, регіональні, національні	196
14.2	Статистичні методи при сертифікації.....	198
14.3	Особливості сертифікації складних технічних систем	199
14.4	Сертифікація і менеджмент	203
	Література	207

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 висувуються 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.

1 ТЕХНІЧНА СИСТЕМА

1.1 Основні терміни та визначення

Створення об'єктів сучасної техніки – це складний багатогранний 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. Артоболовського. 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, Йошикава).

У Радянському Союзі засновником наукової школи в області теорії механізмів і машин, а також систем автоматичної дії були акад. І.І. Артоблевський (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 **systema** – 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 розглядати 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 установаження 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. Артоболевським, 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 (Out) 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.

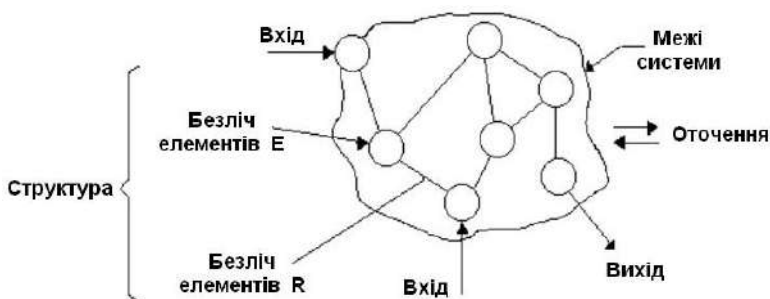


Рисунок 1.1 – Модель системи

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, транспортабельність 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, узагальненої й сукупній оцінках, 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.

1.2 Призначення технічної системи

Технічні системи повинні реалізовувати заплановані цілеспрямовані 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.

1.3 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.

1.4 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?

2 ЕВОЛЮЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Закономірності еволюції та тенденції технічного розвитку систем

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.

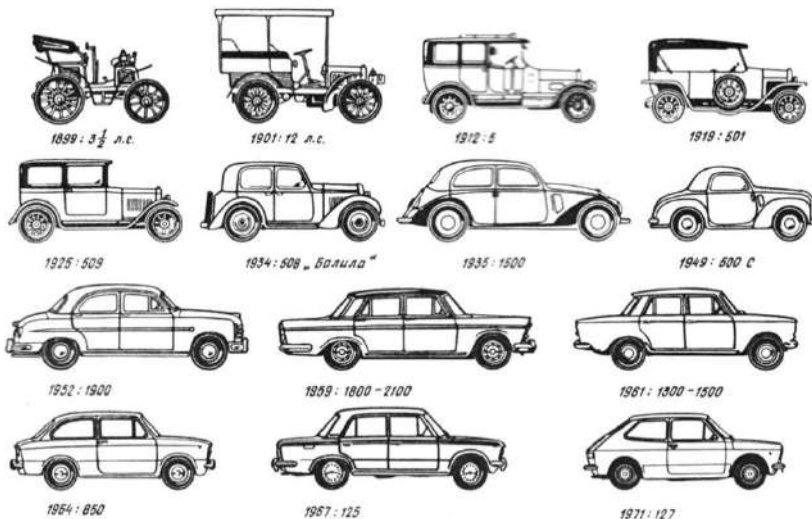


Рисунок 2.1 – Стадії розвитку автомобіля FIAT

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

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.

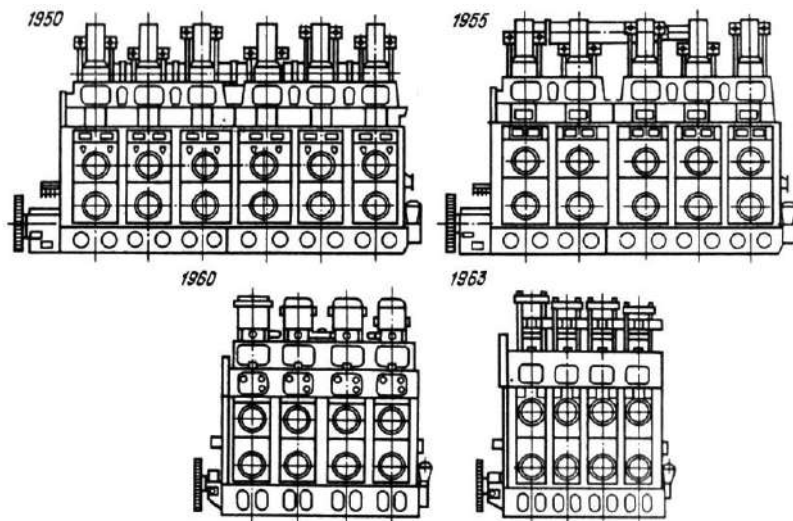
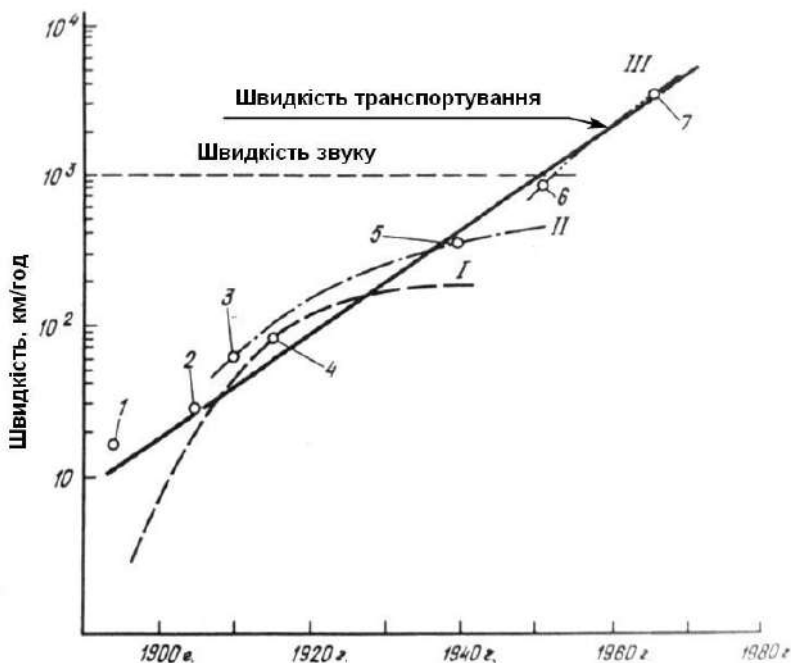


Рисунок 2.2 – Стадії розвитку дизельних двигунів

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.

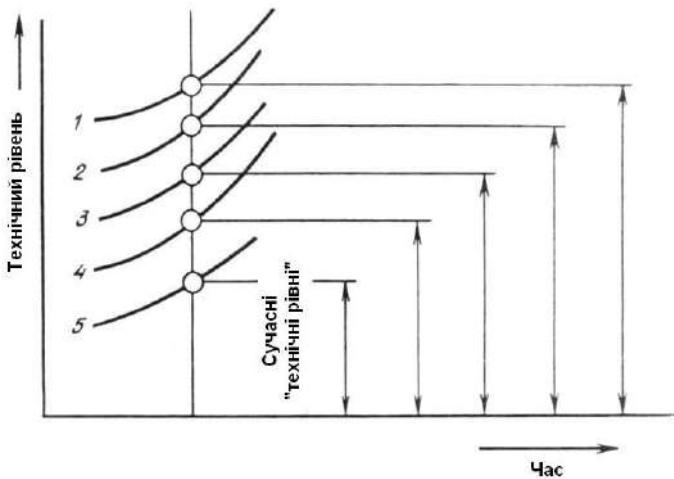


I – автомобілі; II – гвинтові літаки; III – реактивні літаки
 1 – пароплави, 2 – перші аероплани, 3 – «Скаут»
 фірми «Брістоль», 4 – «FIAT-510», 5 «Кондор»,
 6 – «Каравела» (805 км/ч), 7 – «Конкорд» (2335 км/год)

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»

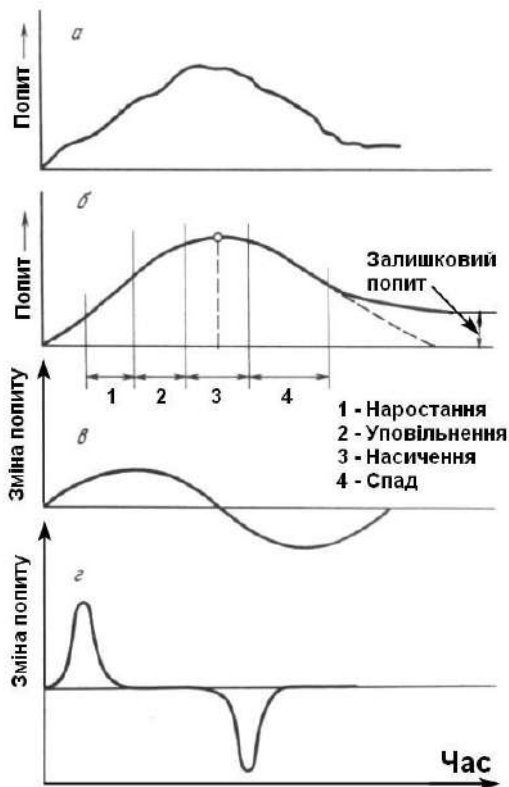


Рисунок 2.5 – Крива розвитку

2.2 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 відбувається 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 витиснути 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.

2.3 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 застосувати нові матеріали, технологічне устаткування й технічні рішення. Ці технічні можливості використовуються повністю лише при сприятливій 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.

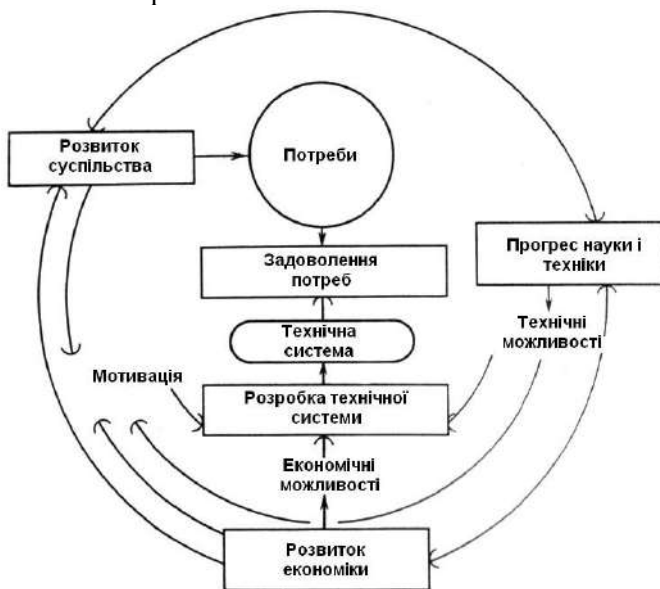


Рисунок 2.7 – Відносини в макросистемі суспільство – економіка – наука й техніки

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 прийнята 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.

2.4 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.

2.5 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 певних 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 – структурі, 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 виявляєте 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 компромісне 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 швидкість 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 організації 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.

2.6 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?

3 КЛАСИФІКАЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Рівні класифікації технічних систем

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.

3.2 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 ушкодження системи її функціонування порушується.

Значну частину технічних систем становлять складні й дуже

складні системи, що полягають із тисяч або навіть десятків тисяч елементів. Природним 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.

3.3 Категорії властивостей технічних систем

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

Класифікація властивостей по способу їх установлення.

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 прибігати 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 накалювання є причиною запалення стислої паливної суміші; недостатня твердість станини токарського верстата є причиною погрішності 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.

3.4 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.

3.5 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 проектованій 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 маються 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 заміність 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 заміненість 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?

4 ЕТАПИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

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.

4.1 Стадії створення технічних систем різних типів виробництв

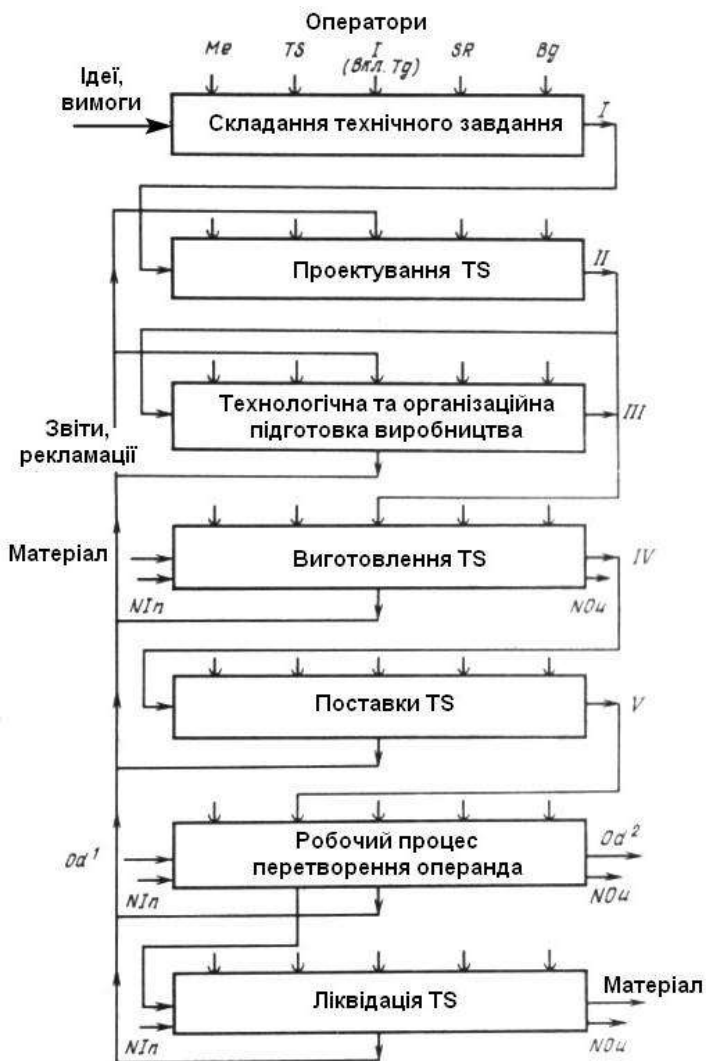
Конструктор бере участь (хоча б як консультант) на всіх стадіях створення системи. Увесь «цикл життя» технічної системи складається із чотирьох етапів: створення, переміщення, використання за призначенням та ліквідація. Кожний із цих етапів містить цілий ряд стадій, операцій і прийомів.

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 недоцільним. На стадії підготовки до створення технічної системи, встановлюється принципова можливість і доцільність створення технічної системи й складається технічне завдання для процесу проектування.



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 місці роботи

Рисунок 4.1 – Модель циклу «життя» технічної системи

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.

4.2 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 завданням;
- 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-чий авторські права;
- вказівки на те, яким чином виконані поставлені вимоги, і пропозиції про можливості 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, здобувати 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.

4.3 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 про ходить 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 економічного 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.

4.4 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 устаткування, 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, висуваються 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.

4.5 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.

5 РОЛЬ ВИПРОБУВАНЬ В ПРОЦЕСІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА СТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

5.1 Задачі та організація експериментальних досліджень

Роль і значення випробувань у процесі створення складних технічних систем, можна зрозуміти тільки розглянувши весь життєвий цикл виробу, яким і є така складна технічна система, як сучасний автомобіль.

Етапи життєвого циклу складних технічних систем.

Створення таких великих і складних технічних систем (СТС), як автомобільна техніка, нерозривно пов'язане з удосконалюванням і розвитком методів забезпечення необхідного рівня їх безпеки й надійності, починаючи від розробки технічних вимог, технічних умов на проектування й виробництво й закінчуючи їх комплексними випробуваннями й експлуатацією.

Життєвий цикл СТС протікає в рамках організаційної структури – науково-дослідних організаціях, конструкторських бюро (КБ), промислових підприємств і експлуатуючих організацій.

Формування концепції (загального задуму системи) проводиться в науково-дослідних організаціях, наприклад НАМИ («Автомобильный и моторный институт», Москва – з 1989 науково-виробниче об'єднання по автотехніці, автомобільним, тракторним і комбайновим двигунам). Основою його є зовнішня інформація, що задається директивно на підставі аналізу розвитку галузі.

У ході формування концепції формулюється призначення СТС, загальна ідея можливої її організації, визначаються характеристики середовища й необхідні ресурси, формується поняття ефективності системи й устанавлюються показники ефективності. Етап закінчується розробкою технічного завдання (ТЗ) проектування, що є підставою для початку, системи.

Проектування здійснюється в КБ. Ціль проектування полягає в розробці оптимального варіанта організації СТС, технічної документації, необхідної для виробництва системи на

підприємствах, у створенні дослідних зразків підсистем і підготовці технічної документації для серійного виробництва. На етапі проектування визначається можливість реалізації прийнятих при формуванні рішень (моделювання, макетування й випробування макетів підсистем), а також розробляється методика випробувань і вибирається іспитова апаратура.

По розробленій технічній документації **дослідне виробництво** КБ здійснює випуск дослідної партії. У процесі дослідного виробництва всі підсистеми зазнають ретельних випробувань як у цехах дослідного виробництва, так і на спеціальних іспитових полігонах в умовах, максимально наближених до реальних експлуатаційних умов. Ціль цих випробувань – виявлення можливих невідповідностей СТС технічній документації й експериментальне відпрацювання як самої системи, так і технічної документації на відповідність вимогам ТЗ.

Етап серійного виробництва починається із впровадження технічної документації на заводи промисловості. При цьому вносяться зміни, що відбивають конкретні особливості серійного заводу.

По відкоректованій технічній документації на серійному заводі здійснюється випуск настановної партії. Її призначення – перевірка якості відкоректованої для серійного виробництва технічної документації й виявлення «нестиковки», яка може відбитися на якості серійних зразків. Випуск настановної партії завершується її випробуваннями в умовах іспитового полігона або експлуатації.

Технічна документація, відкоректована за результатами випробувань настановної партії, використовується для серійного випуску систем. Серійні системи проходять цикл лабораторних (стендових і полігонних) випробувань. При задовільних результатах випробувань ухвалюється рішення про прийняття системи в експлуатацію, після чого вона транспортується до місця її експлуатації.

Основне завдання етапу експлуатації полягає в досягненні цілей створення системи, що забезпечується підтримкою її параметрів на рівні, визначеному технічною документацією. У ході експлуатації проводяться експлуатаційні випробування,

поточний ремонт і модернізація. Інформація, одержувана в процесі експлуатації, надходить в проектні організації (КБ), й на серійне виробництво, де вона використовується для створення нових і модернізації існуючих систем з метою поліпшення їх якості.

Отже *функції основних етапів створення нових виробів* розподіляються таким чином:

- замовник задає необхідний рівень безпеки й надійності виробу в тактико-технічних вимогах і технічних умовах на його проектування;
- конструктори закладають необхідний рівень безпеки й надійності в проєктований виріб, використовуючи при цьому сучасні принципи й методи раціонального конструювання, методи забезпечення високого рівня технологічності проєктованих об'єктів, а також проводячи комплекс дорожніх випробувань для експериментального підтвердження правильності обраних технічних рішень при створенні виробів;
- досвідне виробництво забезпечує рівень безпеки й надійності, закладений у конструкцію виробу з використанням сучасних досягнень (в області розробки й реалізації технологічних процесів виготовлення, контролю й заводських випробувань виробу), що підвищують точність і стабільність виробництва;
- експлуатація (включаючи транспортування, зберігання) зберігає заданий замовником, закладений конструкторами й забезпечений у процесі виробництва рівень безпеки й надійності виробу, з використанням сучасних методів технічного експлуатаційного обслуговування по фактичному стану та ін.

5.2 Роль випробувань в процесі створення технічних систем

Оскільки сучасні автомобілі – це складні й дорогі інженерні конструкції, то ефективність їх використання багато в чому визначається їхньою надійністю. А забезпечення надійності в процесі створення автомобіля полягає у виявленні й усуненні допущених при розробці конструктивних недоліків, що

приводять до відмов, а також в організації умов виробництва й експлуатації автомобілів, які виключили б появу нових відмов.

Таким чином, відмови у функціонуванні автомобіля, і його елементів – пов'язані з помилками проектно-конструкторських розробок, технології виготовлення та експлуатації.

Отже усунення помилок і недоробок проектно-конструкторського характеру здійснюється тільки в процесі проведення різних випробувань агрегатів і систем проектного автомобіля.

Тому проведення різноманітних випробувань і експериментальних досліджень окремих вузлів і агрегатів на натурних зразках в ході виконання конструкторських робіт – є найбільш інформативною операцією, але й найбільш дорогою.

Експериментальні дослідження й відпрацьовування конструкцій мають своєю метою розробку й уточнення методик розрахунків, їх експериментальне підтвердження. Ці дослідження звичайно виконуються на моделях у широкому діапазоні змінюваних параметрів конструкції. У деяких випадках моделі виготовляють у зменшеному масштабі, конструктивно подібними натурній конструкції. Елементи, не істотні для міцності й твердості, не відтворюються.

Зазначені випробування потрібні при розробці й впровадженні нових конструктивно-силових схем, конструкційних матеріалів, технологічних процесів і т.п. У результаті експериментальних досліджень підтверджуються фактичні характеристики й працездатність окремих вузлів і агрегатів. В експериментальному складанні повинні бути встановлені всі конструктивні елементи, що впливають на міцність і твердість (приварні елементи, місцеві вирізи, конструктивні надбудови). Дана група досліджень включає статичні й динамічні випробування окремих вузлів і агрегатів, випробування теплоізоляційних і теплозахисних покриттів.

У процесі статичних випробувань:

- визначають дійсні значення міцності і жорсткості характеристик з урахуванням усіх особливостей конструкції, технології й матеріалів;
- підтверджують прийняті в розрахунках значення коефіцієнтів безпеки й результати розрахунків

напруженого стану й твердості конструкції при експлуатаційних навантаженнях або вказують на помилковість рішень використуваних у конструкції вузлів і агрегатів;

- виявляють на підставі аналізу результатів руйнуючих випробувань дійсні причини руйнування конструктивних елементів;
- виявляють у результаті аналізу напруженого стану й деформацій, елементи й вузли недостатньої й надлишкової міцності.

Динамічні випробування проводять для різних конструктивних елементів з метою одержання значень узагальненої твердості й коефіцієнтів демпфірування, перевірки утомної міцності, дослідження поведінки конструкцій в умовах нестационарного навантаження.

У результаті виконаного комплексу досліджень уточнюється конструктивне виконання, коректується конструкторська документація, визначаються фактичні значення масових характеристик вузлів і агрегатів, доповнюються або змінюються вимоги до виробництва.

Після завершення розробки конструкторської документації продовжують експериментальне відпрацьовування конструкцій автомобіля й технології їх виробництва. Для цього виготовляється певне число натурних вузлів і агрегатів для випробувань на міцність, відпрацьовування технології, перевірки окремих систем на функціонування тощо.

Завдання відпрацьовування на цьому етапі ті ж самі, що й на попередньому, але носять контрольний характер (конструкторсько-доводочні випробування – КДВ). За результатами КДВ вносяться зміни в конструкторську документацію, коректуються характеристики вузлів і автомобіля в цілому, уточнюється технологічна документація на виготовлення зразків автомобіля.

Аналіз даних випробувань не тільки підтверджує правильність ухвалених рішень і виявляє слабкі місця, але й дозволяє оцінити резерви, закладені на попередніх етапах роботи.

В умовах серійного виробництва якість виготовлення конструкцій забезпечується виконанням вимог креслення. Однак

прямий контроль не завжди можливий або досить ускладнений.

Крім того, у процесі виготовлення агрегатів і відсіків можуть з'явитися приховані дефекти в результаті впливів, не забезпечених технологічним процесом. Тому для відповідальних і сильно навантажених вузлів і агрегатів у процесі їх виготовлення передбачені різні методи вибіркового контролю та випробувань.

При контрольно-вибіркових випробуваннях (КВВ) окремі зразки вузлів і агрегатів доводять до руйнування, тому при цих випробуваннях можна оцінити запас міцності. Дані випробування не є безпосередньою перевіркою міцності кожного конструктивного елемента, але вони гарантують, що при стабільному технологічному процесі коефіцієнт безпеки, закладений у конструкції, буде реалізований.

Розрізняють контрольно-вибіркові випробування від партії, періодичні й настановні. Випробуванням від партії піддають окремі деталі й прості складання (болти, тяги і т.п.) від однієї до декількох штук з партії.

Періодичним випробуванням піддають порівняно складні конструктивні елементи (вузли, агрегати) для підтвердження стабільності технологічного процесу в часі. Наставовні випробування проводять у тому випадку, коли виробництво виробу відновлюється після тривалої перерви або принципівих змін технології виготовлення, а також якщо виготовлення конструкції здійснюється по документації й технологічним процесам, освоєним на іншому підприємстві.

Питання для самоперевірки

1. Що таке життєвий цикл виробу?
2. Назвіть основні етапи життєвого циклу.
3. Які роботи виконуються на етапі проектування виробу?
4. З чого складається етап серійного виробництва?
5. Як використовується інформація одержана під час етапу експлуатації виробу?
6. Що забезпечує дослідне виробництво?
7. Для чого потрібні експериментальні дослідження?
8. Коли проводять динамічні випробування?
9. Що показують дані випробувань?
10. Які види контрольно-вибіркових випробувань ви можете

назвати?

11. Яка головна роль випробувань в процесі проектування та створення складних технічних систем?

6 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ КОНТРОЛЮ І ВИПРОБУВАНЬ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

6.1 Випробування і контроль – основні терміни та визначення

Під випробуваннями розуміється експериментальне визначення кількісних і (або) якісних характеристик властивостей об'єкта:

- у процесі різного виду впливів на нього;
- при його функціонуванні;
- при моделюванні об'єкта й (або) впливів.

Таким чином, при будь-яких випробуваннях повинні бути встановлені характеристики властивостей продукції (об'єкта випробувань), тобто параметри або (і) показники якості: призначення, надійності, ергономічні, технологічні, екологічні, безпеки та ін. Номенклатура показників якості продукції детально представлена в ГОСТ 22851. При цьому розрізняють *два види параметрів і показників якості об'єкта випробувань (ОВ)*:

- вимірювані – фізичні величини й похідні від них;
- невимірювані (наприклад, щільність компонування, зручність користування, раціональність форми та ін.).

Вимірюваними, контрольованими й керованими є параметри наступних видів: температура й тепло, тиск і вакуум, вологість, лінійні й кутові, світлові й оптичні, акустичні, електричні й магнітні, електромагнітні й радіотехнічні; рівень, обсяг, витрата, склад і концентрація фізико-хімічних властивостей речовини; сила, маса, швидкість і прискорення; іонізуюче випромінювання; аеродинамічні й комбіновані параметри та ін. (див. ГОСТ 26001).

У широкому сенсі під виміром розуміють алгоритмічну операцію, яка ставить у відповідність спостережуваному стану об'єкта, процесу, явища – певне позначення (число, номер або символ). Найпоширеніші при випробуваннях технічних виробів статистичні виміри, під якими розуміють знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних фізичних засобів. Необхідна інформація при цьому виходить із

результатів вимірів за допомогою обробки експериментальних даних.

Параметри об'єкта випробувань можуть бути: постійною або випадковою величиною; детермінованою або випадковою функцією.

Для контролю характеристик необхідно задати їхні необхідні значення. Останні вказує розроблювач об'єкта в документації (кресленнях, технології, технічних умовах і т.п.). Перевірка відповідності об'єкта (продукції або процесу) установленим технічним вимогам називається технічним контролем. Аналізуючи дане визначення технічного контролю, можна стверджувати, що для всякого контролю характерне здійснення двох основних етапів:

- одержання інформації про фактичний стан об'єкта, про ознаки й показники його властивостей;
- зіставлення цієї інформації із заданими вимогами й установлення відповідності фактичних даних необхідним значенням.

В основному ці етапи розмежовані. Однак у ряді випадків границя нерозрізнена в часі. У таких випадках перший етап може бути виражений нечітко або взагалі не спостерігатися. Характерним прикладом є контроль розміру калібром, що полягає в зіставленні фактичного значення розміру із гранично припустимим.

Інформація другого етапу використовується для виробітку відповідних керуючих впливів на контрольований об'єкт. У цьому сенсі всякий контроль завжди активний. Первинна інформація зіставляється з технічними вимогами, записаними в нормативній документації, з ознаками контрольного зразка, з даними, зафіксованими за допомогою калібрів, і т.п.

На стадії розробки продукції технічний контроль полягає, наприклад, у перевірці відповідності дослідного зразка й (або) розробленої технічної документації правилам оформлення й технічному завданню.

На стадії виготовлення, технічному контролю піддають якість, комплектність, упакування, маркування й кількість пропонованої продукції, хід (стан) виробничих процесів.

На стадії експлуатації продукції технічний контроль полягає

у перевірці дотримання вимог експлуатаційної й ремонтної документації.

Об'єктами технічного контролю є предмети праці (вироби, матеріали, технічна документація й т.п.), засоби праці (наприклад, устаткування підприємств) і трудові (наприклад, виробничі) процеси. Контроль здійснюється різними методами що засновані на фізичних, хімічних, біологічних та інших явищах і залежностях (законах, принципах), застосовуваних при одержанні первинної інформації про об'єкт контролю.

6.2 Взаємозв'язок вимірювань, контролю та випробувань

Якщо розглядати поняття «виміру», «контроль» і «випробування» на основі оцінки їх внутрішньої сутності, то необхідно робити це із двох позицій.

1. *Зазначені поняття формально характеризують автономні процедури,* виконання яких забезпечує розв'язок того або іншого завдання. Так, наприклад, з наведеного вище визначення поняття «вимір» видно, що вимір – це деяка технічна операція, що має метою кількісне визначення фізичної величини.

По своїй суті вимір – це експериментальний процес, при якому за допомогою допоміжних засобів порівнюють невідоме значення вимірюваної величини із прийнятою одиницею виміру й визначають, яке число раз ця одиниця втримується у вимірюваній величині. Для цього одиницю величини відтворюють у зручному для порівняння виді – у так званій мірі.

Поняття «контроль» не обмежується наведеними визначеннями. Контроль (технічний контроль) визначається як перевірка відповідності показників виробу встановленим технічним вимогам. Це відноситься до контролю як за кількісною ознакою (вимірювальний контроль), так і якісною або за альтернативною ознакою.

І, нарешті, з наведеного вище визначення поняття «випробування» видно, що основна мета випробувань полягає в оцінці якості виробу при його функціонуванні в тих або інших умовах, як правило в тих, що відрізняються від нормальних.

Таким чином, виходячи з даних визначень, можна (у деякому змісті) розглядати процедури вимірів, контролю й випробувань

як автономні, що виконують самостійні завдання.

2. Зазначені процедури функціонально зв'язані. Дійсно, досить очевидно, що основним джерелом відомостей про якість продукції, характер виробництва та інші показники є виміри. Саме в процесі їх проведення й виникає та інформація, яка забезпечує розв'язок завдань по оцінці показників якості продукції. Звідси випливає, що виміри входять як складений елемент у процедури й контролю, і випробувань.

Відмінність процедур виміру, контролю й випробувань полягає також і в тому, що якість вимірів характеризується погрішністю одержуваного результату, якість контролю – вірогідністю його результату, а якість випробувань – погрішністю й вірогідністю результату випробувань.

6.3 Класифікації контролю та випробувань

Існує велика кількість видів і методів контролю продукції на різних стадіях її життєвого циклу. Їх можна класифікувати по наступних ознаках.

а) по етапах життєвого циклу продукції розрізняють контроль:

- 1) процесу проектування – перевірка конструкторської й (або) технологічної документації на стадії розробки продукції;
- 2) виробничий – перевірка виробничого процесу і його результатів на стадії виготовлення продукції. Цей вид контролю, як правило, включає допоміжні, підготовчі й технологічні операції;
- 3) експлуатаційний – перевірка на стадії експлуатації продукції. Об'єктами експлуатаційного контролю можуть бути експлуатовані вироби й процес експлуатації.

б) по впливу на виріб контроль може бути:

- 1) руйнуючим – перевірка якості продукції з порушенням її придатності до використання по призначенню. Він застосовується тоді, коли важко (неможливо) урахувати велику кількість одиничних показників якості продукції. Іноді з економічних міркувань виявляється доцільним для контролю

зруйнувати певну кількість виробів. Такі процедури проводять часто при всебічному аналізі якості складних (спеціальних) систем при виконанні, наприклад, великих або малих контрольних випробувань;

- 2) неруйнуючим – перевірка якості продукції без порушення її придатності до використання по призначенню. Провідну роль серед засобів неруйнуючого контролю відіграють засоби вимірювань, що використовують оптичні, електромагнітні, ультразвукові, теплові та інші методи.

в) по повноті охопту виробів розрізняють контроль:

- 1) суцільний – перевірка кожної одиниці продукції з однаковою повнотою. Таким чином, при суцільному контролі досліджують усі деталі (виробу) партії (100%-ий контроль);
- 2) вибірковий – перевірка вибірок або проб з партії або потоку продукції. Даний контроль, процедури й правила якого ґрунтуються на законах математичної статистики, часто називають статистичним контролем якості продукції.

г) по меті оцінки якості виробів розрізняють контроль:

- 1) приймальний – перевірка відповідності якості вихідних матеріалів, напівфабрикатів, виробів (деталей, складальних одиниць, комплектів і комплексів) вимогам, установленим нормативною документацією. За результатами цього контролю ухвалюється рішення про придатність виробів до поставки й використання по призначенню.
- 2) статистичного регулювання технологічного процесу – регулярна перевірка параметрів технологічного процесу з метою оцінки їх стану й налагодження.

д) по стадіях виробничого процесу розрізняють контроль:

- 1) вхідний – перевірка продукції постачальника, що надійшла замовникові і призначеної для використання при виготовленні, ремонті або експлуатації продукції. Вхідний контроль

комплектуючих виробів досить необхідний, тому що на їхню частку доводиться до 70% усіх відмов готових виробів при їхній експлуатації.

- 2) операційний – перевірка продукції або процесу при виконанні або після завершення певної операції. Операційний контроль забезпечує безперервність перевірки на всіх технологічних операціях виробів, що визначають якість. При цьому технологічний процес якої-небудь операції контролюється й коректується протягом усього часу її виконання. Найбільш повно це завдання вирішують статистичні методи вибіркового контролю, коли за результатами контролю (вимірів) елементів вибірки ведуть спостереження за двома основними характеристиками ходу процесу: рівнем надійності й точністю;
 - 3) прийомоздаточний – перевірка готової продукції, за результатами якої ухвалюється рішення про її придатність до поставки й (або) використання. Прийомоздаточний контроль проводиться на виході технологічного виробництва, коли виконується комплексна перевірка готового виробу. За результатами цього контролю ухвалюється рішення про його придатність до поставки й використання за призначенням;
- є) по характеру виконання контроль може бути:
- 1) інспекційним – спеціально вповноважені виконавці перевіряють ефективність контролю, що раніше виконувався. Інспекційний контроль не завжди зводиться до повторення в тому або іншому обсязі раніше зробленого контролю. Ефективність уже проведеного контролю перевіряється також оцінкою, наприклад, правил виконання контролю;
 - 2) летучим, який також носить інспекційний характер, але може бути розповсюджений на весь хід технологічного процесу й конструкторсько-технологічну документацію. Летучий контроль здійснюють у випадкові моменти часу, обрані у

встановленому порядку. Ефективність його обумовлюється раптовістю, правила забезпечення якої повинні бути спеціально розроблені. Летучий контроль, як правило, виконується безпосередньо на місці виготовлення, ремонту, зберігання й т.п.;

ж) по прийнятих рішеннях розрізняють контроль:

- 1) пасивний – здійснюється перевірка на придатність, тобто брак тільки виявляється (фіксується);
- 2) активний – дозволяє встановити причину появи тих або інших відхилень значень параметрів виробів від норми;

з) по характеру надходження продукції на перевірку розрізняють контроль:

- 1) безперервний – вироби зазнають перевірки безупинно;
- 2) періодичний – вироби перевіряються через установлені проміжки часу;

і) залежно від характеру обумовленого параметра розрізняють контроль:

- 1) за кількісною ознакою – визначають числові значення найважливіших показників якості продукції і по їхньому співвідношенню із заданими нормами судять про якість виробу;
- 2) за якісною ознакою – визначають, чи укладається контрольований показник якості продукції у задані допуски, тобто проводиться допусковий контроль;
- 3) за альтернативною ознакою – окремий випадок контролю за якісною ознакою, коли вся продукція складається із двох груп: придатної й дефектної. Рішення про обсяг контрольованої продукції ухвалюється залежно від числа дефектів, що доводяться на певне число одиниць продукції;

к) залежно від використовуваних засобів контролю технічний контроль можна розділити на наступні види:

- 1) електричний;
- 2) механічний;
- 3) фізико-хімічний;
- 4) контроль по контрольному зразку;

- 5) органолептичний;
- 6) візуальний;
- 7) технічний огляд.

Для оцінки якісних властивостей і кількісних значень параметрів виробів на стадіях розробки, виробництва й експлуатації широко використовуються різні види випробувань. У ГОСТ 16504-81 «Випробування й контроль якості продукції.

Основні терміни й визначення» випробування класифікуються по наступних ознаках: рівню проведення; мети проведення; місцю проведення; характеру зовнішніх впливів; тривалості випробувань; впливу на об'єкт випробувань; обумовленим характеристикам; стадіям життєвого циклу виробу.

Випробування за рівнем проведення підрозділяються на три види: державні, міжвідомчі й відомчі. Державні випробування – це випробування встановлених найважливіших видів продукції, проведені головною організацією по цих випробуваннях, або приймальні випробування, виконувані державною комісією або відповідною організацією, якій надано право їх проведення.

6.4 Загальна схема експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження на відміну від випробувань проводяться з метою зміни конструктивних параметрів машини залежно від їхнього призначення й застосування. У процесі їх проведення дослідник одержує інформацію про фізичні процеси, що протікають при роботі технічної системи при різних умовах експлуатації у відносно короткий термін з наступною їхньою перевіркою на відтворюваність і обґрунтованість.

Але, при організації проведення випробувань техніки, необхідно враховувати особливості структури й умов протікання робочих процесів та їх елементів, до основних особливостей яких можуть бути віднесені їхня статистична сутність і різнозалежність фізичної природи.

У методології науки виділяють два рівні пізнання – емпіричний і теоретичний. При емпіричному рівні опираються на спостереження, експеримент, групування, класифікацію й наступний аналіз результатів експерименту. При теоретичному рівні розглядаються побудова й розвиток наукових гіпотез і

теорій.

Однак, організація проведення випробувань і експериментальних досліджень заснована на виконанні логічно взаємозалежних етапів робіт зміст яких наведено нижче.

До них відносяться:

- визначення об'єкта й предмета досліджень;
- постановка мети досліджень;
- розробка теоретичних основ, і допущень;
- виявлення значимих факторів, що впливають на предмет дослідження;
- визначення границь дослідження;
- розробка методики проведення досліджень;
- вибір способу проведення випробувань (модельний або натурний);
- розробка плану проведення досліджень;
- розробка експериментальної або іспитової установки;
- необхідні технічні засоби для проведення досліджень;
- обґрунтування ступеня точності вимірів і припустимих погрешностей;
- проведення досліджень;
- аналіз і обробка отриманих результатів;
- побудова висновків і рекомендацій.

У дослідницькій роботі методи, прийоми, самі об'єкти досліджень і їх терміни творчої роботи змінюються дуже часто.

Найбільш раціональними варіантами організації експериментів і досліджень можуть бути:

- порівняльна оцінка декількох об'єктів у заздалегідь установлених оптимальних режимах для: вибору й обґрунтування оптимальних параметрів машин та їх робочих органів; регулювання встановлених режимів роботи;
- експеримент для виявлення механізму явищ при якому розкривається фізична структура (модель процесу).

Для забезпечення сучасного технічного рівня й конкурентоспроможності техніки й технологій, які розробляються й впроваджуються у виробництво, необхідна їхня інтенсифікація в плані проведення патентних досліджень на всіх

етапах виконання цих наукових праць.

Патентні дослідження є основою для правильного вибору напрямку, у якому необхідно вести пошук оригінальних розв'язків науково-технічних завдань. Порядок виконання таких робіт регламентований ДСТУ 33575-97.

Він включає визначення предмета пошуку, країн для пошуку інформації, видів інформаційних джерел, класифікації предметів пошуку, необхідної глибини пошуку по країнах і джерелам інформації й складання відповідного документа у вигляді звіту про патентний пошук.

6.5 Класифікація відмов та дефектів складних технічних систем

Подія, що полягає в порушенні працездатного стану, називається відмовою. Основними причинами відмов є дефекти конструкції в цілому, окремих її деталей (що є первинними структурними одиницями практично будь-якої технічної системи) і з'єднань.

Під терміном «дефект» розуміється кожна окрема невідповідність конструкції встановленим вимогам, яка може привести до відмови або ушкодження при її експлуатації. Дефекти створюються в основному на етапах конструювання, розробки технології, а також виготовлення деталей, складання й монтажу виробу і його елементів.

Відмови елементів СТС класифікуються на первинні, вторинні й помилкові команди. Відмови всіх цих категорій можуть мати різні причини.

Первинна відмова елемента визначається як його неробочий стан, причиною якого є він сам. Необхідно виконати ремонтні роботи для повернення елемента в робочий стан. Основними причинами первинних відмов є в основному конструктивні, виробничі (технологічні) і так звані деградаційні дефекти.

Причинами дефектів конструкції (конструкторських недоробок) елементів (систем, вузлів, агрегатів) і виробу в цілому є: неповна відповідність технічних характеристик виробів пропонованим вимогам, пов'язане з нераціональним вибором принципової, структурної, конструктивної схем виробів і всього комплексу; неправильний вибір комплектуючих виробів,

матеріалів і напівфабрикатів; недостатній облік можливостей розробки, експериментального відпрацювання й очікуваної якості виготовлення виробів; недостатній облік реальних умов експлуатації й застосування; помилки при проектуванні, конструюванні, експериментальному відпрацюванню виробів.

Виробничі (технологічні) дефекти виникають з наступних причин: неповна відповідність якості виготовлення виробів вимогам конструкторської документації, недостатня якість вихідних матеріалів, неправильний вибір технології, помилки в технологічній документації, порушення (при виготовленні) вимог технології й системи контролю якості продукції.

Вторинна відмова така як і первинна, за винятком того, що сам елемент не є причиною відмови. Вторинні відмови пояснюються впливом попередніх або поточних надлишкових навантажень на елемент та іншими причинами. Основні причини цих відмов: надлишкові (вихідні за межі припустимих значень) напруги електричного струму та інші небажані збурювання, джерелами виникнення яких можуть бути:

- сполучені (сусідні) елементи (системи, вузли, прилади, агрегати і т.п.);
- навколишнє середовище;
- персонал, якщо його дії приводять до виходу елементів з ладу внаслідок порушення правил (експлуатації виробів), передбачених конструкторською документацією (при цьому первісною причиною виникнення вторинних відмов можуть бути також дефекти експлуатаційної документації).

Слід зазначити, що усунення впливу джерел підвищених навантажень на елемент не гарантує повернення його в робочий стан, тому що попереднє перевантаження могло викликати в ньому необоротні зміни.

Помилкові команди представляються у вигляді елемента, що перебуває в неробочому стані через неправильний сигнал керування або перешкод, наприклад – оператор не нажав аварійну кнопку (помилкова команда від аварійної кнопки).

Питання для самоперевірки

1. Що таке випробування?
2. Які показники повинні бути встановлені при випробуваннях?
3. Які параметри вимірюють під час випробувань?
4. Що є об'єктом технічного контролю?
5. Як пов'язані між собою вимірювання, контроль та випробування?
6. Що таке вимірювання?
7. Як класифікуються процедури контролю?
8. Як класифікуються випробування?
9. Як класифікують процедури контролю по стадіях виробничого процесу?
10. Як можна розділити процедури технічного контролю по використуваних засобах?
11. З якою метою проводять експериментальні дослідження?
12. Назвіть основні етапи проведення експериментальних досліджень.
13. Як класифікують відмови та дефекти складних технічних систем?
14. Що може бути причиною дефектів конструкції виробу?
15. Що таке помилкова команда?

7 ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЕЙ

7.1 Мета і задачі моделювання при створенні складних систем

У наш час моделювання є невід'ємним елементом процесу створення будь-якої складної технічної системи (СТС).

Спочатку методи моделювання одержали широке поширення при вирішенні порівняно нескладних завдань. З появою складних систем роль моделювання при оцінці параметрів досліджуваних процесів суттєво зросла. Це пояснюється особливостями досліджуваних об'єктів, що впливають зі складності функціональних зв'язків між параметрами системи, що змінюються умовами зовнішнього середовища й оцінюваними показниками.

Звичайно при моделюванні СТС стикаються із ситуацією, коли досліджувані процеси в системі й умови зовнішнього середовища мають імовірнісний характер, велике число факторів, що впливають на оцінювані показники, оцінки шуканих параметрів потрібно одержати для широкого діапазону змін умов функціонування системи.

Моделювання (як метод досліджень) широко застосовується не тільки при підготовці технічних пропозицій і формуванні технічних вимог до створюваного зразка, але й на етапах ескізного й технічного проектування, при відпрацьовуванні зразків у замкнених системах, у складі яких передбачається їхнє використання, а також на етапі різних видів натурних випробувань, що визначають характеристики об'єктів, їх опрацьованість і можливість переходу від даного етапу випробувань до наступного або слугують підставою для передачі об'єктів у серійне виробництво.

У відповідності з усталеною практикою, звичайно застосовують три основні види моделювання: математичне, напівнатурне й фізичне.

Кінцевою метою математичного моделювання є одержання необхідної точності оцінок обраних кількісних показників. Найбільше поширення при цьому моделюванні одержали методи

статистичних випробувань, еквівалентних збурювань і інтерполяційний метод, що представляють собою прямі методи розрахунків імовірнісних характеристик систем. При цьому оцінки розраховуються в один етап без обліку результатів попереднього моделювання. У дійсності ж між оцінками, знайденими на різних етапах моделювання, існує певна статистична залежність, облік якої в багатьох випадках дозволяє суттєво скоротити число експериментів.

Тому що матеріальний внесок в обсяг моделювання для складних систем великий, то скорочення загального числа експериментів набуває важливого значення. Тому розробляються комбіновані методи використання різнорідних статистичних оцінок, при яких на кожному черговому етапі моделювання використовується раніше отримана інформація. Обчислювальні методи, використовувані для визначення оцінок параметрів як при напівнатурному, так і при фізичному моделюванні, у більшості випадків аналогічні застосовуваним при математичному моделюванні.

Методами моделювання звичайно вирішується наступне основне коло завдань:

- обґрунтування технічних вимог до створюваного об'єкта і його окремим частинам;
- порівняльна оцінка ефективності існуючих зразків і їх частин, подібних розроблювальним;
- вибір раціональних технічних рішень по побудові створюваного об'єкта, його систем і підсистем і перевірка відповідності отриманих характеристик заданим на стадії як проектної розробки, так і випробувань;
- відпрацювання систем, підсистем, блоків і їх елементів, уточнення технічних рішень і вимог до об'єктів у процесі їх створення;
- вибір і відпрацювання алгоритмів функціонування об'єктів у реальних умовах застосування;
- попередня оцінка очікуваної ефективності створюваного об'єкта;
- відпрацювання об'єкта в цілому перед проведенням натурних випробувань;

- обґрунтування програм і методів проведення різних видів випробувань об'єкта, його систем, підсистем, блоків і елементів;
- розв'язок завдань, пов'язаних з ергономічним забезпеченням як функціонування об'єкта, так і його випробувань;
- одержання характеристик, які не можуть бути визначені (через можливі економічні, технічні, організаційні та інші види обмежень) у натурних випробуваннях, а також статистичних характеристик, необхідних для оцінки випробовуваного об'єкта;
- визначення відповідності характеристик об'єкта заданим вимогам і контрольна перевірка цих характеристик з урахуванням натурних випробувань;
- оцінка ефективності об'єкта у всьому діапазоні реальних умов його застосування й т.п.

При розв'язку перерахованих завдань математичне моделювання використовується, коли відомо досить достовірний математичний опис модельованого процесу. Напівнатурне моделювання застосовується для оцінки апаратних рішень, ергономічної оцінки й при відпрацьовуванні зразків для уточнення технічних рішень, одержання об'єктивних оцінок для прийняття рішень про проведення натурних випробувань і можливості переходу від одного етапу випробувань до наступного. Фізичне моделювання застосовується при відсутності досить достовірного математичного опису процесу й неможливості виконання напівнатурного моделювання.

Складність сучасних випробовуваних систем і комплексів, засобів, що забезпечують експериментальне відпрацьовування об'єктів, організаційної структури експериментів і пов'язані із цим труднощі перебудови експериментів у процесі їх реалізації роблять необхідним проведення ряду заходів щодо підвищення ефективності даного етапу створення СТС. Один зі шляхів розв'язку зазначеного завдання — широке залучення методів моделювання до натурних експериментів з метою одержання в обмежений час результатів з мінімального обсягу експериментальних даних.

З рис. 7.1 видно, що збільшення обсягу супровідного

моделювання дозволяє в 1,5-2 рази скоротити число натурних експериментів при відпрацюванні СТС.



1 – обсяг моделювання;
2,3 – відносне число натурних експериментів без моделювання та з моделюванням відповідно

Рисунок 7.1 – Взаємозв'язок обсягів моделювання й натурних випробувань

Однієї з особливостей складних систем натурного експерименту є те, що при їхній реалізації не завжди можливо провести необхідний обсяг експериментальних досліджень функціонування об'єкта в цілому або окремих його систем і підсистем у реальних умовах застосування.

Тому в натурних випробуваннях доводиться створювати деяку імітаційну обстановку. У цих випадках повнота й вірогідність одержуваного експериментального матеріалу можуть бути гарантовані, якщо до досліджень притягнуті методи моделювання. Незалежно від виду моделювання й крім робіт, пов'язаних з постановкою завдання, вибором критеріїв оцінки й методів

оптимізації, реалізації моделей, найважливішим завданням є розробка моделей, що об'єктивно відбиває підлягаючі вивченню процеси. Загальні відомості про випробування з використанням моделей.

Моделювання – це метод дослідження об'єкта випробувань (ОВ) фізичних процесів, що й протікають у ньому. В основі методу лежить заміна ОВ й реальних процесів, що проходять у ньому, моделлю, структура й спосіб реалізації якої можуть вивчатися шляхом математичного, фізичного й фізико-математичного моделювання. Моделювання дозволяє скоротити обсяг, тривалість і вартість випробувань у порівнянні з лабораторними й експлуатаційними методами.

Випробування з використанням моделювання є важливим засобом вивчення властивостей ОВ. Вони дозволяють швидко й ефективно оцінити поведінку ОВ на всіх стадіях від проектування до експлуатації шляхом імітації поведінки реального ОВ іншим, більш зручним для випробувача методом.

Особливо важливе значення набуває випробування з використанням моделювання в аварійних ситуаціях для уточнення процесів втрати працездатності ОВ при різних експлуатаційних умовах і режимах роботи, а також при виборі контрольованих параметрів ОВ в процесі його розробки.

За допомогою моделювання можна відтворювати роботу ряду систем, практично не прибігаючи до натурних випробувань, оптимізувати їхні характеристики, здійснювати короткостроковий або глибокий прогноз. Основне призначення моделювання – вибір оптимальної стратегії пошуку найкращого з можливих варіантів.

Однак на практиці цим проблема моделювання не обмежується. Обрана в процесі моделювання стратегія дослідження буде оптимальною для сукупності розглянутих умов. Але вона може виявитися й неоптимальною, якщо в ході дослідження розкриються нові, до того невідомі властивості системи. У цьому випадку повинне змінитися відповідно й напрямок пошуку.

Допустимо, що умовами технічного завдання на розробку двигуна автомобіля сформульовані основні вимоги: рівень надійності, значення основних параметрів, маса конструкції й т.п. Завдяки проведеній роботі поставлена мета виявилася досягнутою. Однак за допомогою моделювання були виявлені деякі нові властивості й прийнята схема конструкції двигуна та його параметрів виявилися неоптимальними. Тоді в результаті проведеного дослідження намітилася нова стратегія пошуку, що дозволяє вирішувати поставлене завдання вже при значно полегшеній конструкції. У цьому й полягає евристичний зміст ідеї моделювання, завдяки якому виявлення нових властивостей процесу при аналізі отриманих результатів визначає нові шляхи розв'язку комплексного завдання. З урахуванням цього, моделювання фізичних процесів дозволяє вирішувати завдання як би двох планів: по-перше, визначати оптимальним образом шлях розв'язку завдання при заздалегідь відомому складі факторів і, по-друге, завдяки виявленню нових властивостей і особливостей досліджуваного процесу здійснювати евристично стратегію пошуку.

Дослідження методом моделювання починається звичайно із

проробки апріорної інформації з випробувань натурних об'єктів, вибору виду моделі, розробки спеціальної робочої моделі, призначеної для конкретних досліджень. Потім уже проводиться експериментування на даній моделі з наступним уточненням її виду й самих результатів моделювання. У ряді випадків моделювання закінчується серією контрольних випробувань натурних систем з метою підтвердження вірогідності отриманих результатів.

По призначенню розрізняють два основні види моделей, використовуваних при проведенні випробувань: фізичні й математичні. Фізична модель дозволяє відтворити ОВ зі збереженням його фізичної природи процесів, що й відбуваються в ньому, при відповідних впливах зовнішніх факторів. Математична модель являє собою математичні співвідношення, що описують ОВ, процеси що й відбуваються в ньому при зовнішніх впливах.

Фізичне моделювання застосовують при дослідженні й оцінці характеристик ОВ, а також процесів їх функціонування, коли одержання експериментальних характеристик за результатами випробувань реальних ОВ пов'язане з великими труднощами й витратами й не представляється можливим здійснити математичне моделювання. У цих випадках фізична модель дозволяє виявити залежність між різними параметрами безпосереднім виміром. Потім, опираючись на теорію подоби або використовуючи метод аналогій, результати випробувань переносяться на оригінал (модельований об'єкт або процес).

Залежно від властивостей ОВ фізичні моделі можуть використовуватися при проведенні дослідницьких випробувань для оцінки деяких (наприклад, найбільш важко вимірюваних на ОВ) характеристик, при випробуваннях на надійність із метою визначити «слабкі» ланки й оцінити показники надійності по поведінці слабкої ланки.

Математичне моделювання застосовують у тих випадках, коли є можливість розрахувати (з використанням ЕОМ) зміни (у процесі зовнішніх впливів) параметрів, що визначають поведінку ОВ. Математичні моделі являють собою математичні співвідношення, що використовують дискретні значення вихідних даних, що й відбивають результати розрахунків також

для дискретних моментів часу. Розрахунки значень параметрів на виході ОВ по відомих для дискретних моментів часу значенням вхідних параметрів, у тому числі зовнішніх впливів, називається цифровим моделюванням.

Цифрове моделювання складних ОВ на ЕОМ здійснюється шляхом «програвання» як різних варіантів описів самого ОВ, так і його взаємодії з навколишнім середовищем. Такий напрямок прийнято називати імітаційним моделюванням.

Розробка математичних моделей може вестися на основі проробки статистичних даних. Однак якщо досліджується зовсім нове явище, то на ранніх етапах дослідник не має у своєму розпорядженні достатній обсяг інформації, що дозволяє за допомогою створеної моделі побачити не сам процес, а «намацати» лише його схему.

Таке наближене відображення процесу фіксується за допомогою так званих концептуальних моделей. Концептуальні моделі визначають нашу умовну уяву про досліджуваний процес, а точніше – дають тільки кістякову схему. Одне з найбільш важливих завдань моделювання – це вивчення в процесі вдосконалювання систем їх характеристик, і виявлення схованих властивостей.

До цих властивостей належать: оптимальні конструктивні й технологічні характеристики; фактичні значення основних параметрів при будь-яких комбінаціях зовнішніх і внутрішніх факторів; значення параметрів, що визначають екстремальні умови випробувань, розподіл характеристик надійності систем при заданих умовах експлуатації.

Важливим питанням є забезпечення наукової основи для планування випробувань і прогнозування основних параметрів. Останнє повинне передувати всякому впровадженню систем у виробництво.

У своїй теоретичній і практичній основі розробка складних систем ґрунтується на методах математичного й фізичного моделювання, які є вихідним початком для оптимізації пошуку.

Підхід до обом методам різний. Якщо математичні моделі – це відображення реального процесу за допомогою умовних математичних символів, то фізичні моделі — це спрощені або зменшені «макети» реальних систем.

Кожна з видів моделей не виключає, а доповнює іншу й у раціональній програмі беруть участь разом.

Щоб можна було поширити результати, отримані при випробуваннях з використанням моделювання, для оцінки поведінки реальних ОВ, необхідно забезпечити певну відповідність між моделлю й ОВ.

Ця відповідність може виражатися у вигляді адекватності (тобто однаковості поведінки в однакових умовах) або подоби моделі й ОВ. У більшості випадків випробувань ОВ із застосуванням моделювання важко забезпечити адекватність моделі й ОВ, тому використовуються моделі, подібні ОВ.

Процес випробувань за допомогою моделей ОВ (надалі — процес моделювання) незалежно від їхнього виду (фізична або математична) складається з однакових основних етапів: збору даних, необхідних для побудови моделі; побудови моделі; проведення випробувань на моделі; аналізу отриманих результатів.

На рис. 7.2 наведено більш детальне розкриття цих етапів стосовно до математичного моделювання.

Етап 1 – побудова змістовного опису моделі, у який вносять усю інформацію про ОВ. Якщо ОВ є знову розроблювальним виробом, то в змістовний опис включають дані із технічного завдання (ТЗ), умови роботи об'єкта, дані про його структуру й функціонування окремих елементів. Ці дані одержують із літературних джерел, документів, звітів про результати досліджень, відомостей про аналогічні об'єкти.

Етап 2 – побудова формалізованого опису, що полягає у відборі зі змістовного опису тих незалежних змінних параметрів, які необхідні для побудови моделі й розрахунків по ній, ці параметри повинні описувати режими роботи ОВ й процеси, що протікають у ньому при зовнішніх впливах.

Етап 3 – побудова моделі шляхом знаходження її блокової структури. Кожний блок описується рівняннями свого функціонування, а взаємодія між блоками – відповідними параметрами.

Етап 4 – обробка моделі здійснюється шляхом програмування математичної моделі на ЕОМ або настроюванням фізичної моделі.

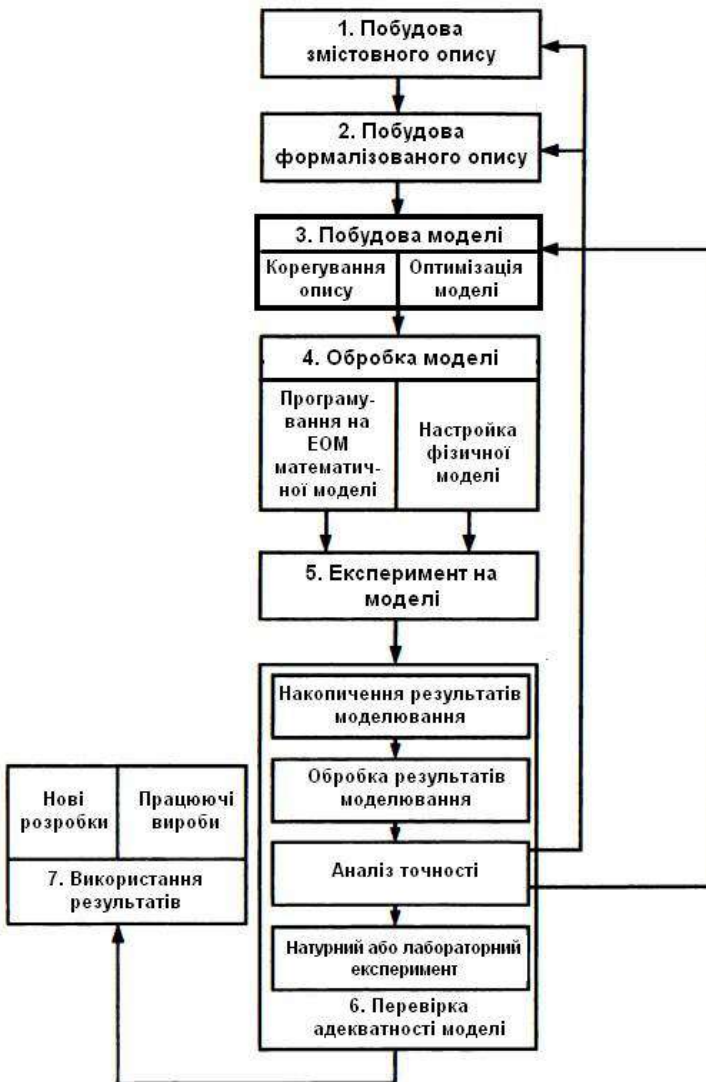


Рисунок 7.2 – Схема процесу моделювання

Етап 5 – експерименти на моделі реалізуються при математичному моделюванні шляхом відповідних розрахунків на ЕОМ.

Етап 6 – перевірка адекватності моделі включає нагромадження результатів моделювання та їх обробку із зіставним аналізом точності отриманих результатів моделювання з результатами лабораторного експерименту. Критерії адекватності визначаються на основі теорії подоби.

Етап 7 – використання результатів моделювання для наступних цілей:

- при розробці ОВ – для вдосконалювання його структури й функціонування, оптимізації процедур випробувань і контролю;
- моделювання працюючого ОВ, коли потрібна більш повна інформація про його властивості, що отримана при лабораторних випробуваннях;
- моделювання складного працюючого ОВ, коли потрібне визначення ступеня навантаження окремих блоків його структури або ефективності їх взаємозв'язків.

Можливість математичного моделювання визначається наявністю відповідних співвідношень і трудомісткістю розрахунків, яка багато в чому залежить від характеристик використовуваних ЕОМ.

Можливість застосування фізичного моделювання визначається властивостями ОВ й видами іспитових впливів. Якщо ОВ є складною технічною системою, що складається з великої кількості окремих ланок (блоків, вузлів), що мають суттєво різну міцність (стійкість) до різних видів іспитових впливів, то випробування можуть проводитися за допомогою фізичних моделей.

У тих випадках, коли ОВ має властивості, при яких складні зовнішні впливи можуть бути замінені впливами більш простими або з меншою інтенсивністю, випробування здійснюються на основі фізичного моделювання впливів на ОВ.

7.2 Випробування на основі фізичного моделювання

Принцип фізичного моделювання досить широко використовується в практиці дослідно-конструкторського відпрацювання СТС для виявлення найбільш важливих властивостей даної конструкції, вибору оптимальних критеріїв, що визначають її якість, і т.д.

Суть фізичних моделей полягає в тому, що дослідження деякого фізичного процесу проводиться не на натурному об'єкті, а на його зменшених або спрощених певною мірою моделях. У цьому випадку самі моделі повинні бути подібні натурі в сенсі точного копіювання досліджуваних явищ.

Моделювання може бути повним, якщо система повністю замінюється моделлю або моделями, і частковим, якщо в ній замінюються моделлю один або кілька елементів. Фізичні моделі використовуються для вивчення внутрішньої структури складних фізичних процесів, для визначення не тільки вихідних, але й проміжних параметрів, для вибору й перевірки критеріїв подоби, різних фізичних констант, а також для прогнозування й пояснення різного роду явищ із достатнім ступенем точності.

Фізична модель повинна не тільки відбивати досліджуваний реальний процес, але бути менш складною, ніж сам натурний об'єкт, а якщо ні, то губиться зміст її використання. Фізична модель відрізняється від інших видів моделей насамперед тим, що вона зберігає самі істотні, визначні властивості натурального об'єкта, представлені, як правило, в іншому масштабі. Зовні вона може бути схожою на натурний об'єкт і відрізнятися від нього тільки розмірами.

Фізичні моделі зберігають специфіку реального об'єкта, вони конкретні й також складні в експерименті, а в ряді випадків і складніші, ніж на натурному об'єкті. Випробування СТС – дорогий експеримент, однак за допомогою моделей дороге, а в ряді випадків унікальне устаткування може бути виключено із програми відпрацювання.

Випробування на основі фізичного моделювання ОБ складаються з наступних етапів:

- визначення мети й завдання випробування;
- побудова фізичної моделі об'єкта випробування;
- проведення випробування шляхом зовнішніх впливів на фізичну модель ОБ й одержання її реакції на цей вплив;
- аналіз, обробка й інтерпретація результатів випробувань.

Проведення розглянутих випробувань у процесі розробки ОБ дозволяє:

- визначити найбільш слабкі елементи ОБ для кожного з видів зовнішніх впливів, щоб у процесі наступної

доброби забезпечити відносну рівномірність елементів і тим самим підвищити стійкість виробів до встановлених видів впливів;

- одержати попередню інформацію про відмінність у стійкості ОВ до роздільного й комплексного впливів зовнішніх факторів, що необхідно для оптимізації системи випробувань.

При аналізі результатів випробувань фізичних моделей необхідно враховувати наступне:

- реальні значення стійкості модельованого об'єкта до встановлених видів впливів виявляються тим нижче, чим більше елементів реального виробу було виключено з розгляду при побудові фізичної моделі;
- види, причини й механізми відмов, установлені за результатами випробувань фізичних моделей, не враховують відмов тих елементів, які були виключені при побудові моделей.

Неодмінною умовою застосовності фізичних моделей є забезпечення подоби натурному процесу. Ступінь відповідності моделі й ОВ виражається за допомогою критеріїв подоби.

Під критерієм подоби розуміється словесне або математичне формулювання умов, при яких модель може вважатися такою, що відбиває в заданому змісті ОВ. Відповідність моделі й ОВ в найпростішому випадку представляється безрозмірними параметрами самих процесів і тієї системи, у якій вони протікають.

Основне положення теорії подоби говорить про те, що процеси, у яких критерії подоби рівні – подібні. Однак критерії подоби не завжди й не для всіх процесів можуть бути виражені в явному виді – у вигляді безрозмірних комплексів.

Можливі випадки, коли ці критеріальні співвідношення між моделлю й ОВ можуть бути представлені тільки в неявній формі (наприклад, для складних інформаційно-вимірювальних комплексів).

Вимога дотримання адекватності або подоби моделі й ОВ поширюється на всі види моделей і методів моделювання.

7.3 Випробування на основі математичного моделювання

Ідея фізичного моделювання не вичерпує весь арсенал методів і засобів відпрацьовування СТС і підвищення її ефективності. Усе частіше в практику їх відпрацьовування впроваджуються математичні моделі. Природно, це справедливо для умов, коли відомий оператор досліджуваного процесу. З урахуванням цього, в загальному виді математичну модель можна представити як:

$$\bar{Y} = A\bar{X}, \quad (7.1)$$

де Y , X – два вектори, перший з яких характеризує вихід, а другий – вхід системи;

A – оператор.

Тоді зі сфери дослідження безпосередньо виключається не тільки фізична модель, але й сам об'єкт. Вони стають лише джерелом інформації, використовуваної для визначення й уточнення виду моделі.

Математична модель описує структуру функціональних зв'язків між варійованим складом значимих факторів і вихідною якістю процесу. При цьому вхід і вихід моделі повинні перебувати в математичній рівновазі, стан якого може бути як статичним, так і динамічним.

Успіх моделювання визначається вдалим вибором характеристики, що визначає вихідну якість процесу, складу значимих факторів і форми функціонально-логічних зв'язків між ними. Проводячи аналіз різних видів моделі, визначають ступінь впливу внесених у модель змін на якість її функціонування.

Досить важливо при моделюванні виявити склад значимих факторів і встановити умови, що впливають на характеристику, що підлягає оптимізації. Склад значимих факторів обумовлений властивостями самої системи і його необхідно виявляти самим ретельним образом, тому що поспішність у цих питаннях завжди приводить до помилок. Однак чим більше факторів включається в модель, тем складніше її розв'язок. Тому важливо також вчасно виключити із програми випробувань фактори, вплив яких на

досліджуваний процес зневажливо малий або їх ефект порівняний з помилкою апроксимації.

Основні віхи на шляху створення математичних моделей полягають в тому, що шляхом аналізу апріорних даних вивчаються основні властивості й характер поведінки системи, можливість застосування аналітичних методів або законів, що встановлюють сукупність структурних зв'язків між усіма змінними досліджуваного процесу.

Потім на основі накопиченої інформації, будується попередня модель, результати дослідження якої повинні перебувати в безпосередній відповідності з поведінкою натурального об'єкта. Усяка помітна невідповідність їх властивостей усувається шляхом модифікації моделі, її вдосконалюванням.

Практично цей процес повинен іти безупинно. Якщо для фізичних моделей важливо зберегти фізичну подобу натурі, стосуючись не тільки вихідних характеристик, але й основних внутрішніх властивостей системи, то для математичних моделей, як правило, важливо зберегти тільки подобу реакції «виходу» на «вхід».

При розробці математичних моделей необхідно:

- виявити состав керованих і некерованих змінних;
- визначити границі досліджуваного процесу;
- визначити глибину деталізації процесу;
- установити фізичні обмеження на розробку;
- установити характер керування процесом (у статичному або динамічному режимі роботи);
- визначити необхідну точність моделювання;
- намітити шляхи подальшого вдосконалювання моделей.

Моделювання розвивається по шляху створення детермінованих і імовірнісних моделей, для яких структурні зв'язки можуть бути стохастичними й детермінованими. Детерміновані й імовірнісні процеси у свою чергу можуть бути описані відповідно детермінованими й імовірнісними моделями й навпаки.

До недоліків моделей можна віднести наступне: по-перше, вони завжди є наближеними й, по-друге, при розробці моделей потрібна досить точна й достовірна інформація.

Причина цих недоліків може полягати в наступному:

- невдало обрана вихідна характеристика, що визначає якість досліджуваного процесу;
- вибір складу значимих факторів будується на наближених методах що не враховують фізичні особливості процесу;
- оцінка адекватності розроблювальної моделі може бути недостовірною;
- деякі зі значимих факторів можуть виявитися якісними, що не мають кількісного вираження;
- не завжди вдається підібрати прийнятну математичну форму зв'язку, що відбиває без істотних спрощень реальний процес;
- у ряді випадків по тим або іншим причинам розроблювач моделі й сам не прагне до забезпечення високої точності, керуючись розв'язком, скажемо, тільки першочергових завдань і т.п.

Тому на практиці аналітичні моделі звичайно використовують для відповідних розрахунків і моделювання в процесі проектування при виборі декількох вихідних варіантів об'єкта. Але коли вирішується питання вдосконалювання штатної конструкції в ході експериментального відпрацювання, аналітичні моделі можуть виявитися непридатними.

Для того щоб аналітична модель служила зазначеним цілям, вона повинна враховувати конструктивні рішення й вплив зовнішніх і внутрішніх факторів. А це поки вдається здійснити лише на основі обробки експериментальних даних.

Якщо мова йде про розробку математичної моделі, що задовольняє основним вимогам практики, то важливо відзначити наступне. У якості вихідної характеристики досліджуваного процесу необхідно використовувати параметри, що визначають якість СТС або її надійність.

У цілому ступінь конструктивної досконалості СТС оцінюється досягнутим рівнем надійності, величинами основних параметрів, технологічністю виконання, мінімальними масами конструкції й високими експлуатаційними властивостями.

Тому, коли потрібно оцінити дані показники, то в якості вихідної характеристики слід використовувати не одну, а кілька видів моделей, кожна з яких служить певним цілям. У ряді

випадків з достатнім ступенем точності модель може виражатися рівнянням регресії:

$$y = \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i<j}^n b_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (7.2)$$

де $b_i; b_{ij}$ – коефіцієнти регресії;
 x_1, \dots, x_n – варійовані фактори;
 ϵ – середня помилка апроксимації.

Перевага таких моделей полягає в обліку особливостей конкретної конструкції й самого досліджуваного процесу, в обліку факторів, що визначають умови випробувань. Усі фактори керовані й реєструються засобами вимірів.

Іноді в процесі відпрацювання, наприклад двигуна, для кожної конструктивної схеми розробляються свої моделі, зіставлення й аналіз яких дозволяють оптимізувати досліджуваний процес. Якщо ж необхідність у натурних експериментах існує, то математичні моделі дозволяють розробляти оптимальні плани й програми випробувань, здійснювати поточний прогноз основних характеристик і т.п.

У математичних моделях сукупність властивостей і критеріїв одного плану використовується для відбиття сукупності властивостей і критеріїв зовсім іншого плану. При цьому сукупність фізичних властивостей може представлятися символічно у вигляді набору цифрових знаків, літерних позначень і т.п. Моделі такого роду прийнято називати символічними.

Символічні моделі представляються, як правило, сукупністю умовно записаних систем рівнянь і нерівностей, що описують математичну структуру досліджуваного процесу. На відміну від символічних моделей, аналогові моделі дозволяють досліджувати реальний процес за допомогою моделей іншого аналогового процесу, подібного натурному.

За умови розробки досить точних моделей досліджуваних процесів реалізація будь-якого обчислювального експерименту не становить особливої складності в порівнянні з тими витратами

засобів і часу, яких вимагає натурне випробування. Складність моделювання полягає в розробці відповідних моделей і налагодженню обчислювальних програм, що досить точно відбивають реальний процес.

Математичні моделі діляться на конструктивні й описові, тобто на моделі першого й другого роду. Моделі першого роду є засобом постановки активного експерименту. На практиці при моделюванні фізичних процесів найчастіше використовуються символічні конструктивні моделі, що володіють достатньою ефективністю й простотою в операційному відношенні.

Велике практичне значення в процесі проектування й на початкових етапах розробки складних технічних систем набули аналітичні символічні конструктивні моделі в комплексі з так званими емпіричними моделями. Під емпіричними моделями в цьому випадку розуміють усякого роду залежності, отримані на підставі аналізу й обробки експериментальних даних.

7.4 Імітаційне моделювання складних систем

Стосовно до СТС моделювання найчастіше починається з побудови концептуальних моделей і вивчення статистичних даних, що визначають вхід і вихід системи. Останнє застосовується в тих випадках, коли внутрішня структура проміжних процесів мало досліджена й не ясна або не піддається аналітичному вираженню. Завдання такого плану часто зустрічаються на практиці й одержали символічну назву завдань «чорного ящика».

Загальним елементом для всіх принципів є визначення складу значимих факторів, що впливають на досліджуваний процес. Використання того або іншого принципу обумовлене ступенем складності системи або досліджуваного процесу й глибиною розкриття внутрішніх зв'язків.

Існує кілька принципів побудови математичних моделей, але використання з них того або іншого, визначається насамперед наявністю апріорної інформації, ступенем розуміння фізичних особливостей досліджуваних процесів, знанням і оцінкою передбачуваних функціональних зв'язків між елементами системи й т.п.

Основні труднощі, з якими доводиться зустрічатися при

розробці математичних моделей СТС, полягають в подоланні протиріччя між вимогою можливо більшої простоти опису (без нього важко зрозуміти й розв'язати завдання) і необхідністю обліку численних параметрів, закономірностей, обмежень і взаємозв'язків, що визначають роботу системи. Складну технічну систему практично неможливо повно й детально описати в рамках єдиної математичної моделі. Тому при описі таких систем звичайно використовується модульний принцип, що передбачає розробку не однієї, а сімейства взаємозалежних і взаємодіючих між собою моделей.

Використання єдиної моделі СТС недоцільно й з методичних міркувань. Різні частини системи (підсистеми) вивчені в різному ступені, тому їх математичні описи мають різну точність, а безперервне нагромадження фізичної інформації приводить до систематичного вдосконалювання описів окремих елементів.

При використанні єдиної моделі точність моделювання цілком визначається точністю опису найменш вивчених підсистем, а будь-яка нова інформація вимагає повної переробки моделі.

Зрозуміло, перехід до модульного опису сам по собі не призведе до збільшення точності. Однак у цьому випадку з'являється можливість більш достовірного моделювання, принаймні деяких з підсистем. Зміна уявлень про окремі процеси або елементи системи при модульному описі не вимагає повної переробки моделі й стосується лише окремих її модулів.

Таким чином, ***застосування модульного принципу при описі СТС дозволяє:***

- розв'язати проблему більших обсягів інформації за рахунок розподілу її між окремими блоками моделі;
- «розв'язати» вивчення окремих підсистем між собою, тому що кожний з модулів моделі може бути досліджений у квазі-автономному режимі.

Разом з тим перехід до системи моделей приводить до необхідності дослідження єднальних їхніх взаємодій. Виникає завдання координації підсистем та їх моделей між собою.

Найбільш ефективні результати при описі й вивченні складних систем дає ієрархічний підхід, що передбачає розбивку системи на вертикально супідрядні підсистеми різних рівнів,

розробку модульних моделей кожної з підсистем, введення пріоритетів (тобто права переваги) для підсистем старших рівнів стосовно підсистем молодших рівнів, відому автономність кожної з підсистем.

Оскільки кожна з підсистем у свою чергу може бути розбита на нові підсистеми, виникає багаторівнева ієрархічна система моделей (рис. 7.3). При ієрархічному описі СТС на верхніх рівнях розглядаються їх загальні характеристики, а на нижніх – характеристики окремих вузлів і елементів.

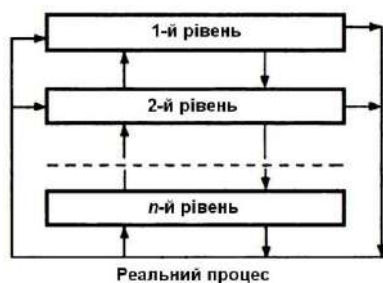


Рисунок 7.3 – Рівні ієрархічного опису СТС

Очевидно, вивчення СТС на кожному з рівнів вимагає специфічних знань і методів і найчастіше ведеться фахівцями різного профілю. На кожному рівні опису вводиться свій набір змінних, принципів і представлень, що дозволяє в значній мірі обмежитися вивченням тільки цього рівня. При цьому спостерігається відома асиметрія представлень.

Розуміння фізичних процесів і точність опису об'єкта ростуть із переходом до нижніх рівнів ієрархії. Загальні ж цілі й завдання функціонування системи, її місце в матеріальному світі більш повно розкриваються на верхніх рівнях.

При дослідженні динамічних процесів експериментально-аналітичні моделі є ефективним засобом для прогнозування ряду важливих з погляду надійності характеристик СТС. У міру нагромадження експериментальних даних точність моделювання підвищується. Щодо цього можливості експериментально-аналітичних моделей майже безмежні.

Питання для самоперевірки

1. Коли і де застосовується математичне моделювання?
2. Яка кінцева мета математичного моделювання?
3. Які задачі вирішуються методами моделювання?
4. Коли застосовується напівнатурне моделювання?
5. Для чого потрібно фізичне моделювання?

6. З чого починається моделювання?
7. Розкажіть процес проведення випробувань за допомогою моделей.
8. Де і для яких цілей використовуються результати моделювання?
9. Які вимоги пред'являються до фізичної моделі?
10. Що необхідно враховувати при аналізі результатів випробувань фізичних моделей?
11. Що необхідно враховувати при математичному моделюванні?
12. В чому може полягати недолік математичних моделей?
13. Що таке символічна модель?
14. Як підрозділяються математичні моделі?

8 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Напрямки інженерних експериментальних досліджень і випробувань визначаються напрямком наукових досліджень наукової школи.

Випробування машин – це різновид експериментального наукового дослідження, що дозволяє вивчити якісно й оцінити кількісно нові або вдосконалені машини без зміни їх конструкційних параметрів у тих виробничих умовах, для яких вони створені.

Експериментальні дослідження на відміну від випробувань проводяться з метою зміни конструктивних параметрів машини залежно від їхнього призначення й застосування. Надалі ми будемо користуватися терміном дослідження.

У процесі їх проведення дослідник одержує інформацію про фізичні процеси, що протікають при роботі технічної системи при різних умовах експлуатації у відносно короткий термін з наступною їхньою перевіркою на відтворюваність і обґрунтованість.

Але, при організації проведення, наприклад, випробувань сільськогосподарської техніки, необхідно враховувати особливості структури й умов протікання робочих процесів та їх елементів, до основних особливостей яких можуть бути віднесені їхня статистична сутність і різна залежність фізичної природи.

Будь-яке дослідження сприяє вдосконаленню технічного й технологічного стану технічної системи та її переходу на більш високий рівень.

У методології науки виділяють два рівні пізнання – емпіричний і теоретичний. При емпіричному рівні опираються на спостереження, експеримент, групування, класифікацію й наступний аналіз результатів експерименту. При теоретичному рівні розглядаються побудова й розвиток наукових гіпотез і теорій.

Однак, організація проведення випробувань і експериментальних досліджень заснована на виконанні логічно взаємозалежних етапів робіт зміст яких наведено нижче.

До них відносяться:

- визначення об'єкта й предмета досліджень;
- постановка мети досліджень;
- розробка теоретичних основ, і допущень;
- виявлення значимих факторів, що впливають на предмет дослідження;
- визначення границь дослідження;
- розробка методики проведення досліджень;
- вибір способу проведення випробувань (модельний або натурний);
- розробка плану проведення досліджень;
- розробка експериментальної або іспитової установки;
- необхідні технічні засоби для проведення досліджень;
- обґрунтування ступеня точності вимірів і припустимих погрешностей;
- проведення досліджень;
- аналіз і обробка отриманих результатів;
- побудова висновків і рекомендацій.

У дослідницькій роботі методи, прийоми, самі об'єкти досліджень та їх терміни творчої роботи змінюються дуже часто.

Найбільш раціональними варіантами організації експериментів і досліджень можуть бути:

- порівняльна оцінка декількох об'єктів у задалегідь встановлених оптимальних режимах для: вибору й обґрунтування оптимальних параметрів машин і їх робочих органів; регулювання встановлених режимів роботи;
- експеримент для виявлення механізму явищ при якому розкривається фізична структура (модель процесу).

Для забезпечення сучасного технічного рівня й конкурентоспроможності техніки й технологій, які розробляються й впроваджуються у виробництво, необхідна їхня інтенсифікація в плані проведення патентних досліджень на всіх етапах виконання цих наукових праць.

Патентні дослідження є основою для правильного вибору напрямку, у якому необхідно вести пошук оригінальних

розв'язків науково-технічних завдань.

Порядок виконання таких робіт регламентований ГОСТ 33575-97. Він включає визначення предмета пошуку, країн для пошуку інформації, видів інформаційних джерел, класифікації предметів пошуку, необхідної глибини пошуку по країнах і джерелах інформації й складання відповідного документа у вигляді звіту про патентний пошук.

8.1 Експериментальні дослідження

Розв'язок більшості проблем при проведенні наукових досліджень пов'язаний зі складними й дорогими експериментами.

Метою експерименту є:

- необхідність перевірки теоретичних висновків;
- визначення нових властивостей об'єкта, його параметрів, процесів або явищ;
- якісна й кількісна оцінка досліджуваної технічної системи.

Класифікація експериментальних досліджень проводиться за наступними показниками.

По методах і результатах дослідження, експерименти діляться на:

- якісні, коли визначають виконання технологічного процесу роботи технічної системи;
- кількісні, коли визначають експлуатаційно-технологічні показники.

За структурою (способу проведення) експерименти бувають:

- натурні, які проводять у реальних умовах;
- модельні, проведені на моделі.

По ступеню дії факторів:

- факторні, коли виявляється вплив значимих факторів;
- функціональні, коли виявляються функціональні залежності між самими значимими факторами.

Ефективність досліджень досягається правильним плануванням експерименту, використанням сучасних методів їх проведення, правильного аналізу отриманих результатів, застосуванням сучасних засобів обробки значень досліджуваних параметрів. Також, для одержання чисельних значень параметрів,

що характеризують властивості об'єктів досліджень, застосовують різні вимірювальні засоби, прилади й апаратуру.

Бажано перевагу віддавати натурним дослідженням у реальних умовах експлуатації на спеціальних стендах, лабораторних установках, полігонах. Це дозволить урахувати різнобічність умов роботи технічної системи й дотримуватися специфічних вимог до приладів і технічних засобів, які застосовуються.

Важливим документом, при проведенні експериментальних досліджень є програма проведення експерименту й методика. Програма наукових досліджень визначається завданнями проведення експерименту. Обов'язковими пунктами програми проведення експерименту є тема й ціль досліджень, а також очікувані результати й можливість їх практичного використання.

Методика експерименту – це сукупність, або система способів, прийомів, які визначають порядок його підготовки режими досліджуваного об'єкта, послідовність визначення й алгоритм обробки отриманих даних.

При плануванні експерименту невід'ємною умовою є складання плану проведення експерименту, який у відмінності від програми досліджень більш конкретизований у частині організаційних питань.

У ньому вказуються виконавці й функції кожного з них, строки виконання, форми звітності, кількість основних і контрольних дослідів, опис ходу проведення експерименту і т.п.

Методи планування експерименту дозволяють розрахувати координати й кількість експериментальних точок у факторному просторі таким чином, щоб кількість дослідів, які необхідні для побудови математичної моделі, була мінімальною, а сама модель мала б свідомо задані властивості.

У силу різноманіття впливу різних факторів на ефективну роботу технічної системи необхідно виявити серед них значимі. Вибір значимих факторів визначають три види оцінки технологічних і виробничих процесів при випробуваннях:

- мікрорівень, характерний для систем типу робочий орган – матеріал обробки, механізм-машина в яких вивчається взаємодія робочих органів з матеріалом обробки й зовнішнім середовищем, взаємодія механізмів

- і елементів устаткування;
- макрорівень, характерний для систем типу «машина – зовнішнє середовище»;
- мегарівень – для систем типу «комплекси машин – зовнішнє середовище»;

Для мікрорівня застосовують різні технологічні, кінематичні, енергосилові та інші подібні характеристики, що описують динамічні співвідношення між вхідними й вихідними величинами експерименту.

У двох інших випадках використовуються такі критерії ефективності, як продуктивність, надійність машин, укрупнення технологічних показників якості, вартості зробленої продукції і т.п.

Точність і надійність отриманої при випробуваннях інформації залежить від однорідності умов (однакових умов) проведення досліджень, кількості експериментальних досліджень, числа вимірів досліджуваних величин і різних видів погрішностей, які виникають при вимірах.

Структура й властивості зовнішніх умов, а також техніка експерименту вводять серйозні обмеження на тривалість експерименту, припустиму розмірність розв'язуваних в одній серії дослідів завдань, точність визначення заданих показників.

При плануванні дослідів необхідно враховувати природні характеристики місця й проміжку часу, у яких проходять випробування. Наприклад, зміни температури середовища та інших природних факторів повинні враховуватися при плануванні й організації експерименту.

8.2 Планування експерименту

При розробці теоретичних основ проведення експерименту необхідно обґрунтувати вихідні показники й врахувати вхідні фактори, які визначають протікання самого процесу. При цьому необхідно враховувати те, що статистична сутність робочих процесів проявляється у формуванні величин, які характеризують якість виконання процесу, наприклад, характеристикою якості розподілу насіння є інтервал між ним і т.п.

Робота реальних конструкцій пов'язана із впливом великої кількості факторів, які необхідно враховувати при проведенні

будь-яких видів експериментів.

Довгий час порядок проведення експериментів цілком визначався особистим досвідом і інтуїцією дослідників. Перші спроби застосувати математичні методи для оптимального планування експерименту були зроблені Р. Фішером на початку 20-х років минулого сторіччя.

Особливо швидкими темпами теорія планування експерименту стала розвиватися після 1951 року з появою робіт Д. Бокса й К. Уілсона. Величезний внесок у розвиток методів оптимального планування експерименту внесений вітчизняними вченими В.В. Налімовим, Ю.П. Адлером, Г.К. Кругом, Е.В. Марковим, В.Г. Горським та ін.

Методи оптимального планування експерименту дозволяють використовувати математичний апарат не тільки на стадії обробки результатів і вимірів, як було раніше, але також і при підготовці й проведенні дослідів. Діяльність дослідників, що користуються цими методами, повинна бути логічно впорядкованою.

Розглянуті в цій лекції методи планування експериментів дозволяють використовувати їх не тільки при підготовці до проведення досліджень, але й при обробці результатів експерименту.

Ціль даної лекції – викласти в доступній формі основні методи планування експерименту. Для цього не потрібно спеціальної математичної підготовки, а розібрані приклади дозволять зрозуміти на більш глибокому рівні сутність застосовуваних методів планування експерименту.

У теорії оптимального планування експерименту, як було сказано вище, для вивчення механізмів складних процесів, що протікають у системі, існують два основні напрямки:

- планування експерименту для вивчення фізичних процесів, що протікають у багатокомпонентній системі;
- планування експерименту для оптимізації технологічних процесів багатокомпонентних систем.

Для простоти викладення матеріалу надалі, скористаймося наступними термінами й визначеннями.

Система – сукупність ознак, що характеризують те або інша подія. Системи бувають: механічні, технічні, економічні,

медичні, хімічні, технологічні, віртуальні та ін.

Зміна ознак у системі залежить від змінних величин, які називають факторами. Ними можуть бути, наприклад, температура, тиск, властивості ґрунтів (об'єктів розробки), состав і компоненти різних сумішей, показники економіки та ін. Фактори позначають буквами x_1, x_2, \dots, x_n .

Фактори бувають взаємозалежні й незв'язані.

Досліджування протікання процесу в системі, на яку впливають фактори, називають функціями відгуку й позначають буквами y_1, y_2, \dots, y_m . Функції відгуку, залежно від факторів, що впливають, являють собою функціонал виду:

$$y_j = y_j(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (8.1)$$

де $j = 1, 2, \dots, m$.

Координатний простір, по осях яких відкладені фактори, називаються **факторним простором**. Якщо число факторів, що впливають, більше двох, то для зображення поверхні відгуку користуються її двовимірними перетинами.

Математичні моделі, одержувані за допомогою методів планування експерименту, називаються **експериментально статистичними** або **емпіричними**.

Матеріал, викладений нижче, являє собою своєрідний алгоритм планування експериментальних досліджень.

Після виявлення значимих факторів (їх число для застосування даного методу планування не повинне бути більш п'яти) визначають число експериментальних досліджень по залежності:

$$N = 2^P, \quad (8.2)$$

де P – число факторів.

Далі, на основі теорії комбінаторики складається матриця планування експерименту. Нижче приведемо матрицю планування для двохфакторного експерименту, тобто для $P = 2$. Число дослідів $N = 2^2 = 4$ (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 – Матриця планування двохфакторного експерименту

№ досліду, N	Фактори ^{*)}		Функції відгуку у _j
1	+1	+1	у ₁
2	+1	-1	у ₂
3	-1	+1	у ₃
4	-1	-1	у ₄
*) В матриці планування значенню «+1» відповідає максимальна величина досліджуваного фактору, а значенню «-1» – мінімальна величина досліджуваного фактору			

Середнє значення фактора дорівнює:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2}, \quad (8.3)$$

Число експериментів можна скоротити методом відсівання несуттєвих факторів, проводячи при цьому відсіваючі експерименти. Відсіваючі експерименти рекомендується проводити у вигляді випадкових вибірок з повного факторного експерименту.

Далі проводять досліді відповідно до матриці планування. Для перевірки відтворюваності дослідів користуються критерієм Кохрена. Для цього по кожному з N дослідів проводять кілька серій паралельних дослідів k в розглянутій області зміни впливових факторів, проведених при однакових умовах.

Число паралельних дослідів ухвалюється рівним 4...5. Перевірка відтворюваності дослідів оцінюється за критерієм Кохрена по формулі:

$$G_p = \frac{\max S_i^2}{\sum S_i^2} \leq G, \quad (8.4)$$

де $\max S_i^2$ - максимальна величина дисперсії серії паралельних дослідів;

$\sum S_i^2$ – сума оцінок дисперсій кожного з дослідів;

G_p та G – розрахункове й табличне значення критерію Кохрена, який є функцією загальної кількості експериментальних досліджень N, рівня значимості $\alpha = 1 - p$ і числа ступенів волі:

$$f = k - 1, \quad (8.5)$$

де p – довірна ймовірність із якої ухвалюється гіпотеза про відтворюваність дослідів.

Табличне значення критерію Кохрена вибираємо по таблиці у відповідній довідковій літературі (рівень значимості дорівнює 0,95).

Виконання умови (8.4) свідчить про відтворюваність дослідів й про однорідність оцінок дисперсій. Для кожної серії паралельних дослідів будується додаткова таблиця.

Оцінку дисперсії для кожної паралельної серії дослідів визначаємо по залежності:

$$S_i^2 = \frac{1}{k-1} \sum (y_{ij} - \bar{y}_i)^2, \quad (8.6)$$

Середнє арифметичне значення функції відгуку, обумовлене для кожної серії паралельних дослідів.

$$\bar{y}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (8.7)$$

Якщо за результатами обчислень дослідів невідтворні, тоді необхідно встановити:

- причину нестабільності експерименту;
- використовувати більш точні методи й засоби вимірів.

З метою зменшення впливу систематичних погрешностей, які вносяться неоднорідністю умов проведення дослідів, необхідно попередньо провести апріорну характеристику фактичної інформації про вплив побічних факторів (температура, вологість і т.п.), які повинні залишатися постійними, на роботу технічної системи.

Для усунення можливих впливів на результат експерименту різниці в часі його проведення рекомендується застосовувати випадкову процедуру рандомізації по методу випадкових чисел.

Наприклад, для виконання плану натурального експерименту, доцільно провести два блоки експериментів в 1-ій і 2-ій половині дня.

Будь-які експериментальні дослідження вимагають проведення оцінки їх погрішності, які оцінюють по оцінці дисперсії середнього й по оцінці дисперсії відтворюваності.

Оцінка дисперсії відтворюваності є оцінкою однорідних дисперсій серії паралельних дослідів і визначається по формулі:

$$S_y^2 = \frac{\sum S_i^2}{N} \quad (8.8)$$

З нею зв'язане число ступенів волі

$$f = N(k-1), \quad (8.9)$$

Оцінку дисперсії середнього значення розраховують по формулі:

$$S_y^2 = \frac{S_y^2}{k}, \quad (8.10)$$

Коефіцієнт варіації дорівнює:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}}, \quad (8.11)$$

Середньоквадратичне відхилення величин експериментальних даних визначимо по формулі:

$$\sigma = \sqrt{S_y^2}, \quad (8.12)$$

Коефіцієнт варіації рівний:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{y}_i}, \quad (8.13)$$

Величину відносної помилки визначимо по залежності:

$$\varepsilon = \frac{y_{\max} - \bar{y}}{y_{\max}}. \quad (8.14)$$

За отриманими результатами експерименту, становлять рівняння регресії, що дозволяють визначити зв'язок факторів, що впливають на процес (функцію відгуку). Отримані залежності

дозволяють провести не тільки кількісну, але і якісну оцінку досліджуваних величин.

Рівняння регресії в загальному виді представлено у вигляді залежності:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{12}X_1X_2 + \dots + b_{(n-1)n}X_{(n-1)}X_n, \quad (8.15)$$

де коефіцієнти рівняння регресії b визначаються залежністю

$$b_0 = \frac{\sum y_i}{N}, \quad (8.16)$$

$$b_i = \frac{\sum X_{ji}y_i}{N}, \quad (8.17)$$

$$b_{im} = \frac{\sum X_{ji}X_{im}y_i}{N}, \quad (8.18)$$

Оцінка значимості коефіцієнтів, що входять у рівняння регресії, проводилася за критерієм Стьюдента згідно залежності:

$$|b| > S_b t, \quad (8.19)$$

де t – критерій Стьюдента, обумовлений по числу ступенів волі $f = N - 1$ і рівню значимості $\alpha = 1 - p$ (при довірчій імовірності 0,05);

Оцінку дисперсії визначаємо по формулі

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{N}, \quad (8.20)$$

Якщо отримані коефіцієнти рівняння регресії не відповідають умові (1.16), то вони вважаються незначущими й ними зневажають.

Рівняння регресії (1.12) слід перевірити на адекватність за критерієм Фішера, який являє собою наступне відношення:

$$F_p = \frac{\max S_y^2}{\min S_y^2}, \quad (8.21)$$

У чисельнику вираження (1.18) перебуває більша, а в знаменнику – менша із зазначених оцінок дисперсій.

При цьому рівняння регресії вважається адекватним, якщо виконується умова:

$$F_p \leq F, \quad (8.22)$$

де F – табличне значення критерію Фішера, обумовлене числом ступенів волі $f_1 = N - 1$ і $f_2 = N - B$. Тут B – число коефіцієнтів рівняння регресії, включаючи й вільний член.

Питання для самоперевірки

1. Для чого застосовується випробування машин?
2. Чим визначаються напрямки досліджень складних технічних систем?
3. Які два рівні пізнання виділяють у методології наукових досліджень?
4. Назвіть основні етапи робіт при проведенні випробувань та експериментальних досліджень.
5. Які раціональні варіанти організації експериментальних досліджень ви можете назвати?
6. Що є метою експерименту?
7. Як класифікуються експериментальні дослідження?
8. Що таке методика експерименту?
9. Навіщо потрібне планування експерименту?
10. Що таке факторний простір?
11. Як визначають кількість експериментальних досліджень?
12. Як оцінюється відтворюваність експериментальних дослідів?

9 ВИПРОБУВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Випробування є єдиним джерелом майже всіх достовірних відомостей про властивості і якість складних технічних систем, представниками яких є колісні та гусеничні машини, на всьому протязі їх життєвого циклу – від розробки проектів і до закінчення терміну служби. Випробування служать підставою вдосконалювання конструкції машин, технології їх виготовлення, планування постачання запасними частинами, технічного обслуговування в експлуатації.

При створенні нових і модернізації машин що випускаються, при організації технічної експлуатації діючого парку, за результатами випробувань оцінюють техніко-економічні показники їх функціонування в різних умовах. Необхідна інформація береться, насамперед, з відомостей про фактичний стан, поведінку, властивості конструкції в певних умовах її функціонування. Таку інформацію можна одержати тільки при випробуваннях.

Кожний об'єкт техніки, що надходить на випробування, по суті, представляється як інформаційна «заготовка» для обробки шляхом випробувань, продуктом яких є оцінка фактичних параметрів, характеристик, властивостей або станів об'єкта. Вивчення, науково-технічне обґрунтування й застосування операцій і методів одержання такої інформації й становить сутність випробувань.

9.1 Види випробувань

Види випробувань колісних і гусеничних машин класифікуються по таких ознаках, як: ціль випробувань, рівень проведення, періодичність, номенклатура оцінюваних властивостей, тривалість і ступінь інтенсифікації, застосовуване встаткування, місце проведення й види зовнішнього впливу.

Сукупність випробувань на різних етапах життєвого циклу конструкції – розробки, виробництва, експлуатації – становить систему випробувань. Усі види випробувань можуть бути: нормальними, прискореними, форсованими, скороченими залежно від складних вимог до строків і вартості їх проведення.

Вони включають стендові дослідження агрегатів і повнокомплектних машин, лабораторні й полігонні (польові) випробування на спеціальному устаткуванні й спорудженнях. Відповідно до встановлених при їхній організації цілей, допускається сполучення випробувань різних видів (категорій), наприклад, доводочних з попередніми, кваліфікаційних із приймальними й т.п.

9.2 Стендові випробування

Випробування на стендах відрізняються від інших видів випробувань (полігонних, польових, експлуатаційних) високою стабільністю заданих й підтримуваних впливаючих факторів (умов навантаження, температури, вологості, запиленості) точністю їх регулювання, можливостями поглиблених спостережень за робочими процесами, у тому числі й у важкодоступних зонах, підвищеною точністю виміру й реєстрації параметрів. На стендах може бути отримана інформація, яку не можуть дати ніякі інші випробування, наприклад, показники міцності деталей, індикаторна потужність та ін.

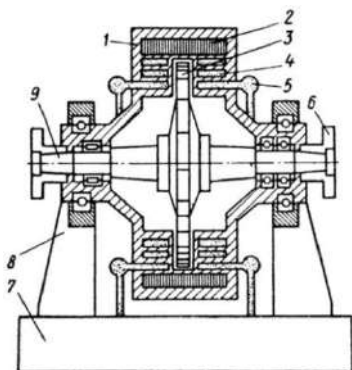
Стендові випробування класифікуються по різних ознаках і в основному розділяються на наступні групи:

- випробування окремих деталей, вузлів і агрегатів;
- випробування повнокомплектних машин;
- випробування окремих деталей, вузлів і агрегатів на повнокомплектній машині (або її частини), установленій на стенді;
- випробування статичні й динамічні;
- випробування з руйнуванням і без руйнування;
- на універсальних або унікальних стендових установках.

Випробування двигунів проводяться на стендах з гідравлічними, електричними або індукторними гальмовими установками (рис. 9.1 і 9.2). При стендових випробуваннях двигунів визначаються наступні показники.

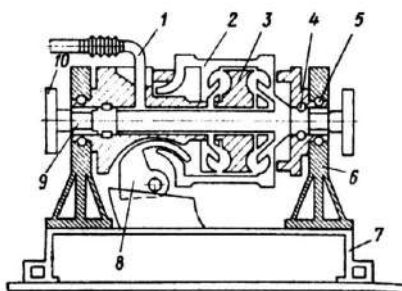
Робочі показники при регулюваннях і комплектації, зазначені заводом-виготовлювачем. За результатами випробувань визначаються: характеристики індикаторної потужності, швидкісні характеристики ефективної потужності – зовнішня характеристика з регуляторною гілкою, характеристики

примусового холостого ходу та механічних втрат, навантажувальні характеристики, витрати палива при постійних частотах обертання колінчатого вала, а також при заданих законах зміни частоти й навантаження.



1 – статор; 2 – котушка збудження; 3 – ротор;
4 – система охолодження;
5 – трубопроводи системи охолодження; 6 – сполучний фланець; 7 – основа;
8 – стійка; 9 – вал ротора

Рисунок 9.1 – Схема індукторного гальма



1 – водопровідна магістраль;
2 – ротор; 3 – статор; 4, 5 – підшипник; 6 – стійки; 7 – плита основи;
8 – зливальний вентиль;
9 – вал гальма

Рисунок 9.2 – Схема гідравлічного лопатевого гальма

Граничні показники потужності й крутного моменту двигуна при зміні параметрів і регулювань системи живлення, газорозподілу, запалювання й заводських допусків на їхнє виготовлення.

Детонаційні характеристики.

Надійність, включаючи безвідмовність, зносостійкість.

Токсичність і димність.

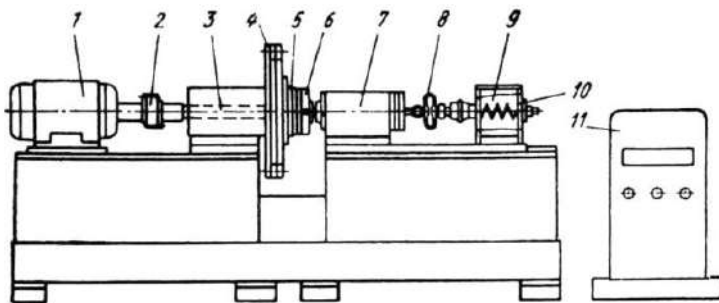
Гучність і вібрації.

При випробуваннях на стенді з електричним приводом реверсивної дії можна оцінити роботу двигуна в режимах примусового холостого ходу, визначити механічні втрати в

ньому, здійснити пуск без стартера, провести холодне приробляння після складання.

Стендові випробування трансмісій, крім перевірки на функціонування, включають визначення статичної міцності, твердості, довговічності, внутрішніх енергетичних втрат, шуму й вібрації, температурних характеристик, спеціальних показників роботи вузлів і агрегатів. У більшості випадків випробування проводяться на універсальних стендах для оцінки одночасно декількох показників. Для випробувань окремих вузлів і механізмів трансмісії використовуються стенди прямого навантаження, із замкненим контуром, з динамічним навантаженням, з навантаженням від махових мас.

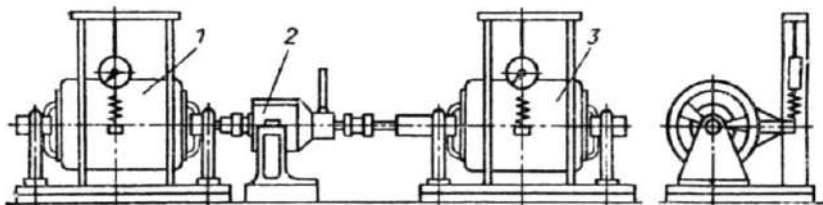
Випробування зчеплень включають визначення моменту тертя, коефіцієнта надійності при підвищених частотах обертання, термостійкості фрикційних накладок, дослідження балансування, характеристик демпфера крутильних коливань, надійності механізмів включення, натискних пружин, зносостійкості фрикційних накладок, їх намокання у воді й маслі, деяких інших властивостей. Програми комплексних випробувань передбачають циклічну повторюваність процесів включення й вимикання зчеплень із різними режимами на іспитовому стенді (рис. 9.3).



1 – електродвигун, 2 – муфта, 3- вал, 4 – маховик з інерційними масами, 5- диск зчеплення, 6 – натискний диск, 7 – вимірювач крутного моменту, 8 – динамометр натискного пристрою, 9 – натискний пристрій, 10 – механізм вимикання натискного пристрою, 11 – блок автоматичного управління стендом

Рисунок 9.3 – Схема стенда для випробувань дисків зчеплення

Випробування механічних коробок передач здійснюються на спеціальних стендах (рис. 9.4), регламентуються галузевими стандартами або ТУ й включають: визначення статичної міцності (по навантаженнях, що руйнують найбільш слабку ланку), установлення величини й положення плям контактів зубів шестерень усіх передач під навантаженням, побудова температурної характеристики (за часом безперервної роботи в режимі максимальної потужності двигуна), оцінку рівня вібрації й шуму, якості роботи синхронізаторів і механізму керування, коефіцієнта корисного дії (ККД).



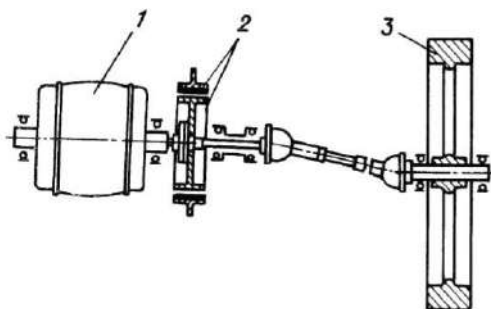
1- електродвигун, 2- коробка передач, 3- гальмівний пристрій

Рисунок 9.4 – Схема стенда для випробувань коробок передач

При випробуваннях надійності коробок передач визначають довговічність шестерень (по згинній і контактній утомі зубів), підшипників кочення (по контактній утомі й зношуванню), підшипників ковзання, муфт перемикання передач (синхронізаторів, торцевих поверхонь зубів шестерень), сальників, картера коробки передач. Досліджується вплив різних конструктивних і технологічних факторів на роботу коробки передач і її механізмів.

При випробуваннях автоматичних коробок передач додатково досліджуються: залежність моменту перемикання від швидкості руху машини й навантаження на відомому валу, характеристики керуючих систем, моменти тертя в гальмах і фрикціонах коробки.

Стендові випробування карданних передач (рис. 9.5) починають із визначення міцності під статичним навантаженням крутним моментом до руйнування слабкої ланки.



1- електродвигун, 2 – гальмо, 3 – маховик

Рисунок 9.5 – Схема стану для випробування карданних передач

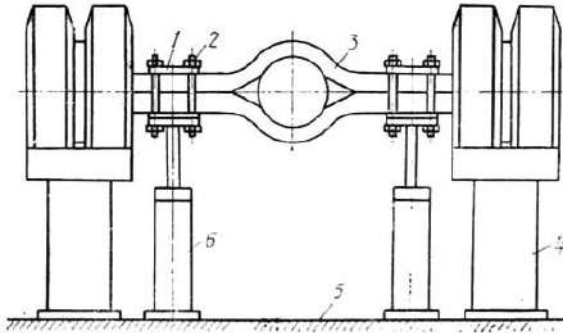
Потім досліджуються вібрації й проводиться балансування при динамічних випробуваннях на спеціальних стандах. Оцінюється критична частота обертання до появи згинаючих коливань, а також ККД передачі. При випробуваннях довговічності карданної передачі програмується зміна навантаження по чотирьом параметрам: крутному моменту, частоті обертання, куту між валами, осьовому переміщенню в шлицевому з'єднанні.

Ведучі мости випробовують на стандах (рис. 9.6) у зборі й поелементно основні їхні вузли: головну передачу, диференціал, півосі, балку, поворотні кулаки (керованих ведучих мостів повнопривідних машин). Методично випробування ведучих мостів схожі з випробуваннями коробок передач.

При випробуваннях статичної міцності й твердості ведучих мостів дотримується схема навантаження, відповідна до додавання вертикальних навантажень від ресор або несучої системи (при безресорній підвісці). При динамічних випробуваннях визначають ККД ведучого мосту, коефіцієнт блокування диференціалу, довговічність зубів шестерень головної передачі, підшипників, деталей диференціала, сальників і ущільнень, півосей і балки.

Довговічність півосей визначають на стандах циклічного знакозмінного навантаження крутним моментом по програмах, що включають блоки низько- і високочастотних навантажень зі

східчастою зміною амплітуди.



- 1 – кріпильна плита, 2 – шпильки, 3 – міст автомобіля,
4- опорні стійки, 5 – плита фундаменту,
6 – навантажувальні гідравлічні циліндри

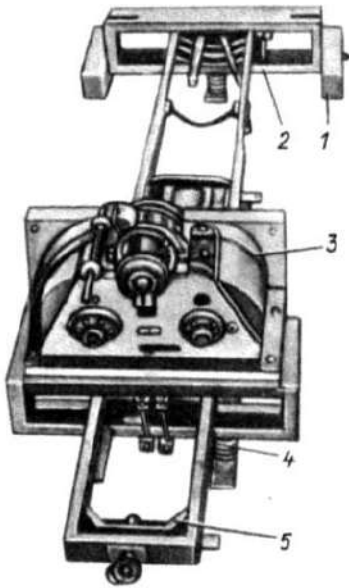
Рисунок 9.6 – Схема для випробувань несучих деталей
ведучих мостів та осей автомобілів

Випробування несучих систем, рам, кузовів и кабін проводяться на стендах (рис. 9.7) статичного й динамічного навантаження роздільно або спільно в різній комплектації, а також на машині, встановленої на стенді. Ціль статичних випробувань несучих систем – перевірка міцності й твердості.

При цьому виявляються ослаблена або перевантажена ділянки й з'єднання, деформації під дією встановлюваних агрегатів і вантажу, різних видів зовнішнього навантаження.

Переважно при випробуваннях використовується два види навантаження:

- вигин у вертикальному напрямку під дією сил, прикладених у місцях реального впливу (опори ресор, двигуна, кабінки, кузова та інших агрегатів) з перевантаженням, наприклад, для легкових автомобілів в 2-2,5 рази, для вантажних 2,5-4 рази;
- закручування моментом, відповідним до граничного перекошу при подоланні екстремальних перешкод, наприклад, відповідному до вивішування одного з коліс автомобіля.



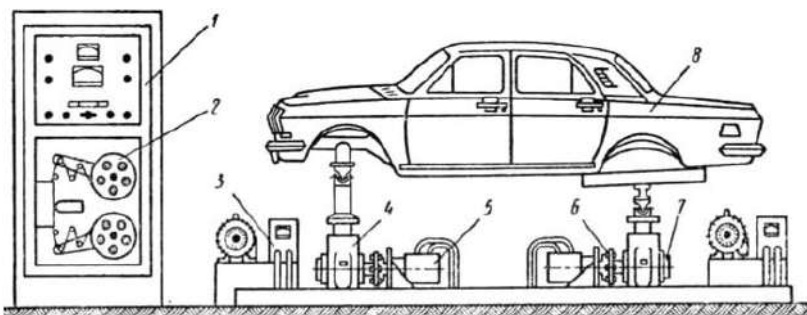
- 1 – інерційні вантажі;
- 2 – кріпильна рама інерційних вантажів;
- 3 – вібратори;
- 4 – пружинні опори;
- 5 – випробовувана рама

Рисунок 9.7 – Стенд для випробувань на утому рам при крутінні

Напруги в будь-якому перетині елементів конструкції при цих випробуваннях не повинні перевищувати границі текучості матеріала, а деформації – припустимих величин для збереження зазорів між силовими елементами, у дверних і віконних прорізах, інших показників форм і допусків на геометричні розміри, передбачених конструкторсько-технологічною документацією. Важливим завданням статичних стендових випробувань є вивчення напруженого стану всіх елементів несучої системи під навантаженням шляхом, наприклад, тензометрування в багатьох точках, результати якого служать підставою істотного скорочення обсягів вимірів при наступних динамічних випробуваннях.

На стендах з динамічним навантаженням оцінюється довговічність конструкції (рам, кузовів, кабін) в цілому (рис. 9.8, 9.9), їхніх частин (наприклад, лонжеронів рами) і окремих вузлів (рис. 9.10 – 9.12).

Динамічні стендові випробування кузовів, кабін і комплектних машин є основним способом оцінки пасивної безпеки. При цьому імітуються перекидання, лобове зіткнення, наїзди позаду або збоку. Використовуються стенди, що здійснюють розгін випробованого об'єкта і його наїзд із заданою швидкістю на масивну перешкоду (рис. 9.13, 9.14) під різними кутами (стенди-катапульти), а також стенди з масивним маятником (копрові стенди) для ударних навантажень у певні місця конструкції.



- 1 – АСУ; 2 – пристрій що задає циклічні навантаження;
 3 – насосна станція гідросистеми;
 4 – кривошипно-шатунний навантажувач; 5 – гідромотор;
 6 – сполучна муфта; 7 – контрольний пристрій зворотного зв'язку;
 8 – кузов автомобіля

Рисунок 9.8 – Стенд для випробування автомобільних кузовів на утому



Рисунок 9.9 – Процес випробування жорсткості автомобільного кузова



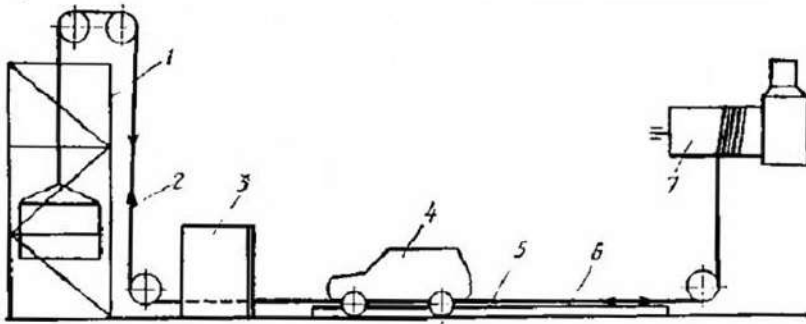
Рисунок 9.10 – Процес випробування окремих деталей автомобільного кузова



Рисунок 9.11 – Перевірка геометрії кузова на вимірювальному стенді



Рисунок 9.12 – Додаткова перевірка зазорів кузова



1 – вишка; 2 – вантаж; 3 – перешкода; 4 – випробовуваний автомобіль;
5 – тяговий трос лебідки; 6 – напрямна рейка; 7 – лебідка

Рисунок 9.13 – Принципова схема станда для випробувань автомобілів на фронтальний удар

Наприклад, удар попереду по верхньому куту кабіни імітує падіння машини з укосу, удар збоку по верхньому куту кабіни імітує перекидання машини в кювет, удар по задній стінці – вплив незакріпленого вантажу при різкій зупинці. Схожими методами випробовуються на стандах силові каркаси кузовів, бампери, оперення.



Рисунок 9.14 – Процес випробування автомобіля на фронтальний удар

Застосовується також динамічне локальне навантаження на окремих ділянках конструкції за допомогою різних вібраторів спрямованого впливу для оцінки частоти власних коливань і частотних резонансів окремих деталей і зчленувань.

Стендові випробування підвіски включають визначення характеристик пружності при вертикальних і поперечнокутових деформаціях (рис. 9.15). Випробування окремих елементів і деталей включають також оцінку надійності.



Рисунок 9.15 – Стенд для випробування підвіски автомобіля

Дослідження пружності підвіски з торсіонами, листовими ресорами й пружинами (у цілому й поелементно) обмежуються звичайно статичним навантаженням. Пневматичні й гідропневматичні ресори випробовуються на стендах як при квазістатичному (повільному) стиску при різних початкових тисках пружного середовища, так і в режимі динамічного навантаження за гармонійним законом з різною частотою.

Амортизатори випробовують на стендах для визначення залежності сили опору від швидкості переміщення поршня. При контрольних і приймальних випробуваннях амортизаторів визначаються герметичність, гучність, плавність роботи. Перевіряється також стабільність робочої діаграми й оцінюється залежність енергії, що поглинається, за цикл стиску й відбою від температури заповнюючої рідини.

Стендові випробування довговічності, як правило,

проводяться поелементно: випробування ресор, деталей напрямних пристроїв (шарнірів, кронштейнів, кріплень), амортизаторів при динамічних навантаженнях по різних програмах. Випробовуються також комплекти сполучених вузлів, наприклад, листові ресори разом із шарнірами й кронштейнами кріплення до рами. Одержують поширення також стендові випробування з одночасним навантаженням на вигин і крутіння.

Випробування шин на стендах проводяться для визначення геометричних параметрів (радіусів вільного, статичного, динамічного кочення, площі контакту з опорною поверхнею по виступах малюнка протектора, по контуру відбитка), характеристики пружності й демпфірування при навантаженні нормальною, бічною і окружною силами, характеристик бічного уводу, зчіпних властивостей, довговічності (в основному по зношуванню протектора й розшаруванню каркаса).

Переважними при стендових випробуваннях шин є режими кочення, переважно по зовнішніх поверхнях оберткових опорних барабанів. Так вимірювання шуму шин автомобіля проводять в ізолюваній безеховій камері (рис. 9.16).



Рисунок 9.16 – Безехова камера для визначення рівню шуму від шин

Встановлене на автомобіль колесо крутить електромотор, розташований за межами приміщення. Це дозволяє аналізувати звук тільки від шини, не відфільтровуючи шум двигуна, трансмісії та інших джерел. На спеціальних стендах також досліджуються температурні стани, епюри тисків та інші показники робочих процесів шин.



Рисунок 9.17 – Стенд для випробування шин компанії Pirelli

Характеристики пружності й демпфірування визначаються на стендах у режимах квазістатичного й динамічного навантаження.

Масові випробування шин проводяться на шинообкатних верстатах різної конструкції, на яких значно прискорюється настання граничних станів.

Наприклад компанія Pirelli (Італія) має у своєму розпорядженні унікальний стенд, що дозволяє вимірювати більше сотні різних параметрів шини.

Стенд займає кілька поверхів і важить 250 тонн, але на фото (рис. 9.17) показаний тільки важіль із закріпленим на ньому колесом і барабан під ним.

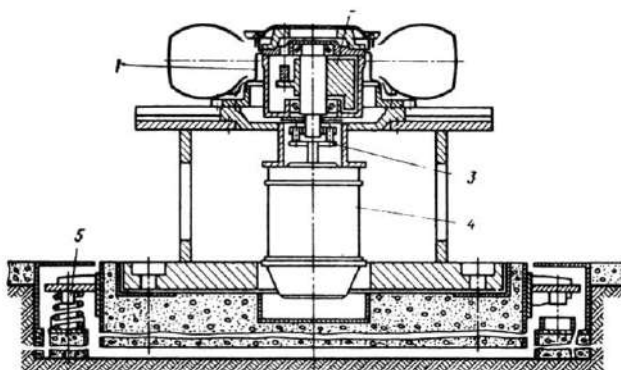
За рахунок рухливих елементів змінюється швидкість кочення, сила притиску, імітуються нахили, повороти, гальмування.

Характеристики знімаються в режимі реального часу. Усе це потрібно, щоб сформувати віртуальну модель шини. Її передають замовникові, який використовує дані при доведення реального

автомобіля. Адже для багатьох спортивних і преміальних машин використовуються шини з особливими характеристиками.

Боковини шин преміальних брендів можуть нести позначення стандартної моделі, але додаткова буква або індекс указує, що конкретно ця шина створена на замовлення одного з автоконцернів і відрізняється від тих, що продаються на вторинному ринку. Для такої продукції в Pirelli є окремий цех дрібних серій, де виготовляються шини для автомобілів Ferrari, Maserati та інших марок преміального рівня.

Колеса й моточини на стендах випробовуються на міцність під дією вертикальної й бічної сил. Під дією цих же сил випробовуються колеса на утому. При цьому колеса монтується на стендах (рис. 9.18) нерухомо, що дає можливість спостереження деформацій що зароджуються і тріщин.



- 1 – колесо з випробуваним диском;
- 2 – навантажувальний вібрмеханізм із незбалансованим вантажем; 3 – вал із пружною муфтою;
- 4 – електродвигун; 5 – пружна основа основного стенда

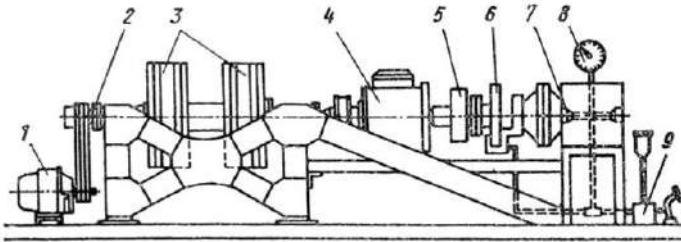
Рисунок 9.18 – Схема стенда для випробувань дисків коліс

Рульове керування випробовується на стендах головним чином на надійність кермових механізмів, а також насосів, силових циліндрів підсилювачів, зносостійкість шарнірів та інших деталей. При стендових випробуваннях кермових механізмів зовнішнє навантаження прикладається до сошки через навантажувальні пристрої різних конструкцій. На стендах

досліджуються також втрати на тертя, КПД кермового механізму, характеристики пружності кермового приводу.

Гальмові механізми випробовують на спеціальних стендах з метою визначення надійності їх роботи й ресурсу. Установка на вал стенда махових мас (рис. 9.19), що імітують вагу автомобіля, яка припадає при гальмуванні на один випробуваний механізм, дозволяє визначати параметри роботи гальмового механізму в умовах, максимально наближених до реальних.

Стендові випробування повнокомплектних транспортних засобів проводять, головним чином, у дослідницьких цілях, ґрунтуючись на принципах руху в системі «рушій – опорна поверхня». Опорною поверхнею в цьому випадку служать обертові круглі котки (барабани). На стендах досліджуються тягово-швидкісні й віброакустичні характеристики, паливна економічність, температурні режими окремих вузлів і агрегатів, особливості взаємодії коліс із опорною поверхнею та інші робочі процеси.



- 1 – електродвигун; 2 – вал; 3 – набір маховиків; 4 – вимірник гальмового моменту; 5 – фланець валу; 6 – випробуваний гальмовий механізм; 7 – пристрій для закріплення супорта; 8 – манометр гідроприводу гальмового механізму; 9 – привод гальмового механізму

Рисунок 9.19 – Схема стенда з інерційними масами для випробування гальмових механізмів

При установці в приводах стендів інерційних мас імітуються перехідні несталі режими руху (розгін, накат). На гальмівних стендах (рис. 9.20) випробовуються гальмові механізми й приводи, оцінюється сумарна гальмова сила, нерівномірність її розподілу по колесах, ефективність стояночних гальм. На стендах

для ходових динамічних випробувань, визначається універсальна характеристика повнокомплектної машини як коливальної системи, що реагує на вплив дорожніх нерівностей.

На барабанних стендах це досягається установкою на робочій поверхні барабана накладок, що утворюють по периметру синусоїдальний профіль. Обертанням барабана з накладками, зона контакту колеса що опирається на нього, зміщається у вертикальному напрямку за гармонійним законом, створюючи кінематичне збурювання коливань машини. Регулюється частота такого збурювання швидкістю обертання барабана, а амплітуда – товщиною накладок. Майже у всіх стендових випробуваннях, особливо динамічних, центральним завданням є формування зовнішнього навантаження конструкції. Використовуване стендове устаткування винятково різноманітне.



Рисунок 9.20 – Автомобіль встановлений на роликівому гальмівному стенді

По призначенню різняться стенди: випробувань окремих деталей (наприклад, карданних валів, хрестовин, поворотних цапф), випробувань вузлів (наприклад, двигунів, зчеплень, коробок передач, гальмових механізмів, гусеничних рушіїв та ін.), випробувань повнокомплектних машин (наприклад, барабанні типу Ридлера або роликіві, з опорною стрічкою).

Різняться стенди по виду впливу що прикладається: на статичні (наприклад, стенд перекидання) і динамічні (наприклад, стенд випробувань рульового керування, на енергію удару, що поглинається при лобовому зіткненні), по типах рушійного або гальмуючого привода (електричні, гідравлічні), по

кількості одночасно фіксованих впливів (наприклад, вигин і крутіння) і по багатьом іншим ознакам. У більшості випадків стенди для випробувань машин є унікальними стендами цільового призначення, і тільки мала їхня частина має типову конструкцію й малосерійний промисловий випуск. В організації випробувань виділяються наступні етапи: планування, проведення, обробка результатів і виробіток висновків та рекомендацій.

9.3 Ходові (натурні) випробування

Лабораторно-дорожні випробування охоплюють завдання дослідної оцінки номінальних параметрів і показників експлуатаційних властивостей в умовах впливу зовнішніх факторів.

Оцінювані показники й властивості можуть визначатися на спеціальних майданчиках і дорогах, обладнаних ділянках місцевості, у басейнах та інших спорудженнях що імітують умови експлуатації. Підготовка до ходових випробувань включає завантаження випробуваної машини передбаченим ТУ вантажем (рис. 9.21), зчленування з робочими знаряддями й підготовленими об'єктами тяги (причепами).



Рисунок 9.21 – Розміщення в багажнику Nissan апаратури для проведення ходових випробувань

Основний зміст найбільш відповідальної й інформативної частини випробувань становить пробіг по заданих дорогах, ділянках місцевості при різних навантаженнях (у тому числі тягової), виконання робочих операцій у заданих умовах і обсязі, а також передбачене технічне обслуговування (рис. 9.22 – 9.24).

Умови випробувань нормуються довжиною пробігу, розбивкою його по типах доріг, режимам руху, обсягами експлуатаційно-технологічних операцій.

9.4 Експлуатаційні випробування

Експлуатаційні випробування розділяються на три основні види:

Експериментальна експлуатація. Проводиться спеціально підготовленим персоналом. При ній здійснюється регулярний контроль і облік наробітку в різних умовах, обсягів виконаних транспортних, вантажно-розвантажувальних робіт відповідно до призначення машини, реєстрація й аналіз відмов, несправностей і перерахування заходів щодо їхнього усунення.

Підконтрольна експлуатація. При ній ураховуються загальні умови функціонування й контролюється стан об'єкта з документальним оформленням необхідних поточних параметрів і відхилень у них із залученням фахівців-випробувачів з метою підвищення вірогідності інформації.

Рядова експлуатація в споживача. При ній можливі відхилення від правил використання й обслуговування, а фахівці-випробувачі для повсякденного спостереження не залучаються, і інформація про результати експлуатації обмежується повідомленнями даних від споживачів.

9.5 Прискорені й форсовані пробігові випробування

Прискорені полігонні випробування дають максимальний ефект. Найбільш тривалою частиною полігонних випробувань є пробігові випробування (з виконанням робочих функцій).

Основним фактором прискорення випробувань на полігоні є посилені режими зовнішніх впливів, формовані в іспитових пробігах на спеціально обладнаних трасах.

Прискорені полігонні випробування без форсування навантаження одержали назву нормальних або рядових.



Рисунок 9.22 – Випробування автомобілів на проходність

В основу планування нормальних пробігових полігонних випробувань лягло дослідження умов роботи машин по призначенню, оцінка й аналіз режимів навантаження агрегатів, вузлів і деталей при експлуатації прототипів і аналогів.



Рисунок 9.23 – Визначення кута підйому



Рисунок 9.24 – Випробування автомобіля на керованість на мокрому асфальті (поперечне аквапланування)

Тому що переважна більшість типів машин має широкий діапазон випадкових режимів навантаження й умов руху, то для відтворення їх на полігоні підбираються типізовані умови експлуатації. Наприклад, для автомобілів загальнотранспортного призначення виділяють режими міських, магістральних і гірських умов перевезення. Для відтворення у такий спосіб типізованих умов на полігоні підбирають комплекс доріг по характерним

ознакам (рівності, спротиву коченню, розподіленню підйомів і спусків) типізованим умовам експлуатації.

9.6 Сертифікаційні випробування

Сертифікація відповідності третьою стороною активно розвивається з кінця 50-х – початку 60-х років ХХ ст. і особливо бурхливо в процесі створення Європейського економічного співтовариства (ЄЕС) і Загального ринку.

Сертифікат – це документ, що має юридичну чинність, посвідчення якості товару, а стосовно до гусеничної й колісної техніки – посвідчення якості механічних транспортних засобів, їх частин, устаткування й причепів. Сукупність показників властивостей виробу утворює показник якості.

Необхідність посвідчення якості того або іншого виробу виникає насамперед у відносинах двох сторін: виготовлювача, постачальника, продавця (перша сторона) і споживача, замовника, покупця (друга сторона).

Підставою посвідчення якості виробу є результати випробувань. Під час їх проведення прагнуть одержати достовірну оцінку властивостей продукції. Сертифікація, як посвідчення якості на основі випробувань, об'єктивно служить підвищенню довіри сторін і угодам їх у відносинах збуту й придбання виробів.

Для виконання завдання сертифікації на підставі консенсусу двох сторін, що брав участь у відносинах виробництва й споживання, утворюється третя (незалежна) сторона (орган сертифікації), висновку якої про якість продукції зізнаються обома сторонами.

Опорним матеріалом служать стандарти й інша нормативна документація, що визнається сторонами, і метрологічне забезпечення випробувань, як втілення досягнутого науково-технічного й технологічного рівня у виготовленні й контролі якості продукції.

Сертифікація розділяється на обов'язкову й добровільну. Обов'язкова сертифікація поширюється на продукцію, на виготовлення якої передбачаються вимоги по безпеці, екологічній чистоті, охороні здоров'я й майна громадян від шкідливих впливів і завдання збитків. Обов'язкова сертифікація

вводиться як неодмінна умова реалізації продукції.

Добровільна сертифікація не передбачає настільки строгої регламентації, організує з ініціативи сторін на умовах договору, переслідує мети кваліфікованого й достовірного оцінювання якості продукції, підвищення довіри до цих оцінок і служить поліпшенню якості, підвищенню конкурентоспроможності виробів.

Обсяг сертифікаційних випробувань визначається, виходячи із установленого в системі переліку технічних вимог до різних механічних транспортних засобів. Звітність при сертифікаційних випробуваннях у Системі сертифікації автомобільної техніки встановлена у формі протоколів з викладом результатів.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть види випробувань.
2. Як класифікуються стендові випробування?
3. Які показники визначають при стендових випробуваннях двигунів?
4. Назвіть показники які визначають при стендових випробуваннях трансмісій.
5. Які процеси включають в себе випробування зчеплень?
6. Як проводяться випробування механічних коробок передач?
7. Які параметри досліджують при випробуванні автоматичних коробок передач?
8. Що досліджують при випробуваннях карданних передач?
9. Як випробовують ведучі мости автомобілів?
10. Які види навантажень використовують для визначення довговічності півосей?
11. Яка мета випробувань несучих систем, кузовів і кабін автомобілів?
12. Розкажіть про випробування кузовів та кабін на пасивну безпеку.
13. Для чого проводять випробування амортизаторів автомобілів?
14. Які параметри визначають при випробуваннях шин та коліс автомобілів?
15. Як проводиться випробування повнокомплектного автомобіля?
16. Що таке ходові випробування?

17. Для чого потрібні експлуатаційні випробування?
18. В чому відмінність прискорених випробувань від стендових?
19. Для чого проводиться сертифікація виробів?
20. Які види сертифікації ви знаєте?
21. Що таке сертифікат?
22. Коли виникає потреба в сертифікації?

10 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Особливе місце при проведенні випробувань і досліджень займають датчики. Вони призначені для збору первинної інформації про контрольовані процеси з наступною їх обробкою. Практично у всіх датчиків, що випускаються промисловістю, вихідний сигнал відрізняється від уніфікованого вихідного сигналу сучасних засобів аналого-цифрового перетворення.

Крім цього датчики різних величин можуть суттєво відрізнятися по своїх вихідних електричних характеристиках, що висуває певні вимоги до відповідних пристроїв нормалізації сигналів: коефіцієнтам перетворення корисного сигналу й придушення перешкод, схемам вхідного ланцюга, вузлам компенсації впливу неінформативних параметрів. Створення пристроїв нормалізації сигналів датчиків вирішується індивідуально для конкретного їхнього типу: датчиків сили, тиску, термопар, напівпровідникових перетворювачів та ін. Не завжди є можливість підключення всіх існуючих датчиків.

Тому велику роль відіграють також окремі функціональні вузли пристроїв нормалізації, що випускаються промисловістю у вигляді конструктивно закінчених приладів: вимірювальні й ізолюючі підсилювачі, перетворювачі «напруга – частота й напруга – струм», оптоелектронні перетворювачі та ін.

Завдяки широкому використанню напівпровідникових матеріалів для створення чутливих елементів датчиків стали широко впроваджуватися, так звані інтегровані структури датчик-пристрій нормалізації, коли датчик і пристрій нормалізації виконуються у вигляді одного кристала або гібридної мікросхеми. Наявність нормалізованого сигналу на виході датчика дозволяє подавати його безпосередньо на вхід стандартного пристрою аналого-цифрового перетворювача.

10.1 Датчики

Мікроелектронні датчики – це напівпровідникові пристрої перетворення фізичних величин в електричні сигнали при

сполученні чутливого елемента зі схемами обробки сигналу. При цьому забезпечується зменшення обсягу обробки інформації й спрощується сполучення датчиків з електронними пристроями.

Класифікація мікроелектронних датчиків.

По конструктивному виконанню вони діляться на три групи: сенсори, що складаються із чутливого елемента (ЧЕ) і перетворювача; інтегральні, що включають у себе ЧЕ й схеми компенсації температури й калібрування вихідного сигналу; інтелектуальні датчики, що містять ЧЕ, схеми термокомпенсації й комплексної обробки сигналу.

За принципом дії й використовуюваного фізичного ефекту бувають магніторезисторні, магнітодіодні, магніотранзисторні, на магнітних доменах, п'єзорезистивні, Холла, тензорезисторні, ємнісні термісторні, п'єзоелектричні, потенціометричні, фоторезисторні, фотодіодні, фототранзисторні, на основі поверхневих акустичних хвиль на приладах із зарядовим зв'язком, волоконно-оптичні, іонно-селективні, сорбційні, піроелектричні, флуоресцентні та ін.

По виду енергії, що впливає на датчики: промениста, механічна, теплова, магнітна, хімічна.

Магнітоелектронні датчики усе ширше застосовують у промисловості й машинобудуванні, для визначення концентрації, складу й змісту газів, тиску, температури, освітленості, вологості, магнітних величин, магнітуд коливань, напружено-деформованого стану, рівня рідини й т.п.

Датчики положення забезпечують інформацією про:

- кутові положення гідро- і електродвигунів, колінчатого вала двигунів внутрішнього згорання, дросельної заслінки та ін.;
- лінійних положеннях штока гідروциліндра, рейки паливного насоса високого тиску дизеля, вильоту стріли телескопічного піднімального крана.

Датчики кутового положення по принципу дії підрозділяються на наступні: зі змінним магнітним опором або індуктивністю; оптичні; потенціометричні; засновані на ефектах Холла або Виганда.

Датчик зі змінним магнітним опором з точністю виміру $\pm 0,5^\circ$ жорстко пов'язаний з верхньою мертвою точкою першого

циліндра двигуна внутрішнього згоряння. Він складається з постійного магніту 1 і котушки 2 (рис. 10.1) і шестеренного колеса. Причому за один оберт шестерного колеса перед чутливою поверхнею проходить лише один спеціальний зуб на якому замикається магнітне поле.

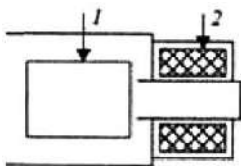
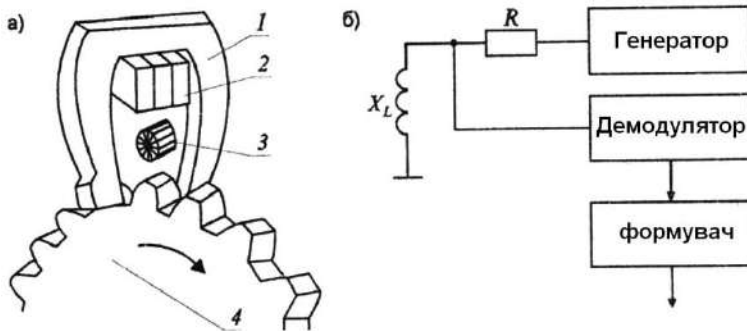


Рисунок 10.1- Позиційний датчик зі змінним магнітним опором

Температурний діапазон їх роботи від мінус 40 до плюс 125°C. Датчик зі змінною індуктивністю (рис. 10.2) працює з точністю кутового позиціонування $\pm 2^\circ$. У ньому магнітний потік, пронизуючи сердечник (тороїд) котушки, змінює його магнітну проникність, модулюючи синусоїдальний сигнал, живлючий котушку.

Датчик працює при обертівому й нерухливому губчатому колесі, що полегшує діагностування. Недолік полягає в чутливості магнітної проникності сердечника до зміни температури, що спричиняє коливання амплітуди вихідного сигналу.



1 – магнітний шунт; 2 – постійний магніт;
3 – тороїдне осердя з котушкою; 4 – шестеренчасте колесо

Рисунок 10.2 – Датчик зі змінною індуктивністю (а)
і схема включення (б)

Ефект Холла закладений в основу роботи датчиків положення (рис 10.3) з точністю кутового позиціонування $0,5^\circ$. Електрорушійна сила Холла (мВ) з'являється в магнітному полі

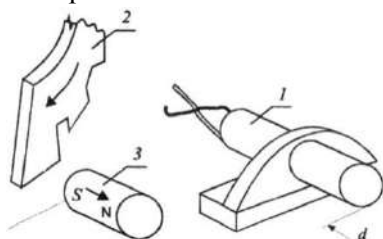
пластини напівпровідника в статичному (нерухливому) і динамічному режимах при відхиленні електронів. При цьому лінія струму, магнітної індукції й напрямок ЕДС взаємно перпендикулярні.

Волоконно-оптичні датчики (ВОД) положення по виду впливу ділять на дві групи:

- зовнішнього впливу, засновані на проходженні променя світла або його відбитті й складаються зі світлодіода й фототранзистора;
- внутрішньої дії, коли оптичне волокно саме є ЧЕ й вимірювана величина впливає на властивості волокна, модулюючи світловий потік.

Зміна інтенсивності відбитого й минаючого світла покладена в основу роботи датчиків положення, переміщення, а також тиску, рівня, витоку рідини, які витісняють електричні вимикачі. Вони мають високу швидкодію, малий гістерезис, працюють у статичному й динамічному режимах. Основним їхнім недоліком є залежність значення вихідного сигналу від забруднення оптичного каналу.

Цей недолік звужує область застосування оптичних датчиків. Вплив забруднення частково можна зменшити використовуючи світловоди й фототранзистори, що працюють в інфрачервоному діапазоні. Ринок волоконних датчиків становить 10...25 % загального ринку датчиків. У кутовому датчику, принцип дії якого заснований на ефекті Віганда (рис. 10.4), коли відбувається різке зростання магнітного поля в дроті.



1 – датчик; 2 – зубчасте колесо; магніт; B3 – повітряний зазор

Рисунок 10.3 – Датчик який використовує ефект Холла

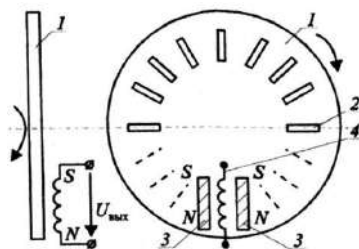


Рисунок 10.4 – Датчик, що використовує ефект Віганда

Тут на обертовому диску 1 закріплюються феромагнітні дротики 2 (на нижньому півколі показані пунктиром). На невеликій відстані від диска (зазор трохи десятих міліметра) закріплено два однакові постійні магніти 3 із симетрично розташованої між ними вимірювальною котушкою. Якщо котушка перебуває строго над феромагнітним дротиком, то сумарне магнітне поле, що діє на дротик, близько нуля. При невеликому зсуві в будь-яку сторону в дротику різко змінюється магнітна проникність, що наводить в обмотці котушки імпульс напруги.

Перевагами таких датчиків є відсутність джерела живлення й незалежність результуючого імпульсу від швидкості зміни зовнішнього магнітного поля, висока роздільна здатність (приблизно $0,1^\circ$).

Потенціометричні датчики виконуються на базі кругових дротових або товстоплівкових потенціометрів з опором трохи кОм при роздільній здатності $0,1^\circ$. Для підвищення точності вони виконуються із зубчастою передачею й пристроєм для усунення люфту у вигляді спеціальної пружини. Принцип їх дії заснований на числі спрацьовувань при заданих частоті й переміщенні. Їх використовують для виміру кутових положень в обмеженому діапазоні переміщень.

Датчики лінійних переміщень потенціометричні, зі змінною індуктивністю, засновані на ефектах Холла й Виганда. Потенціометричні датчики виготовляють на базі кругових потенціометрів з перетворенням поступального руху рейки в обертовий рух осі потенціометра що дозволяє одержувати високу точність показань (до $0,01$). Датчики переміщення, побудовані на ефекті Холла, засновані на залежності напруги вихідного сигналу від напруженості магнітного поля, яка падає зі збільшенням відстані між датчиком і магнітом.

Датчики переміщення на основі ефекту Виганда відрізняються від кутового варіанта (рис. 10.4) тим, що феромагнітні дротики розміщуються не по окружності, а на лінійці. Застосування таких датчиків найбільше перспективно для виміру великих переміщень, наприклад ходу підвісок автомобіля (їх типовий діапазон для легкових автомобілів $0...200$ мм, а для великовантажних – до 600 мм).

Датчики тиску засновані на мембранному принципі: тиск газу або рідини деформує пружну мембрану, а її деформація перетворюється в електричний сигнал. Вони дозволяють мати інформацію про тиск у гідросистемах, тиску масла у двигуні, пневматичних системах, гальмовій рідині, ступені розрідження у впускному колекторі карбюраторного двигуна, тиску наддування дизеля та ін.

Датчики тиску можна розділити на дві групи: з мембранним анероїдом і з керамічною або кремнієвою діафрагмою. Датчики з мембранним анероїдом, як правило, дають значні механічні переміщення, які можуть перетворюватися в електричний сигнал за допомогою потенціометрів, конденсаторів змінної ємності, перетворювачів Холу або індуктивних диференціальних трансформаторів.

Датчики температури засновані на застосуванні термоопору, термопар і термоелементів. Термопари (звичайно хромоалюмінієві) довговічні, дають високу точність виміру (приблизно 0,1 %) у широкому діапазоні температур. У якості датчиків температури використовуються також дровові терморезистори (із платини, нікелю), що мають широкий температурний діапазон виміру, високу стабільність і лінійність. Головними ж їхніми недоліками є висока вартість і мала швидкодія.

Найбільше застосування одержують напівпровідникові датчики, принцип дії яких заснований на взаємодії вимірюваної величини й потоку носіїв зарядів у напівпровіднику, волоконно-оптичні, тонко- і товстоплівкові. Існуючі напівпровідникові датчики температури забезпечують вимір температури від -55°C до $+350^{\circ}\text{C}$ з погрішністю $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ по всьому діапазону.

Датчики витрати повітря (витратоміри) діляться на динамічні й статичні. До перших відносяться датчики, у яких повітряний потік виявляє силовий вплив на перетворювач, який залежно від конструкції може або робити різного роду рух (коливальний, обертальний, поступальний), або перетворювати силовий вплив у яку-небудь іншу фізичну величину (наприклад, у переміщення).

До статичних витратомірів відносяться іонізаційні, ультразвукові й термоанемометричні.

Динамічні витратоміри з механічними перетворювачами.

Дія датчика з рухливою крильчаткою (рис. 10.5) заснована на вимірі сили повітряного потоку, що діє на рухливу пластину 1, розміщену усередині впускного колектора двигуна. Для демпфірування пульсацій потоку й захисту від зворотних спалахів карбюратора використовується компенсуюча пластина 2. Фірма Bosch запропонувала конструкцію датчика, основним елементом якого є лопаткове колесо з подовженою циліндричною маточиною, на якій закріплені плоскі лопаті, частота коливань яких пропорційна масовій витраті повітря.

По аналогічному принципу, заснованому на пропорційній залежності зусилля, необхідного для забезпечення коливань пластини, що перебуває в потоці, від масової витрати повітря, працює датчик конструкції фірми Bendics рис. 10.6.

Дві пластини 5, змушені коливання яких створюються електромагнітом 4, встановлені в трубопроводі 1 перпендикулярно потоку на підпружиненому важелі 6, який може повертатися на кілька градусів навколо осі. Індуктивний датчик вимірює частоту коливань, а система що стежить, підтримує частоту постійною, регулюючи амплітуду живильного електромагніту напруги.

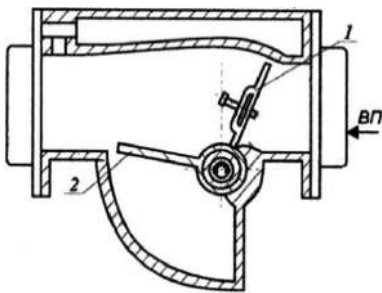
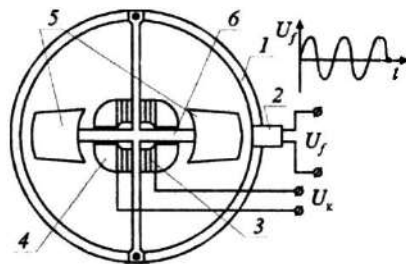


Рисунок 10.5 – Витратомір з рухливою крильчаткою



1 – трубопровід; 2 – індуктивний датчик; 3 – котушки електромагніту; 4 – електромагніт; 5 – пластини; 6 – підпружинений важіль

Рисунок 10.6 – Витратомір з вібратором фірми Bendics

При цьому зв'язок між масовою витратою повітря G_v та

напругою U_k має вигляд $U_k = \text{const } G_v$. Перевагою цієї системи є досить високі точність (погрішність менше 1,5 %) і швидкодія, широкий динамічний діапазон вимірів (1:50), лінійність характеристики.

Усі витратоміри з механічними перетворювачами мають загальні недоліки: механічні рухливі елементи й ланки; неминучі зони нечутливості внаслідок сухого тертя й зазорів у з'єднаннях; додаткову інерційність через масу деталей, що рухаються; можливі заклинювання рухливих частин через їх деформації від вібрацій, перевантажень, температурних перепадів; зношування механічних вузлів, що вимагає змазування.

Статичні витратоміри дозволяють визначати витрати по швидкості переміщення іонів, спеціально генерованих у трубопроводі за допомогою радіоактивного випромінювання або електричних полів, що й рухаються разом з повітрям. Основні переваги іонізаційних витратомірів полягають у простоті конструкції, лінійності характеристики, малих аеродинамічних втратах і інерційності. До недоліків таких витратомірів слід віднести залежність їх показань від температури й тиску повітря.

Ультразвукові витратоміри характеризуються лінійністю характеристик, відсутністю частин, що рухаються, високою швидкодією. Недоліками ультразвукових датчиків є усереднення швидкості потоку по довжині ультразвукового променя й помітна залежність швидкості ультразвуку від температури, в'язкості, складу й тиску газового потоку.

Вихрові витратоміри використовують вихри, що виникають у повітряному потоці при знаходженні на його шляху якогонебудь тіла. Завихрення являють собою порушення однорідності: зміна в зоні завихрень, які несуться потоком з певною швидкістю, швидкості й напрямку руху. Проміжки між завихреннями визначаються обтічністю тіла й не залежать від щільності та інших параметрів газу, що дозволяє безпосередньо виміряти об'ємну витрату в діапазоні вимірів 1:100 при лінійності не нижче 0,5 %. Недоліком таких витратомірів є обмеження розмірів трубопроводу, тому що при його діаметрі більше 100 мм частота вихідного сигналу неприпустимо низька.

Принцип роботи термоанемометричних витратомірів заснований на залежності теплової потужності, що розсіюється

нагрітим електричним елементом (дротом, плівкою, термістором), розташованим у потоці газу або рідини, від масової витрати обтічного потоку.

Наприклад, в термоанемометричному витратомірі фірми Bosch (рис. 10.7), на шляху потоку соосно поміщено дві пластмасові обойми, усередині яких перебувають несуче кільце V-образно закріпленої платинової нитки й несуче кільце термокомпенсаційного плівкового резистора. Різниця температур нитки й потоку підтримується на рівні 160°C. При цьому в робочому діапазоні витрати (500 кг/год) струм нагрівання регулюється від 0,5 до 1,2 А.

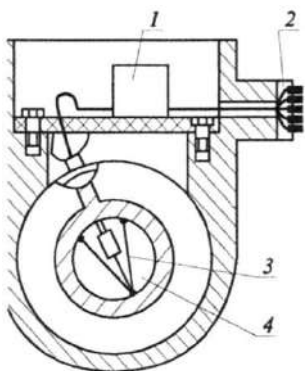
До датчиків початку контрольованих процесів відносяться датчики початку упорскування, початку горіння палива й детонації двигунів внутрішнього згорання. Датчики початку упорскування палива застосовуються в дизельних і бензинових двигунах. Робота датчика в бензиновому двигуні, що використовує ефект Холла, базується на вимірі положення голки паливної форсунки (рис 10.8).

У ньому форсунка виготовляється так, щоб електричний контакт між голкою й корпусом форсунки мав місце тільки при закритому жиклері. У момент початку упорскування, голка піднімається, електричне коло розривається й на резисторі 7 виникає вихідний сигнал.

У датчику початку упорскування палива з перетворювачем Холла (рис. 10.9) на тильну сторону штока (голки) наклеюють невеликий постійний магніт, переміщення якого викликає появу ЕДС Холла U_h у напівпровідниковому кристалі. Цей датчик на відміну від попереднього може працювати не тільки в граничному режимі, але й у режимі безперервного виміру.

До недоліків зазначених датчиків відносяться технологічна складність і труднощі забезпечення високої надійності (надійність електричного контакту, приклеювання магніту та ін.).

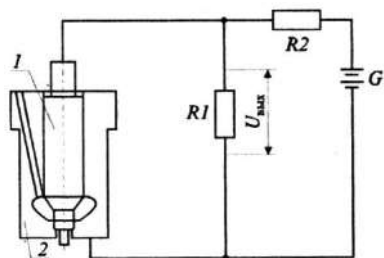
Для оптимізації процесу горіння палива у двигунах внутрішнього згорання доцільно визначати не початок упорскування, а початок горіння. Датчики, що забезпечують досягнення цієї мети, діляться на дві групи: датчики полум'я або тиску усередині камери згорання й датчики механічних напружень у конструкції (тензometri й акселерometri).



- 1 – мікроелектронний блок;
 2 – рознімач; 3 – платиновий дріт;
 4 – внутрішній вимірювальний канал

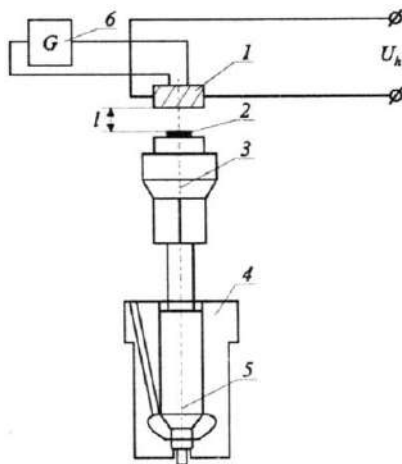
Рисунок 10.7 –

Термоанемометричний витратомір
 фірми Bosch



- 1 – корпус голки; 2 – корпус форсунки

Рисунок 10.8 – Контактний датчик
 початку упорскування



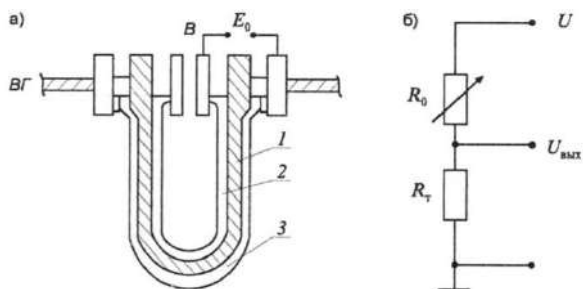
- 1 – перетворювач Холла; 2 – постійний магніт;
 3 – сіdle пружини; 4 – корпус форсунки;
 5 – корпус голки; 6 – джерело постійного струму

Рисунок 10.9 – Датчик початку упорскування
 з перетворювачем Холла

Датчик тиску в камері вимагає точного позиціонування й гарної ізоляції. Звичайно це п'єзоелектричний датчик. Можливі зонди тиску з отвором у форсунці, але вони дуже складні й ненадійні. Перспективними вважаються датчики, що вимірюють деформації конструкцій. Наприклад, для визначення моменту запалення й початку детонації підходять п'єзоелектричні датчики із частотним діапазоном до 15 кГц.

При визначенні початку детонації важливим є вибір місця кріплення п'єзоелектричного датчика, оскільки в конструкції працюючого двигуна виникають механічні напруги з дуже широким спектром частот і амплітуд. Для цього застосовують спеціальні електронні схеми частотного аналізу сигналу детонації палива у двигуні.

Датчики складу газів діляться на дві групи. Перша заснована на принципі адсорбції аналізованих речовин на поверхні чутливого елемента, перенос електричних зарядів у яких змінюється під впливом певних речовин. При адсорбції на таких напівпровідниках акцепторних часток, їх електропровідність зменшується, а при адсорбції донорних часток – збільшується. Робота датчиків другої групи заснована на таких явищах, як визначення акустичних хвиль у п'єзокристалах та ін. Датчик кисню на основі окису цирконію містить цирконієвий – електроліт, а його зовнішня поверхня покрита платиною (рис. 10.10, а).



1 – цирконієвий наконечник; 2 – внутрішній електрод;
3 – зовнішній електрод; В – повітря; ВГ – вихлопний газ

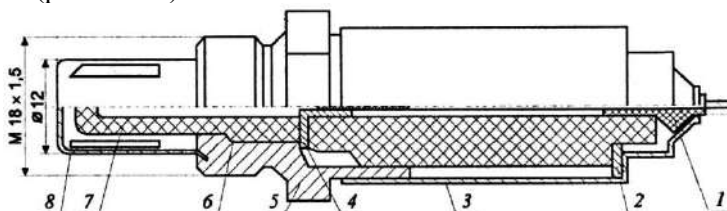
Рисунок 10.10 – Датчик початку впорскування з перетворювачем Холла

Датчик монтується у вихлопному колекторі, причому зовнішній електрод є під впливом потоку відпрацьованого газу, а внутрішній – під впливом навколишнього повітря. При нагріванні датчика газовим потоком понад певну температуру, створюється гальванічний потенціал між двома електродами, який пропорційний абсолютній температурі й логарифму відношення парціальних тисків кисню в повітрі відпрацьованого газу. На рівні стехіометричного складу, напруга датчика змінюється східчато, досягаючи 0,8...1,0 В, що використовується в системі автоматичного керування. Цирконієвий датчик досить швидко старіє, особливо через свинцеві добавки в паливо.

Сам кисневий датчик на основі окису титану являє собою щільно шпаристу кераміку із дрібною зернистістю, яка забезпечує високу швидкодію. Він на відміну від цирконієвого має одну робочу поверхню для зіткнення з відпрацьованим газом.

Кераміка обробляється дорогоцінним металом (платиною) для створення електричного контакту й підвищення швидкодії при низькій температурі. Якщо в якості вихідного сигналу датчика використовують залежність опору від парціального тиску кисню у відпрацьованому газі, то його включають за схемою, наведеною на рис. 10.10, б.

Оскільки в парі окис титану — метал одночасно виникає й термоЕДС, що залежить від тиску O_2 , то її значення можна використовувати для регулювання складу суміші. У цьому випадку один вивід датчика з'єднаний з корпусом, а другий – сигнальний. Даний принцип лежить в основі дії λ -зонда фірми Bosch (рис. 10.11).



- 1 – ущільнювач; 2 – тарілчаста пружина; 3 – захисна втулка;
- 4 – втулка-ізолятор; 5 – корпус; 6 – шайба;
- 7 – твердий корпус гнізда; 8 – екран; 9 – дріт

Рисунок 10.11 – Устрій λ -зонда фірми Bosch

У якості датчиків складу газу починають використовуватися хімічні датчики, які виникли на стику фізики, електроніки, електрохімії й біохімії й дозволяють вимірювати концентрацію часток (атомів, молекул, іонів) речовин. Вони будуються на основі явищ адсорбції й каталітичного прискорення реакції на поверхні металооксидних і органічних напівпровідників, які викликають зміни провідності або просторового заряду (польові транзистори).

Датчики рівня рідини використовуються для виміру або контролю рівнів рідин у гідросистемах, палива в баку, масла в картері двигуна, технологічних рідин та ін. Усі датчики, за винятком рівня палива, працюють у граничному режимі. За принципом дії вони діляться на поплавкові, електротеплові, ємнісні, ультразвукові, волоконно-оптичні. Найпоширеніші поплавкові датчики. Вони, у свою чергу, діляться на дві групи: поплавкові з важільним приводом до потенціометра й поплавкові трубчасті. Перші використовуються в основному для паливних баків. При опусканні поплавця нижче певного рівня движок потенціометра замикає спеціальний контакт, сигналізуючи про досягнення граничного значення рівня палива. Істотним недоліком поплавкових паливних датчиків є коливання показань, пов'язане зі зміною рівня рідини в моменти прискорень. Для зменшення коливань рівня паливні баки роблять секційними.

Датчики вологості використовують явища адсорбції й електропровідності. Матеріалом для чутливих шарів служать полімери, окисли металів, кераміка й складні окисли.

10.2 Тактильні датчики

Широка роботизація в промисловості й будівництві викликала розробку різноманітних тактильних датчиків, призначених для геометричного розпізнавання предметів навколишнього простору. Основна концепція в області створення тактильних датчиків – відтворення обов'язкових властивостей людської шкіри. Цю концепцію найбільшою мірою задовольняють тактильні пристрої матричного типу, тому що кожне гніздо матриці, що представляє собою мікроелектронний датчик (сили, деформації, моменту), подає конкретну інформацію, а всі разом дозволяють сформувати цілісну уяву про

форму предмета. Тактильні датчики бувають: п'єзорезистивні, п'єзоелектричні, оптичні, ємнісні тощо.

Датчики статичних і динамічних навантажень призначені для виміру статичного й динамічного навантаження у різних умовах експлуатації й випробувань, а також передавати отриману інформацію й аналізувати її в ЕОМ. Для виміру навантаження використовують датчики (п'єзоелектричні, п'єзорезистивні, індуктивні, ємнісні та ін.). Для вимірів вібрації використовують п'єзоелектричні акселерометри, що обумовлено широким діапазоном робочих частот, великою вібраційною й ударною міцністю, порівняльно простою конструкцією, можливістю створення перетворювачів з малими розмірами й масою.

10.3 Датчики справності електричних ламп

Типовий спосіб контролю справності ламп полягає у використанні реле з малим спаданням напруги на його обмотці, яке включається в ланцюг контрольованої лампи. У випадку справності лампи при подачі живлення на неї, реле спрацьовує й контактом включає сигнальну лампу або світлодіод. Для зниження вартості контролю можна в ланцюг реле включати паралельно дві лампи. При цьому реле повинне мати такі характеристики, щоб при подвійному струмі (справні обидві лампи) воно спрацьовувало, а при одинарному (одна з ламп перегоріла) – відпускало якір. Недолік цієї схеми полягає у вузькому діапазоні робочих струмів, оскільки при коливаннях напруги в бортовій мережі границі спрацьовування реле сильно зміщуються.

У ряді випадків з міркувань надійності необхідно мати інформацію про справність ламп до моменту їх включення, тобто в «командному» стані. Для цього в лампи, що перевіряються постійно подається невеликий за значенням струм і контролюється спадання напруги на опорі холодної нитки розжарення.

10.4 Підсилювачі

Вимірювальний підсилювач являє собою функціонально закінчений модуль, що здійснює високоточне посилення диференціального (різницевого) вхідного сигналу на тлі

синфазного сигналу, який часто буває більше вимірюваної різницевої напруги. Вимірювальний підсилювач повинен мати диференціальний вхід, високе значення коефіцієнта підсилення, низьке зрушення нульового рівня й дуже великий (звичайно більш 80 дБ) коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу.

Диференціальний вхідний сигнал часто являє собою вихідну напругу, що знімається з мостової схеми. Датчик виявляє будь-які зміни, виміри яких передбачаються схемою. Різні модифікації цієї класичної схеми лежать в основі більшості вимірювальних підсилювачів у пристроях нормалізації. Так само, як і у вищеописаних схемах, перші два операційні підсилювачі утворюють вхідний диференціальний каскад, який забезпечує необхідний коефіцієнт підсилення диференціальних сигналів і одиничний коефіцієнт підсилення синфазного сигналу.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікують мікроелектронні датчики?
2. Яку інформацію надають датчики положення?
3. Як класифікуються волоконно-оптичні датчики?
4. На якому принципі засновані датчики лінійних переміщень?
5. Як класифікують витратоміри?
6. На якому принципі засновані датчики тиску?
7. Які параметри дозволяють визначати статичні витратоміри?
8. Де застосовують датчики початку контрольованих процесів?
9. Для чого потрібні тактильні датчики?
10. Яке призначення підсилювачів?

11 ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ТА ДОСЛІДЖЕННЯХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Метою експерименту є пошук параметрів фізичних явищ, властивості (фізичні величини) яких можна прямо або побічно виміряти, використовуючи засоби вимірів. У результаті обробки кількісних значень фізичних величин виявляються закони, що зв'язують ці величини у вигляді функціоналів або рівнянь різного виду.

Фізичні величини діляться на основні, які не зводяться одна до іншої й похідні, які визначаються рівняннями, що містять основні фізичні величини. Фізичні величини вимірюються в системі SI – Міжнародній системі одиниць (Systeme International d'Unités) прийнятій у 1960 році (російською мовою – СИ).

Система SI містить у собі 7 основних одиниць: довжини – метр, маси – кілограм, часу – секунда, сили електричного струму – ампер, термодинамічної температури – кельвін, сили світла – кандела, кількості речовини – моль. Усі ці величини характеризуються кінцевою точністю й пов'язані з фундаментальними постійними.

Якщо при розрахунках значення усіх величин виражені в одиницях СИ, у формули непотрібно вводити переводні коефіцієнти, що залежать від вибору одиниць.

Чутливість засобу виміру – це відношення виміру сигналу на виході переміщення Δl (стрілки або іншого покажчика) до викликаної зміни Δx вимірюваної величини:

$$S = \Delta l / \Delta x. \quad (11.1)$$

Ціна ділення – різниця значень величин, що відповідає двом сусіднім оцінкам шкали a (інтервал поділу шкали). Її можна визначити по формулі:

$$C = a/S, \quad (11.2)$$

Діапазон показань – найбільше й найменше значення розміру, які можна відрахувати по шкалі.

Погрішність виміру – різниця між результатами виміру й

дійсним значенням вимірюваної величини. Погрішності вимірів підрозділяються на систематичні, випадкові й грубі (промахи).

Систематичною називається погрішність, постійна по величині й знаку, значення якої при повторних вимірах повторюється або закономірно змінюється.

Випадковою називається погрішність, що приймає при повторних вимірах однієї й тієї ж величини й у рівних умовах, різні по величині і знаку значення. Вона оцінюється середнім квадратичним відхиленням σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_t - \bar{X})^2}{N}}, \quad (11.3)$$

де X_i – результати вимірів;

N – число вимірів;

\bar{X} – середнє арифметичне ряду вимірів;

$$\bar{X} = \frac{\sum X_t}{N}. \quad (11.4)$$

Гранична випадкова погрішність:

$$\Delta_{\text{lim}} = \pm 2 \sigma. \quad (11.5)$$

Гранична випадкова погрішність при спільному впливі випадкових погрішностей від окремих величин $\Delta_{\text{lim}i}$ визначається по формулі

$$\Delta_{\text{lim}\Sigma} = \pm \sqrt{\sum \Delta_{\text{lim}i}^2}. \quad (11.6)$$

У сучасних технічних науках існує багато методів вимірів.

Методи вимірювання зношування.

Існують різноманітні методи виміру зношування від найпростіших, коли звичайними засобами роблять вимір розмірів деталей що зношуються, до методів, що використовують ядерно-фізичні процеси. Область застосування тих або інших методів

виміру зношування визначають:

- поставлена мета дослідження;
- необхідна точність виміру;
- можливість виміру малих зношувань;
- час, необхідний для виміру зношування;
- можливість виміру зношування в умовах експлуатації без розбирання, а в ряді випадків без зупинки машини;
- витрати часу й засобів, необхідних для всього циклу підготовки, здійснення й обробки результатів виміру.

Найбільш доцільні диференціальні методи, які дозволяють визначити розподіл зношування по всій поверхні тертя й оцінити той вплив, який виявляє нерівномірність зношування на вихідні параметри виробу. У ряді випадків застосовуються методи оцінки зношування по вихідних параметрах виробу або сполучення.

Вимір величини зношування по втраті ваги або обсягу деталі застосовується, як правило, при дослідженні зразків і непридатний для більшості деталей машини. Оцінку зношування по зміні вихідних параметрів сполучення дає лише непряма уява про величину зношування внаслідок причин, зазначених вище.

Розглянемо основні методи, застосовувані для виміру зношування поверхонь тертя при роботі різних сполучень в умовах їх експлуатації або випробування.

Визначення зношування по змісту продуктів зношування в змащенні. Цей метод часто називають «визначення масла в залізі», він заснований на узятті проби у відпрацьованому маслі, де нагромадилися продукти зношування у вигляді металевих часток, окислів металів і продуктів хімічної взаємодії металів з активними компонентами змащення.

Хімічний метод заснований на визначенні змісту заліза та інших продуктів зношування в золі спаленої масляної проби.

Спектральний метод заснований на визначенні змісту металевих домішок у змащенні за допомогою спектрального складу полум'я при спалюванні проби масла.

Радіометричний метод заснований на вимірі радіоактивності продуктів зношування, що втримуються в мастилi по нагромадженнях у масляному фільтрі. Радіоактивність деталей створюється введенням радіоактивних ізотопів у плавку або в покриття.

Активаційний метод має загальні риси зі спектральним і радіометричним, тобто зміст продуктів зношування визначається по їхній радіоактивності за допомогою аналізу спектрів гамма-випромінювання.

Метод мікрометризування не враховує специфіку зношування. При цьому методі неможливо оцінити зношування в процесі роботи машини, більш того для оцінки величини зношування потрібна вимірювальна база. Якщо така база відсутня, то можна виміряти лише діаметр зношеної поверхні в різних перетинах і оцінити середнє значення зношування стосовно номінального розміру, або визначити викривлення форми поверхні.

При малих значеннях зношування застосовують профілографування. У цьому випадку про зношування судять по профілограмі, знятої з вихідної й зношеної поверхонь. Оцінку зношування проводять накладенням профілограм одна на одну.

Дуже часто за базу ухвалюють саму поверхню що зношується.

На цьому заснований **метод штучних баз**. При цьому методі на поверхні, що зношується, наносять поглиблення строго певної форми у вигляді конуса, піраміди й т.п. і по зменшенню розмірів поглиблення (відбитка) судять про величину зношування. Він призначений для визначення місцевого лінійного зношування поверхні в тих місцях, де нанесені бази.

Варіантами цього методу є **метод відбитків**. При цьому методі для утвору поглиблення застосовують алмазну чотиригранну піраміду із квадратною основою й кутом при вершині між протилежними гранями в 136° .

Про зношування судять по зменшенню діагоналі відбитка й по зменшенню його глибини. Недоліком цього методу є спучування матеріалу при вдавненні піраміди й відновлення поглиблення після зняття навантаження. Також у якості відбитка використовують лунку, яка наноситься різцем. Точність методу лунок $\pm(1...2)$ мкм.

Метод поверхневої активації заснований на вимірі зниження радіоактивності при зношуванні досліджуваної деталі, у якій на заданій ділянці створений радіоактивний обсяг глибиною 0,05...0,4 мм шляхом опромінення ділянки

зарядженими частками.

Величина зношування деталі визначається за графіком за рахунок зниження радіоактивності деталі. Цей метод дозволяє контролювати зношування без розбирання й зупинки машини. Рівень радіації, рівний 10 мкКи не вимагає радіаційного захисту. При вимірі зношування великогабаритних деталей роблять спеціальні вставки, які проходять поверхневу активацію.

11.1 Модельний експеримент (теорія розмірності)

Вивчення будь-якого натурального явища, що протікає в машині дуже трудомісткий процес, що робить експериментальне дослідження, не тільки складним, часом і неможливим. Тому його проводять на модельній системі, властивості якої можна легко міняти, змінюючи граничні умови, тобто скористатися **законами подоби**.

Два процеси називаються подібними, якщо вони підкоряються тим самим фізичним законам і всі фізичні величини, що характеризують один процес, можна перетворити у величини для іншого процесу множенням на постійні коефіцієнти, називані **коефіцієнтами подоби**.

Так індексом «о» фізичної величини позначається параметр оригіналу, а індексом «м» параметр моделі. Буква *k* є коефіцієнтом подоби з індексом, що відповідає досліджуваній фізичній величині.

Геометрична й тимчасова подоба оцінюються відношеннями:

$$l_o = k_l l_m, \quad (11.7)$$

$$t_o = k_t t_m. \quad (11.8)$$

Кінематична подоба:

$$v_o = (k_v/k_s) v_m. \quad (11.9)$$

Безрозмірні величини, що характеризують фізичні процеси називають **критеріями подоби**.

11.2 Експериментальні дані і їх обробка

Експериментальні дослідження є невід'ємною частиною будь-якої науково-дослідної роботи. При їх проведенні реєструються різні факти протікаючих процесів і подій штучного й природнього походження.

Джерелами експериментальних даних є:

- результати спостереження за реальними об'єктами й процесами що протікають у них, які можуть проводитися в ході випробувань або в ході звичайної експлуатації;
- результати моделювання об'єктів (у першу чергу імітаційного моделювання);
- технічні, економічні, наукові звіти й огляди, що публікуються у різних виданнях, наприклад, відомості про результати випробувань або про характеристики однотипних пристроїв різних виробників;
- результати опитувань фахівців та інші джерела.

Обробка експериментальних даних, одержуваних від різних джерел, є типовою (стандартною), тому запропонована методика може застосовуватися для різних галузей науки, але організація їх збору й інтерпретація специфічні для конкретної предметної області.

Однією з основних форм представлення експериментальних даних (результатів експерименту) є символна, яка включає їхнє представлення у вигляді графіків, тексту, осцилограм та ін. Такі дані обробляють безпосередньо або попередньо перетворюють у числову форму.

Якісні ознаки результатів експерименту вимірюються на основі номінальних і порядкових шкал. **Номінальні шкали** забезпечують тільки групування об'єктів за ознакою наявності в них деяких загальних властивостей, але не дозволяють проводити ранжирування об'єктів. **Порядкові шкали** забезпечують можливість упорядкування даних за ознаками «більше», «менше», «рівно», але при цьому не вказується, на скільки одне значення ознаки більше або менше іншого.

Кількісні властивості відображаються числами у відносних або абсолютних шкалах вимірів. Застосування відносних і

абсолютних шкал дає можливість проводити кількісну обробку експериментальних даних. Однак, при обробці слід застосовувати тільки ті операції, які допускаються застосовуваною шкалою вимірів.

У відносних шкалах початок відліку й масштаб вимірів мають умовний характер. Наприклад, температуру можна вимірювати у відносних шкалах по Цельсію, Реомюру, Фаренгейту. У цьому випадку, наприклад, температура одного об'єкта вище температури іншого на три градуси Цельсія, ці три градуси не рівні трьом градусам шкали Фаренгейта. **Абсолютна шкала** забезпечує однозначну виставу точки відліку й масштабу. Наприклад, шкала температур по Кельвіну або шкала ймовірностей. Вони дозволяють дати однозначні відповіді про те, на скільки або в скільки раз одна величина більше (менше) іншої.

Кількісні характеристики (параметри) представляються дискретними або безперервними величинами. Дискретні параметри ухвалюють тільки окремі значення, без проміжних значень між ними. Часто дискретні параметри мають таку велику кількість припустимих значень, що їх на практиці вважають квазібезперервними, які здатні ухвалювати будь-які значення із припустимого діапазону величин.

У процесі обробки безперервні величини завжди округляють і представляють обмеженим числом розрядів, що забезпечують відносну погрішність не більше встановленої величини.

Надалі мова буде вестися про числову форму представлення інформації, що кількісно характеризує параметри об'єктів і процесів, що не залежать від часу. Якщо немає особливих допускень, досліджувані параметри вважаються безперервними величинами, якщо особливо не обумовлене інше.

Відомо, що результати спостережень носять детермінований або випадковий характер. Більшість подій і процесів при дослідженнях можна вважати випадковими, тобто в якості об'єкта обробки розглядаються сукупності числових даних, що характеризують не залежні від часу випадкові значення безперервних параметрів.

Наприклад, показники продуктивності й надійності, носять імовірнісний характер і не можуть бути безпосередньо обмірювані. Для їхньої оцінки слід застосовувати непрямі

способи на основі реєстрації відповідних первинних параметрів і наступної обробки накопичених даних із залученням спеціальних математичних методів. Інакше кажучи, ці дані являють собою лише набори можливих випадкових значень показників, зареєстрованих у деякі моменти часу.

Наприклад, тривалість наробітків до відмови деякої сукупності однотипних пристроїв можна розглядати як безліч можливих випадкових значень показника «наробіток до відмови». Саме по наробітках оцінюється значення цього показника, який характеризується законом розподілу, моментами розподілу або іншими параметрами, які й слід визначити. У цьому випадку **цілями обробки експериментальних даних** є:

- оцінка значень показників якості засобів, комплексів або системи в цілому. На стадіях створення така оцінка проводиться в інтересах обґрунтування прийнятих розв'язків по створенню машин і комплексів, перевірки показників на відповідність вимогам, виявлення істотних факторів, що впливають на їхнє функціонування, виявлення причин невідповідності вимогам. На стадії експлуатації обробка експериментальних даних проводиться також для розв'язку завдань керування об'єктом (зміни режимів роботи об'єкта; зміни порядку обробки інформації; обґрунтування даних для модернізації об'єкта; адаптації об'єкта до умов функціонування);
- стиск інформації про функціонування системи, її узагальнення для наступного застосування в інтересах дослідження подібних об'єктів, обґрунтування даних для створення нових систем;
- виявлення закономірностей, істотних параметрів і функціонування об'єкта в конкретних умовах експлуатації, тобто встановлення залежностей між параметрами об'єкта, зовнішнього середовища й показниками якості об'єкта. Виявлені закономірності застосовують для пошуку оптимальних значень параметрів при синтезі нових систем і спрощеного опису об'єкта в моделі суперсистеми;
- вивчення типології й прогнозування розвитку об'єктів

(розпізнавання образів, класифікація об'єктів);

Слід пам'ятати, що результати обробки експериментальних даних необхідно розглядати тільки лише як більш-менш удалу апроксимацію відповідних характеристик.

Необхідність збору й обробки даних обумовлена тим, що дійсні значення показників якості суттєво відрізняються від розрахункових, тому що при проектуванні доводиться вводити істотні допущення й обмеження, які на практиці не цілком слушні через відсутність повних і точних уявлень про характеристики процесів, що протікають в об'єкті й у зовнішньому середовищі.

Таким чином, фактичні значення показників якості не тільки відрізняються від розрахункових, але й міняються із часом, мають свої особливості для тих самих типів об'єктів, експлуатованих у різних організаціях, перетерплюють коливання, що залежать від часу, характеру виконуваних на об'єкті робіт.

Залежно від стадії життєвого циклу, завдання обробки експериментальних даних мають ряд особливостей. На стадії створення є принципова можливість проведення активних (можливість вибору обсягу експериментів, послідовності й значень характеристик впливів на об'єкт за бажанням дослідника) і пасивних (кількість спостережень, послідовність і значення впливів визначаються реальною обстановкою використання об'єктів) експериментів.

Активні експерименти проводяться на завершальних стадіях створення машини у вигляді випробувань дослідних зразків, фрагментів систем і т.п. Активний експеримент побудований на теорії планування експерименту й дозволяє розширити діапазон умов, при яких проводиться оцінювання якості або інші параметри системи.

Спеціальним образом підібрані умови проведення дослідження й порядок завдання зовнішніх впливів, тобто раціонально обгрунтовані плани експериментів, забезпечують взаємну статистичну незалежність результатів випробувань. Ці обставини значно полегшують обробку результатів експерименту, підвищують якість одержуваних оцінок, дозволяють розділити вплив різних факторів при побудові моделі.

У пасивних експериментах дослідник не має змоги керування якістю й кількістю експериментальних даних. Нестационарні умови експлуатації, вплив на об'єкти періодичних або нерегулярно мінливих впливів (трендів) обумовлюють необхідність розгляду характеристик не як випадкових величин, а як випадкових функцій. Однак через слабку розробленість методів і засобів оцінки параметрів випадкових процесів за результатами спостереження звичайно передбачається, що процес функціонування об'єкта носить стаціонарний або частково стаціонарний характер.

На стадії експлуатації можливості проведення активних експериментів обмежені або взагалі відсутні, що приводить до взаємної залежності результатів спостережень. Це утрудняє обробку отриманих даних. Ігнорування даної обставини приводить до зсуву значень одержуваних оцінок, неможливості поділу впливу різних факторів на показники функціонування й до інших небажаних наслідків.

Експериментальна оцінка припускає розв'язок ряду взаємозалежних завдань, які носять прикладний характер:

- складання переліку реєстрованих параметрів, необхідних для обчислення оцінок показників;
- вибір моментів і способів реєстрації первинних параметрів;
- вибір або розробку методів перетворення експериментальних даних для оцінювання необхідних показників;
- розробку алгоритмів виміру, створення програмних, інформаційних та інших засобів, що реалізують відповідні процедури реєстрації, зберігання, обробки й видачі даних.

Складання переліку реєстрованих параметрів (визначення інформаційної потреби) містить у собі кілька етапів.

- визначення складу властивостей об'єкта й зовнішнього середовища, що підлягають експериментальній оцінці;
- послідовна декомпозиція складних властивостей до рівня простих, однозначно характеризованих відповідними показниками;
- вибір показників, що характеризують кожну властивість

- або їх групи, з урахуванням специфіки реалізації конкретних функцій об'єкта;
- формування статистичного визначення кожного оцінюваного показника й деталізація кожного параметра до рівня таких величин, які можуть бути обмірювані (zareєстровані) у ході спостереження за роботою об'єкта. Наприклад, реєстрації й наступній обробці підлягають наступні відомості: час початку й завершення процесу роботи машини з деталізацією по типах. Сукупність окремих величин і кількість типів необхідно розглядати як набір заданих вихідних даних;
 - об'єднання первинних реєстрованих параметрів, використовуваних при оцінці різних показників, що дає інформаційну потребу. При цьому слід урахувати неоднорідність даних по призначенню й режимам роботи. Ігнорування неоднорідності приводить до зсуву оцінок.

Вибір моментів і способів реєстрації первинних параметрів ґрунтується на аналізі складу реєстрованих відомостей, можливостей апаратних і програмних засобів. При цьому недоцільно створювати або застосовувати спеціальну апаратуру, а краще використовувати програмні засоби, частина яких входить до складу типових операційних систем і для їхнього застосування потрібно провести всього лише налаштування.

Існують два основні способи реєстрації – реєстрація системних подій і періодична реєстрація.

Перший спосіб передбачає виконання операцій реєстрації початкових відомостей (проведення вимірів) у ході виконання керуючих програм операційної системи або програм прикладних завдань.

Другий спосіб припускає включення спеціальної програми реєстрації через певні проміжки часу «фотографування». Цьому способу підлягають різного роду системні таблиці.

Перевагою першого способу є висока точність реєстрації й обробки вимірюваних величин. Реалізація цього способу складніша, ніж іншого, оскільки потрібне включення відповідних програмних компонентів у безліч інших програм, що ускладнює організацію їх розробки й збільшує потребу в ресурсах на

створення й виконання. Крім того, застосування першого способу утрудняє проведення модернізації вимірювальних засобів (доводиться переробляти великий обсяг програм).

Другий спосіб суттєво простіший в реалізації й модифікації, тому що засоби вимірів залишаються відносно автономними в конструктивному відношенні й відносно включення їх у роботу. Застосування даного способу припускає вибір деякого спектра частот включення в роботу засобів реєстрації відповідно до інерційності процесів, що протікають у досліджуваному об'єкті й у зовнішньому середовищі. Вибір частоти реєстрації проводять із урахуванням мінімізації витрат ресурсів комплексу на проведення вимірів при забезпеченні заданої точності реєстрації параметрів.

Враховуючи переваги й недоліки зазначених способів, їх слід застосовувати спільно: одна частина відомостей реєструється на основі системних подій, а інша – на основі моментних знімків.

Вибір або розробка методів перетворення експериментальних даних для оцінювання необхідних показників припускає формалізацію опису процедур первинної, попередньої й основної обробки результатів реєстрації.

Первинна обробка даних спрямована на перетворення зареєстрованих величин до виду зручного для наступного зберігання й обробки. При цьому не потрібно застосування складного математичного апарата. У ході первинної обробки дані зазнають «стиску» (наприклад, результат реєстрації заноситься у відповідний класифікаційний розряд статистичного ряду) і записуються в спеціальні масиви. Основна особливість алгоритмів реєстрації й первинної обробки полягає в необхідності їх реалізації в реальному масштабі часу із твердими обмеженнями на час включення й виконання.

Попередня обробка даних пов'язана з їхнім узагальненням, сортуванням по системних подіях і періодам спостереження.

Основна обробка зареєстрованих даних спрямована на визначення тих показників і функцій, які впливають із цілей експериментального дослідження. Реалізація відповідних процедур передбачає широке використання складного математичного апарату з великим обсягом обчислень.

Виконання процедур реєстрації й обробки неминуче

пов'язано із внесенням *помилки, джерелами яких є*:

- інструментальні помилки, пов'язані з погрішністю процедур реєстрації (наприклад, із затримками включення в роботу) і можливими збоями в їхнім виконанні;
- методичні помилки, які визначаються прийнятими допущеннями й обмеженнями використовуваних методів первісної й попередньої обробки (представлення безперервних величин дискретними значеннями, узагальнення вимірів у вигляді класифікаційного статистичного ряду і т.п.). Методичні помилки мають як випадковий, так і систематичний характер.

Результати обробки даних носять приватний характер, і без належного обґрунтування по них не можна робити узагальнюючі висновки щодо аналогічних об'єктів, що функціонують в інших умовах.

Методи обробки експериментальних даних спираються на базові поняття теорії ймовірностей і математичної статистики. До них належать поняття генеральної сукупності, вибірки, емпіричної функції розподілу.

Обробка експериментальних даних по методу найменших квадратів дозволяє одержати різні емпіричні залежності. Вона ґрунтується на попередньому виборі емпіричної формули. Формула буде тим точніше, чим більше теоретичних представлень вкладено в неї.

Отже на першому етапі задаються видом формули, а потім, користуючись результатами досліду, розділяють значення постійних величин, що входять у формулу. При цьому помилка між даними експерименту й емпіричною залежністю повинна бути рівна 0.

11.3 Перевірка статистичних гіпотез

Найпростішим методом імітаційного моделювання при повній відсутності яких-небудь правил поведінки є статистичні випробування по методу Монте-Карло. Одержання вибірок по методу Монте-Карло – це основний принцип комп'ютерного моделювання систем, що містять стохастичні або імовірнісні елементи.

Зародження методу пов'язане з роботою фон Неймана й Улана наприкінці 1940-х рр., коли вони ввели для нього назву «Монето-Карло» і застосували його до розв'язку деяких завдань екранування ядерних випромінювань. Цей математичний метод був відомий і раніше, але своє друге народження знайшов у Лос-Аламосі в закритих роботах з ядерної техніки, які велися під кодовим позначенням «Монте-Карло».

Застосування методу виявилось настільки успішним, що він одержав поширення й в інших областях, зокрема в моделюванні організаційних процесів в автосервісі й автоперевезеннях.

Тому багатьом фахівцям термін «метод Монте-Карло» іноді представляється синонімом терміна «імітаційне моделювання», що в загальному випадку невірно.

Імітаційне моделювання – це більш широке поняття, і метод Монте-Карло є важливим, але далеко не єдиним методичним компонентом імітаційного моделювання.

Згідно з методом Монте-Карло, проектувальник може моделювати роботу тисячі складних систем, що управляють тисячами різновидів подібних процесів, і досліджувати поведінку всієї групи, обробляючи статистичні дані.

Інший спосіб застосування цього методу полягає в тому, щоб моделювати поведінку системи керування на дуже великому проміжку модельного часу (кілька років), причому астрономічний час виконання моделюючої програми на комп'ютері може скласти частки секунди.

Застосування додатків Microsoft Excel для розв'язку завдань, пов'язаних з імітаційними моделями, в основному базується на даному методі, оскільки він є основою одержання модельних вибірок за заданим законом розподілу.

У різних завданнях складних систем, що зустрічаються при створенні, можуть використовуватися **величини, значення яких визначаються випадковим образом**. Прикладами таких величин є:

- випадкові моменти часу, у які надходять замовлення на фірму;
- завантаження виробничих ділянок або служб об'єктів автосервісу;
- зовнішні впливи (вимоги або зміни законів, платежі по

- штрафах та ін.);
- оплата банківських кредитів при покупці автомобіля;
- надходження коштів від замовників підприємств автосервісу;
- помилки вимірів при проведенні випробувань нових моделей автомобілів.

У якості відповідних їм змінних можуть використовуватися число, сукупність чисел, вектор або функція. Однієї з різновидів методу Монте-Карло при чисельному розв'язку завдань, що включають випадкові змінні, є метод статистичних випробувань, який полягає в моделюванні випадкових подій.

Метод Монте-Карло заснований на статистичних випробуваннях і по своїй природі є екстремальним, може застосовуватися для розв'язку повністю детермінованих завдань, таких, як обіг матриць, розв'язок диференціальних рівнянь у частинних похідних, відшукування екстремумів і чисельне інтегрування, оскільки при обчисленнях методом Монте-Карло статистичні результати виходять шляхом повторюваних випробувань. Імовірність того, що ці результати відрізняються від дійсних не більше ніж на задану величину, є функція кількості випробувань.

В основі обчислень по методу Монте-Карло лежить випадковий вибір чисел із заданого імовірнісного розподілу. При практичних обчисленнях ці числа беруть із таблиць або одержують шляхом деяких операцій, результатами яких є псевдовипадкові числа з тими ж властивостями, що й числа, одержувані шляхом випадкової вибірки. Є велика кількість обчислювальних алгоритмів, які дозволяють одержати довгі послідовності псевдовипадкових чисел.

Застосування методу Монте-Карло може дати істотний ефект при моделюванні розвитку процесів, натурне спостереження процесу в небажаних напрямках, але й оцінювати гіпотези про параметри небажаних ситуацій, до яких приведе такий розвиток, у тому числі й параметрах ризиків.

Існують різні *методи перевірки статистичних гіпотез*. Найбільше широко використовуються на практиці критерії:

- згоди χ^2 (хі-квадрат);
- Крамера-фон Мізеса;

- Колмогорова-Смірнова.

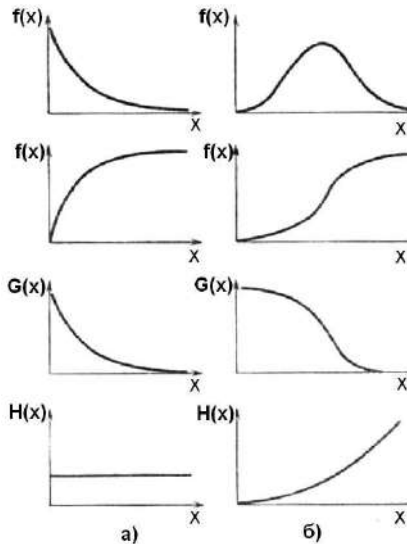
За більш детальною інформацією по цій темі треба звертатися до спеціалізованої літератури з методів проведення експериментальних досліджень та математичної обробки даних.

Питання для самоперевірки

1. Що є метою проведення експериментальних досліджень?
2. Які 7 основних одиниць містить у собі система SI?
3. Що таке діапазон показань?
4. Якою називається систематична погрішність?
5. Як класифікуються методи зношування?
6. Що визначає область застосування методів виміру зношення?
7. Назвіть основні методи вимірювання зношування поверхонь тертя?
8. Для чого проводиться модельний експеримент?
9. Що є джерелом експериментальних даних?
10. Що є метою обробки експериментальних даних?
11. Коли проводяться активні експерименти?
12. Яка мета проведення пасивних експериментів?
13. Що таке первинна обробка даних?
14. На чому ґрунтуються методи обробки експериментальних даних?

12 ВИПРОБУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА НАДІЙНІСТЬ

Випадкова величина – це чисельне значення вимірюваних (реєстрованих) параметрів які заздалегідь невідомі. Якщо кількість значень випадкової величини скінченна, то така величина називається дискретною. Безперервні випадкові величини заповнюють увесь проміжок часу. Характеристикою випадкової величини є закон розподілу, зв'язок між значеннями випадкової величини та їх ймовірностями. Існує чотири способи опису законів розподілу (рис.12.1).



а – експонентний розподіл, б – нормальний розподіл

Рисунок 12.1 – Графіки функцій $f(X)$, $F(X)$, $G(X)$ і $H(X)$ для різних розподілів

Щільність (диференціальна функція) розподілу $f(x)$.

Інтегральна функція розподілу:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (12.1)$$

Зворотна інтегральна функція розподілу:

$$G(x) = 1 - F(x) = 1 - \int_{-\infty}^x f(x)dx \quad (12.2)$$

Функція інтенсивності:

$$H(x) = \frac{f(x)}{G(x)}. \quad (12.3)$$

Зазначені характеристики є рівнозначними способами опису законів розподілу. На рис. 12.1 наведені графіки перерахованих функцій для експонентного й нормального закону розподілів.

Диференціальна функція $f(x)$ – відбиває специфічні риси закону розподілу. Функції $F(x)$ і $G(x)$ дозволяють безпосередньо відраховувати значення ймовірностей влучення випадкової величини в задані інтервали. Функція інтенсивності $H(x)$ у теорії надійності здобуває конкретний фізичний зміст.

12.1 Статистичний метод дослідження випадкової величини

Розподіли ймовірностей випадкових величин, можуть бути одержані двома шляхами: аналітичного дослідження й обробки експериментальних даних. У першому випадку закон розподілу розглянутої випадкової величини знаходиться на основі аналізу її фізичної природи й певних математичних викладень. У другому випадку необхідний збір експериментальних даних – статистики, яка може бути отримана в результаті спеціально поставленого експерименту. Відповідна обробка накопиченої статистики дозволяє аналітично описати обумовлений розподіл ймовірностей.

Шлях експериментального визначення законів розподілу (статистичне дослідження) випадкових величин відіграє важливу роль, тому що при будь-якому самому ретельному аналітичному дослідженні, остаточний висновок належить експерименту. Шляхом статистичного дослідження можуть бути отримані будь-які функції розподілу й числові характеристики випадкової величини, які називаються статистичними функціями розподілу й статистичними числовими характеристиками.

Відомо, що питання статистичного дослідження випадкових

величин вивчаються в курсі математичної статистики, до завдань якої відносяться:

- побудова статистичних функцій розподілу випадкових величин;
- визначення статистичних числових характеристик;
- визначення статистичних параметрів закону розподілу, якщо тип цього закону заздалегідь відомий;
- статистичне визначення типу закону розподілу;
- статистична перевірка, гіпотез.

Останні два завдання тісно пов'язані між собою. Тут тип закону розподілу випадкової величини визначається шляхом висування й статистичної перевірки ряду гіпотез.

Нагадаємо шляхи розв'язку перших трьох завдань.

Вихідними даними для статистичного дослідження випадкової величини X найчастіше є набір m спостережених її реалізацій x_i , тобто значення випадкової величини, прийняте в даному досліді.

Реалізація виду $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m$ називається простою статистичною сукупністю, яку зручно записувати у вигляді таблиці із двома рядками: у першому вказується номер i -ї реалізації (від 1 до m), у другому – відповідні значення x_i .

З метою більш наочного відображення вихідного статистичного матеріалу він представляється у вигляді впорядкованої статистичної сукупності варіаційного ряду, де номера (від 1 до m) привласнюються реалізаціям у порядку зростання значень цих реалізацій.

При великих m ($m > 50$) статистичний матеріал зазнає попередньої обробки. Увесь діапазон значень x_i (від $x_i = x_{\min}$ до $x_m = x_{\max}$) розбивається на k інтервалів I : $I_1 = (x_1, x_2)$; $I_2 = (x_2, x_3)$; ... $I_k = (x_k, x_{k+1})$.

Величини інтервалів I_j можуть бути нерівні. Підраховується кількість реалізацій m_j , що потрапили в кожний інтервал, і обчислюється частота p_j влучення реалізації в j -й інтервал по формулі:

$$p_j = \frac{m_j}{m}. \quad (12.4)$$

З теорії ймовірностей очевидні тотожності:

$$\sum_{j=1}^k m_j = m, \quad \sum_{j=1}^k \eta_j = 1. \quad (12.5)$$

Далі будується таблиця (12.1), із чотирма рядками: у першому рядку вказується номер інтервалу (j), у другий – границі інтервалу, у третій й четвертий – відповідні значеннями m_j та η_j .

Таблиця 12.1 – Інтервали розподілу величин

N	1	2	...	j	...	k
I_j	$x_1 \dots x_2$	$x_2 \dots x_3$...	$x_j \dots x_{j+1}$...	$x_k \dots x_{k+1}$
m_j	m_1	m_2	...	m_j	...	m_k
η_j	η_1	η_2	...	η_j	...	η_k

Таке представлення вихідних статистичних даних називається статистичним рядом. При виборі границь інтервалів x_j, x_{j+1} намагаються, щоб у кожний інтервал потрапило від 5 до 10 реалізацій (цим обумовлюється можливість нерівності інтервалів).

При рівних інтервалах обробка статистичного ряду спрощується. Однак при дослідженні випадкових величин із суттєво нерівномірними розподілами часто доводиться вибирати більш вузькі інтервали статистичного ряду в областях великої концентрації реалізацій і більш широкі – в областях малої концентрації.

Для наочного представлення статистичного ряду будується полігон розподілу. Для цього на горизонтальній осі будуються інтервали $I_1 \dots I_k$ (рис. 12.2). У центрі кожного інтервалу відновлюється перпендикуляр, висота якого в масштабі вибирається рівної n_j . Вершини перпендикулярів з'єднуються відрізками прямих. Отримана ламана лінія і являє собою полігон розподілу.

Також на основі статистичного ряду будуються графіки статистичних функцій розподілу досліджуваної випадкової величини. Для побудови статистичної функції щільності розподілу $f(x)^2$ на горизонтальній осі будуються інтервали статистичного ряду.

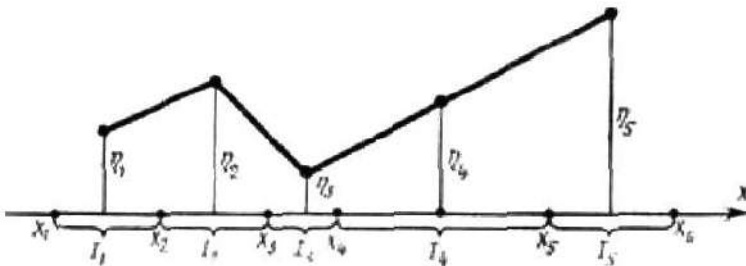


Рисунок 12.2 – Полігон розподілу

На кожному інтервалі I_j , як на підставі, будується прямокутник, висота якого (l_j) визначається як відношення частоти до ширини інтервалу по формулі:

$$l_j = \frac{\eta_i}{x_{j+1} - x_j}. \quad (12.6)$$

Сукупність прямокутників являє собою гістограму розподілу (рис. 12.3). Незавжди побачити, що сума площ усіх прямокутників гістограми дорівнює 1, тобто:

$$\sum_{j=1}^k l_j (x_{j+1} - x_j) = \sum_{j=1}^k \eta_j = 1. \quad (12.7)$$

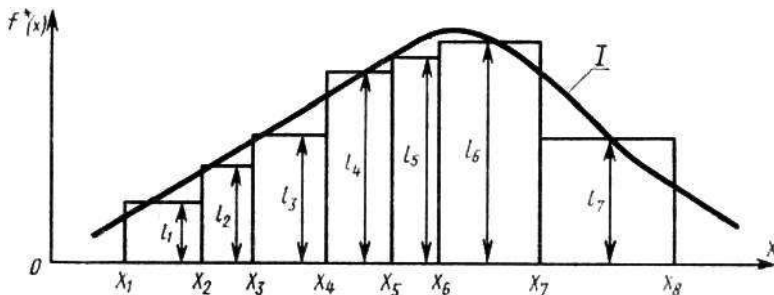


Рисунок 12.3 – Гістограма розподілу

Огинаюча гістограми (крива I на рис. 12.3) являє собою статистичний еквівалент функції щільності розподілу випадкової величини X.

Статистичний ряд дозволяє побудувати також статистичний

еквівалент інтегральної функції розподілу. Відмітимо, що n_j являє собою частоту влучення випадкової величини X в j -й інтервал у даному статистичному матеріалі. У той же час $F(x)$ є ймовірність влучення X в інтервал $(-\infty, x)$. Отже, якщо x_1 є нижня границя першого інтервалу, то $F(x_1)=0$. На інтервалі I_1 інтегральна ймовірність зростає на величину n_1 , на інтервалі I_2 – на величину n_2 і т.д. до останнього k -го інтервалу, на якому вона зростає на величину n_k і досягає значення, рівному 1 (рис. 12.4).

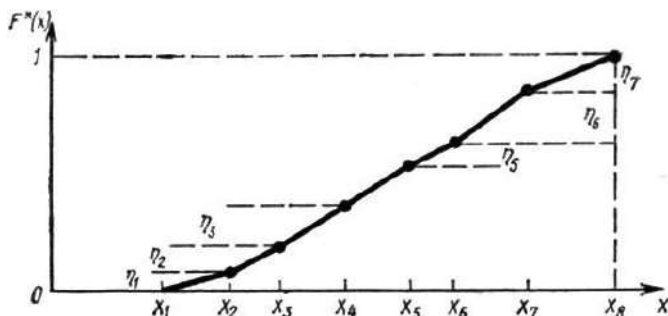


Рисунок 12.4 – Статистична інтегральна функція розподілу

Нескладно побудувати й статистичну зворотну інтегральну функцію розподілу й функцію інтенсивності, скориставшись співвідношеннями (12.2) і (12.3).

На основі графіків статистичних функцій розподілу легко знаходяться статистичні еквіваленти таких точкових числових характеристик, як мода (M_0), медіана (M_c) та ін. Легко знаходяться також по графіках $F(x)$ і $G(x)$ інтервальні характеристики виду $A(x_1, x_2)$ і квантілі.

Статистичні початкові й центральні моменти розподілу обчислюються по формулах:

математичне очікування (статистичне середнє)

$$M(x)=\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad (12.8)$$

дисперсія

$$D(x) = S^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 \quad (12.9)$$

середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = S = \sqrt{D(x)} \quad (12.10)$$

коефіцієнт варіації

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (12.11)$$

Вище описаний лише один з можливих способів вибору параметрів аналітичної моделі закону розподілу, заснований на умові рівності аналітичних і статистичних моментів як основного критерію.

Оцінки числових характеристик.

Якщо на основі результату експерименту над випадковими величинами визначаються деякі числові характеристики досліджуваної випадкової величини, то слід ясно розуміти, що одержувані в такий спосіб цифри можуть відрізнятися від шуканих дійсних значень.

У зв'язку із цим значення числових характеристик, одержувані шляхом статистичних досліджень, прийнято називати оцінками, підкреслюючи тим самим можливість розбіжності їх з дійсними значеннями. У математичній статистиці різняться два види статистичних оцінок – точкові та інтервальні.

Нехай досліджується випадкова величина X і потрібно знайти статистичну оцінку її числової характеристики V_x . Це означає, що по накопичених статистичних даних необхідно визначити деяку величину V_x^* яку можна було б використовувати в розрахунках замість невідомого дійсного значення V_x , не роблячи при цьому великих помилок.

Позначимо наявні статистичні дані a_1, a_2, \dots, a_m .

Величина V_x^* , одержувана в результаті виконання певної операції над вихідними статистичними даними, називається точковою оцінкою числової характеристики V_x .

Отже, приймаючи в розрахунках величину V_x^* замість V_x , ми свідомо допускаємо можливість помилки. Величина цієї помилки й імовірність її залежать від розподілу V_x^* .

Для виявлення ефективних оцінних функцій у математичній статистиці використовується ряд методів: метод максимальної

правдоподібності, метод моментів, міні-максний метод та ін.

При використанні точечної оцінки V_x^* у різних розрахунках замість V_x дуже важливо знати межі можливої помилки та яка її вірогідність, тобто точність та достовірність використовуваної точечної оцінки V_x^* .

Точність статистичних оцінок прийнято характеризувати шириною інтервалу (π), усередині якого з деякою ймовірністю (Q) перебуває дійсне значення шуканої числової характеристики, а вірогідність – величиною ймовірності Q .

Оцінки, які утримують відомості про точність і вірогідність отриманих результатів, називаються інтервальними. Важливість і необхідність інтервальних оцінок (як доповнення до точечних) можна проілюструвати наступними міркуваннями. Якість точечної оцінки, природно тим вище, чим на більшому статистичному матеріалі вона отримана. Тим часом, точкова оцінка сама по собі не несе ніякої інформації про обсяг даних, на якому вона отримана. У результаті цього, одержавши різними шляхами дві точечні оцінки однієї й тієї ж величини, ми не маємо ніяких підстав для того, щоб віддати перевагу одній з них.

У той же час, ці оцінки можуть бути отримані на зовсім різному (за обсягом) статистичному матеріалі, і якість їх (точність і вірогідність) може бути зовсім різною. Таким чином, точечні та інтервальні оцінки дуже добре доповнюють одна одну: точечна оцінка дає конкретну цифру, яка може бути безпосередньо використана в розрахунках, а інтервальна оцінка дає характеристику її точності й вірогідності.

Між двома сторонами інтервальної оцінки – точністю й вірогідністю існує тісний зв'язок. Якщо точність оцінки визначити як ширину інтервалу, побудованого навколо V_x^* та обмежуючого значення V_x , а достовірність Q як вірогідність знаходження V_x^* в тому інтервалі, то при фіксованому об'ємі вихідних статистичних даних ($m = \text{const}$) будь-яка спроба підвищити точність (зменшити ширину інтервалу) неминуче призводить до зниження достовірності та навпаки.

Для побудови інтервальних оцінок у математичній статистиці використовується підхід, що ґрунтується на довірчому інтервалі. Ширина інтервалу π характеризує точність одержуваної оцінки, а ймовірність Q – її вірогідність мають назву

довірчого інтервалу й довірчої ймовірності.

Основна особливість, що відрізняє π та Q полягає в тому, що вони характеризують тільки властивості (обсяг) використаних статистичних даних і зовсім не враховують властивостей шуканої характеристики як випадкової величини.

На основі наявних статистичних даних (a_1, a_2, \dots, a_m) , крім точкової оцінки B_x^* , визначаються також верхня й нижня довірча границі $B_{xв}$ та $B_{xн}$, тобто для будь-якого набору значень (a_1, a_2, \dots, a_m) заздалегідь відома вірогідність Q того, що інтервал $(B_{xн}, B_{xв})$ «накриває» дійсне значення шуканої числової характеристики B_x^* .

Таким чином

$$Q = \text{Вер} \{ B_{xн} \leq B_x \leq B_{xв} \} \quad (12.12)$$

Інтервал $(B_{xв}$ та $B_{xн})$ є довірчим інтервалом, а ймовірність Q -довірчою ймовірністю.

Основні показники надійності та їх кількісне описання.

По визначенню надійністю називається властивість виробу виконувати задані функції зі збереженням своїх експлуатаційних показників у заданих межах за заданий проміжок часу або наробіток.

Складовими надійності є:

- безвідмовність;
- ремонтпридатність;
- збережуваність;
- довговічність.

Під поняттям кількісного опису надійності мається на увазі знаходження закону розподілу випадкової величини. У теорії надійності використовуються чотири способи завдання законів розподілу випадкових величин. Слід тільки зазначити, що розглянуті в теорії надійності випадкові величини – T (час безвідмовної роботи), T_v (тривалість ремонту), T_c (час зберігання), T_d (довговічність) мають розмірність часу й для них завжди слухна рівність:

$$F(0)=0 \quad (12.13)$$

і тому нижня межа інтегрування у вираженнях (12.1)...(12.3)

ухвалюється рівна нулю.

У теорії надійності відіграє важливу роль вираження

$$G(t) = \exp \left\{ -\int_0^t H(t) dt \right\} \quad (12.14)$$

Кожна з функцій $f(t)$, $F(t)$, $G(t)$ та $H(t)$ описують закон розподілу випадкової величини. Таким чином, розподілу випадкових величин T , T_b , T_c , T_d , що задаються в кожній з можливих форм є характеристиками надійності (безвідмовності, ремонтпридатності, збережаності й довговічності, відповідно).

Зворотна інтегральна функція розподілу випадкової величини T одержала назву функції надійності й функції часу безвідмовної роботи й позначається $p(t)$. Функція інтенсивності тієї ж випадкової величини називається інтенсивністю відмов і позначається $\lambda(t)$. Функція інтенсивності часу відновлення T_b названа інтенсивністю відновлення й позначається $\mu(t)$.

Функція інтенсивності $H(t)$, звичайно мало використовується в теорії ймовірностей, у теорії надійності відіграє важливу роль, особливо при описі властивостей безвідмовності виробів (властивостей випадкової величини T). Справа в тому, що саме в характері функції $\lambda(t)$ найбільше наочно проявляється така важлива властивість виробу, як профілактико-придатність, тобто здатність виробу позитивно реагувати на профілактичне обслуговування.

Так, при $\lambda(t) = \text{const}$ профілактичне обслуговування не впливає на результуючу безвідмовність виробу. Якщо похідна за часом функції $\lambda(t) > 0$, то профілактика здатна підвищити безвідмовність, а якщо $\lambda(t) < 0$, то профілактика може лише погіршити показники безвідмовності.

У якості показників безвідмовності, ремонтпридатності, збережаності й довговічності використовуються числові характеристики відповідних випадкових величин: середній час, який позначається \bar{T} з відповідним нижнім індексом.

Широко використовуються також значення прямої та зворотної інтегральних функцій розподілу для фіксованих значень часу (τ):

- імовірність безвідмовної роботи зразка виробу протягом фіксованого інтервалу часу $[0, \tau]$ - $p(\tau)$;

- імовірність відновлення працездатності виробу, що відмовив за заданий час $\tau - F_B(\tau)$;
- імовірність збереження технічних характеристик виробу в умовах зберігання протягом заданого часу $\tau - G_c(\tau)$;
- імовірність того, що ресурс зразка виробу перевищить заданий час $\tau - G_p(\tau)$;
- імовірність того, що термін служби виробу перевищить заданий час $\tau - G_{cc}(\tau)$.

12.2 План і програма випробувань

Випробування для оцінки показників надійності (навіть якого-небудь одного показника) можуть проводитися по різних планах. План випробувань – це порядок (загальна методика, процедура, спосіб) проведення випробувань. План визначає всі основні риси даного способу, експериментальної оцінки оцінюваного показника надійності, що зберігаються незалежно від конкретного виду випробовуваного виробу. Усе, що в даному способі проведення випробувань специфічно для деякого конкретного виду виробу, виходить за рамки плану випробувань.

Кожний план має деяка кількість (k) параметрів (змінних) $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k$ для кожного з яких задається діапазон можливих значень, і значення яких повинні бути визначені до початку випробувань. набір фіксованих значень параметрів плану вмовимося називати перетином плану.

План випробувань можна вважати заданим, якщо визначені:

- оцінюваний показник надійності;
- перелік параметрів плану;
- перелік безпосередніх результатів випробувань (достатня статистика);
- процедура (методика, спосіб) одержання безпосередніх результатів;
- додаткові умови, що визначають рамки застосовності даного плану.

Кожному плану випробувань відповідають певна методика планування (методика вибору перетину плану, що задовольняє поставленим вимогам) і спосіб обробки безпосередніх результатів для одержання шуканої оцінки.

Приведемо кілька прикладів планів випробувань.

План 1. Оцінка ймовірності безвідмовної роботи виробу протягом фіксованого інтервалу часу $[0, \tau]$ $-p(\tau)$ – при довільному розподілі T .

Проводяться n дослідів, кожний з яких полягає у випробуванні одного зразка виробу до витікання часу τ , якщо до цього часу відмова не настала, або до відмови, якщо час виникнення відмовам $t < \tau$. Фіксується кількість дослідів (d), що закінчилися відмовою.

На основі величин m та d обчислюється точечна оцінка $p(\tau)^*$, а також усі необхідні показники точності й вірогідності цієї оцінки (довірчі межі $p_v(\tau)$ і $p_n(\tau)$, що відповідають заданій довірчій ймовірності Q ; абсолютна й відносна довірчі помилки). Наведений опис повністю характеризує план.

План 2. Для оцінки середнього часу T_v відновлення виробу використовується наступний план випробувань.

Проводяться m дослідів по відновленню працездатності зразка виробу що відмовив,. Для кожного дослідів вибирається зразок у стані відмови, яка може виникнути природнім шляхом у процесі його нормальної експлуатації або може бути введена штучно. Набір значень часу t_{vi} від початку ремонту до повного відновлення працездатності зразка являє собою безпосередні результати випробувань. На підставі цих даних розраховується точечна оцінка показника ремонтпридатності \bar{T}_v^* , а також необхідні показники точності й вірогідності.

План 3 передбачає випробування на гамма-процентний ресурс виробу.

Питання для самоперевірки

1. Що таке випадкова величина?
2. Що є характеристикою випадкової величини?
3. Скільки існує описів закону розподілу випадкової величини?
4. Що характеризує диференціальна функція розподілу?
5. Навіщо потрібні експериментальні дані?
6. Які завдання статистичного дослідження випадкових величин?
7. Як визначається тип закону розподілу випадкової величини?
8. Що таке статистичний ряд?

9. На основі чого будуються графіки статистичних функцій розподілу випадкової величини?
10. На основі яких даних знаходяться статистичні функції мода, медіана та інші?
11. Назвіть два види статистичних оцінок.
12. На чому ґрунтується метод інтервальних оцінок?
13. Назвіть основні показники надійності.
14. Що таке план випробувань?
15. Коли план випробувань вважається заданим?

13 ФОРМУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Розглянемо **узагальнену структурну схему формування результатів випробувань**. Отже, при будь-яких випробуваннях, як відомо, визначаються характеристики властивостей продукції (об'єкта випробувань), тобто параметри або (і) показники якості: цільового застосування, надійності, ергономічні, технологічні, екологічні, безпеки та ін. Номенклатура показників якості продукції детально представлена в ГОСТ 22851. При цьому розрізняють два види параметрів і показників якості об'єкта випробувань:

- вимірювані – фізичні величини й похідні від них;
- невимірювані – щільність компонування, зручність користування, раціональність форми та ін.

У якості вимірюваних, контрольованих і керованих виступають параметри наступних видів: температура, тиск і вакуум, вологість, лінійні й кутові, світлові й оптичні, акустичні, електричні й магнітні, електромагнітні й радіотехнічні, рівень, обсяг, витрати, склад і концентрація фізико-хімічних властивостей речовини, сила, маса, швидкість і прискорення, іонізуюче випромінювання, аеродинамічні й комбіновані та ін. (ГОСТ 26001).

Відомо, що випробування проводяться з метою одержання (у нормованих і керованих умовах) інформації про фактичну якість розроблювальної продукції що випускається, і прийняття на цій основі відповідних рішень. При цьому (з погляду одержуваних результатів) виконуються наступні процедури:

- визначення дійсних значень показників якості продукції (дослідницькі випробування);
- оцінка відповідності якості продукції встановленим вимогам (контрольні випробування);
- оцінка рівня якості й технічного рівня продукції (сертифікаційні випробування);
- прогнозування змін показників якості продукції при її виготовленні й експлуатації;
- виявлення частки прихованих дефектів у продукції.

Випробуванням можуть піддавати окремі зразки, у тому числі одиничні, партія зразків, вибірка із цієї партії, тип зразків.

У процесі випробувань на об'єкт випробувань впливають:

- керуючі впливи (що задаються в визначених межах) і ті що поступають від засобів керування на об'єкт випробувань з певною погрішністю;
- іспитові впливи які імітують експлуатаційні фактори;
- вплив на об'єкт випробувань енергоживлення (гідравлічного, пневматичного, електричного та ін.);
- вплив умов випробувань (температура, вологість повітря, забрудненість навколишнього середовища);

При поширенні результату контрольних випробувань зразка на вибірку, партію або тип продукції використовується певний алгоритм узагальнення.

При сертифікаційних випробуваннях отримані показники якості об'єкта випробувань обов'язково повинні супроводжуватися реєстрованими відомостями про те, при яких рівнях іспитових впливів були зафіксовані показники якості об'єкта випробувань. Для цього в іспитових стендах і комплексах передбачаються засоби вимірів і аналізу впливів.

На закінчення відзначимо, що операції вимірів і контролю суттєво відрізняються одне від одного й від операцій випробувань об'єкта випробувань. Дійсно:

- при вимірах оцінюють фізичні параметри або їх групу (непрямі виміри), тоді як предметом оцінки при випробуваннях і контролі є показники якості об'єкта випробувань у цілому;
- при вимірах одержують результати, що характеризують окремі параметри зразка продукції, у той час як при випробуваннях формують результати, що характеризують партію й (або) тип продукції в цілому;
- метод вимірів припускає обов'язкову наявність засобів вимірів, тоді як при випробуваннях і контролі, оцінки якості продукції й (або) її технічного рівня, нерідко формує експерт або група експертів.

Як відомо, при випробуваннях крім вимірів використовують вимірювальний і статистичний контроль, а також розрахунковий, ор-ганоліптичний і реєстраційний методи оцінки якості об'єкта

випробувань. При цьому результатами вимірів є кількісні оцінки значень параметрів продукції, а при випробуваннях, крім того, одержують альтернативні висновки й статистичні виводи (у тому числі і якісні).

Із точки зору погрішностей і помилок випробувань, специфічним для сертифікаційних випробувань є:

- ієрархічне узагальнення погрішностей від параметрів продукції до зразка, вибірки, партії й типу в цілому;
- взаємозв'язок точностних характеристик випробувань із показниками статистичного контролю (ГОСТ 2073; ГОСТ 18242 та ін.), технологічних операцій (ГОСТ 16305 та ін.), експертних методів оцінки якості продукції.

Розглянемо точностні характеристики результатів випробувань, базуючись на викладеній вище узагальненій структурній схемі їх формування і на аналізі вітчизняної й закордонної нормативної документації в області точностних характеристик випробувань.

13.1 Точностні характеристики результатів випробувань

У вітчизняній і закордонній нормативній документації розрізняють наступні точностні характеристики методів випробувань об'єкта випробувань: чутливість; адекватність; точність результатів; вірогідність результатів; правильність результатів; повторюваність результатів; відтворюваність результатів. Крім того, випробування характеризуються також тривалістю, швидкодією, вартістю й ефективністю.

Чутливість методу випробувань – це така властивість випробувань, яка характеризується мінімальною величиною або мінімальною зміною оцінюваного при випробуваннях параметра або (і) показника якості об'єкта випробувань, при яких (у заданих умовах) виходить шуканий результат з необхідною точністю (див. ГОСТ 23480, ГОСТ 17.1.4.01, ГОСТ 18442, ASTM – 2188 та ін.).

Адекватність методу випробувань – це властивість випробувань, характеризувана відповідністю умов випробувань об'єкта випробувань передбачуваним умовам його експлуатації.

Очевидно, що на іспитовому стенді неможливо одночасно

відтворювати всі діючі на об'єкт випробувань в процесі експлуатації фактори, ні по їхньому складу, ні по характеристиках їх зміни в часі, тим більше що певна частина експлуатаційних факторів підкоряється законам нестационарних випадкових процесів, що вимагають для їхньої реалізації в процесі випробувань значних витрат.

Із цього погляду застосовувані в промисловості іспитові стенди і здійснювані ними процеси генерування іспитових впливів можна розглядати як фізичні моделі, у яких лише з деяким наближенням моделюються (імітуються) умови експлуатації випробуваних об'єктів.

У зв'язку із цим найважливішим завданням при практичному використанні тієї або іншої фізичної моделі розглянутого виду є визначення її адекватності, тобто ідентичності, близькості фізичної моделі (по певних ознаках і показниках) до реальних умов експлуатації, тому що використання неадекватної фізичної моделі знижує вірогідність результатів випробувань, що може привести в остаточному підсумку до аварійних ситуацій у процесі експлуатації об'єкта випробувань, травмуванню або загибелі людей, економічним втратам та іншим небажаним наслідкам.

Причинами неадекватності розглянутої фізичної моделі (іспитових стендів і процесів генерування іспитових впливів) можуть бути:

- обмеження по числу й виду одночасно імітованих експлуатаційних факторів, а в тому випадку, коли склад імітованих факторів на іспитовому стенді для випробування того або іншого виробу визначений, різні допущення, пов'язані з вибором вихідних передумов (по виду використовуваних закономірностей, точності та ін.), прийнятих при розробці реалізованих на іспитовому стенді процесів генерування іспитових впливів;
- погрішності вимірів і обробки вимірювальної інформації та інші причини неадекватності.

Розглянемо більш детально наступні характеристики випробувань: точність, правильність, повторюваність, відтворюваність і вірогідність.

Точність результатів (методу) випробувань. Точність

результату або методу випробувань – це характеристика близькості результату випробувань об'єкта випробувань до дійсного (при теоретичному розгляді) або дійсного (при експерименті) значення оцінюваної величини.

Правильність результатів (методу) випробування. Характеристика ступеня близькості до нуля систематичних погрешностей результатів вимірів за ГОСТ 16263 називається правильністю вимірів. Тому правомірно назвати правильністю результатів означальних випробувань характеристики близькості до нуля систематичних (у тому числі невиключених систематичних) відхилень оцінки результатів означальних випробувань від їхнього справжнього або дійсного значення. Однак правильність результатів випробувань у вітчизняних стандартах у цей час не нормується й не оцінюється. На необхідність використання такої характеристики при атестації методів вимірів і випробувань із використанням зразкових засобів вимірів (зокрема, стандартних зразків речовин і матеріалів) вказується в ГОСТ 25051.2-82 та ГОСТ 8.508-84.

Повторюваність результатів (методу) випробувань. При проведенні повторних випробувань зразка продукції (за єдиною методикою, у незмінних умовах, тим самим засобом випробувань, у практично однакових умовах і тим самим випробувачем) їх результати будуть як правило, відрізнятися одне від одного, залишаючись у межах устанавленого допуску.

Характеристика випробувань, що відбиває близькість друг до друга результатів повторних випробувань продукції, виконаних по одній методиці в незмінних умовах, називається повторюваністю результатів випробувань.

Відтворюваність результатів (методу) випробувань. Результати випробувань (зокрема, вимірів і аналізу) того самого зразка продукції, виконані по одній методиці, але в різних умовах (різними засобами одного типу, різними випробувачами, при різних кліматичних умовах) можуть суттєво (значимо) різнитися. Цій властивості повторних випробувань (зокрема, вимірів) продукції відповідає особлива характеристика – відтворюваність (Reproducibility) результату (методу) (ГОСТ 16263, ГОСТ 20242, ГОСТ 23603, РДМУ 109, ASTMЕ-173, ASTMЕ- 177, ASTMЕ-28, ІСО 2592, ІСО 259, BS 5497 та ін.).

У якості показників відтворюваності методів випробувань виступають: розбіжність між результатами повторних випробувань.

Достовірність результатів (методу) випробувань. Достовірність результатів (методу) випробувань – це характеристика контрольних випробувань, що відбиває відповідність одержуваних при випробуваннях результатів їх дійсним значенням. Аналогічним наведеному є визначення терміна «вірогідність оцінки результату експерименту», наведене в ГОСТ 15895. Це – «стійка відповідність результатів експерименту дійсному значенню оцінюваної величини при довільному числі експериментів, що здійснюються в однакових керованих умовах».

Точність іспитових стендів і комплексів. Іспитові стенди й комплекси в більшості випадків являють собою досить складні, великогабаритні й енергоємні сукупності взаємозалежних і спільно діючих технічних пристроїв, призначених для:

- установки й закріплення в заданому положенні об'єкта випробувань;
- створення іспитових впливів, що імітують фактори й навантаження, що діють на технічну систему (об'єкт) в процесі експлуатації;
- визначення кількісних і якісних характеристик об'єкта випробувань як результату іспитових впливів;
- керування процесом випробувань;
- живлення об'єкта випробувань та іспитового стенду або комплексу гідравлічною, пневматичною, електричною та іншими видами енергії.

В існуючих стандартах найбільш повно відбиті загальні методи оцінок метрологічних характеристик засобів вимірів (систематичної і випадкової складових погрішності, характеристики погрішності, функції впливу діапазону вимірів та ін.) і точностних характеристик засобів автоматизації. Так, ГОСТ 8.508 регламентує:

- визначення метрологічних характеристик властивостей засобів вимірів і засобів автоматизації (перевірка істотності систематичної й випадкової складових погрішності, варіації, дрейфу, кореляції відліку

- погрішності, нормальності закону розподілу);
- вибір методики оцінки (контролю) метрологічних характеристик засобів вимірів і точностних характеристик засобів автоматизації (тимчасового інтервалу між відліками вихідного сигналу, послідовності операцій подачі зразкових сигналів, обсягу вибірки);
- вибір алгоритму обробки інформації, що відповідає заданій (установленій) сукупності метрологічних і точностних властивостей засобів вимірів і засобів автоматизації при оцінці (контролі) їх метрологічних або точностних характеристик;
- безпосередню оцінку показників точності й вірогідності оцінки (контролю) метрологічних характеристик засобів вимірів і точностних характеристик засобів автоматизації;
- оцінку показників і вірогідності оцінки (контролю) метрологічних характеристик засобів вимірів і точностних характеристик засобів автоматизації.

На основі проведеного вище аналізу й узагальненої структурної схеми формування результатів випробувань, сформуємо наступний комплекс точностних характеристик випробувань, який включає:

- точність результатів означальних випробувань;
- вірогідність результатів контрольних випробувань;
- повторюваність результатів повторних випробувань;
- відтворюваність результатів повторних випробувань;
- точність засобів вимірів при випробуваннях;
- точність засобів автоматизації керування процесом випробувань;
- точність характеристик джерел енергії;
- адекватність і точність імітаторів, що забезпечують створення іспитових впливів.

13.2 Формування результатів контрольних випробувань

Технічний стан об'єкта визначається сукупністю параметрів, що характеризують здатність його систем виконувати задані функції. Розрізняють дві групи параметрів:

- функціональні параметри, що є безперервними аналоговими сигналами;
- сигнальні параметри, що змінюють свій стан стрибком і характеризуються тільки двома значеннями (0 і 1).

Відповідно із усього комплексу завдань, розв'язуваних при визначенні технічного стану об'єкта, можна виділити основні:

- допусковий контроль функціональних і сигнальних параметрів;
- груповий контроль сигнальних параметрів;
- контроль неспостережуваних параметрів (завдання ідентифікації, діагностики, розрахунки ефективності і т.п.).

Розрізняють наступні види технічного стану: справний й несправний; працездатний і непрацездатний стани.

Справним станом системи об'єкта називається стан, при якому вона задовольняє всім вимогам, установленим нормативною документацією.

Працездатним станом системи називається стан, при якому вона здатна виконувати задані функції, зберігаючи значення контрольованих параметрів у встановлених межах.

Поняття справності ширше поняття працездатності. Працездатна система задовольняє не всім вимогам, а лише тим, які пов'язані із забезпеченням її нормального функціонування. При цьому частина вимог, що наприклад ставляться до зовнішнього вигляду, може не задовольнятися. У результаті контролю ухвалюється рішення про те, у якому стані у момент перевірки перебуває система що перевіряється. Якщо виявлена в процесі контролю зміна параметрів об'єкта приводить до часткової або повної неможливості його використання по призначенню (втраті функціональних властивостей), то об'єкт визнається негідним. При збереженні функціональних властивостей об'єкт визнається придатним.

При допусковому контролі, рішення про придатність або непридатність технічних систем ухвалюється за результатами вимірів залежно від того, чи перебуває контрольований параметр у припустимих межах (допуск) або виходить за їхні границі.

Допуском на контрольований параметр називаються границі значень параметра, при яких система, що перевіряється, справна

протягом необхідного часу в заданих умовах роботи. Допуск може бути однобічним (нижнє або верхнє граничне відхилення від номінального значення параметра) і двостороннім.

Допуски встановлюються для забезпечення основних функціональних показників технічних систем, виходячи із призначення цих систем і умов їх застосування.

Розрізняють допуски: *арбітражний* (для параметрів розроблювальної системи), *виробничий* (для параметрів системи, що виготовляється), *експлуатаційний* (для параметрів експлуатованої системи), *ремонтний* (для параметрів ремонтваної системи).

Так, *експлуатаційний допуск* – це такі встановлені дослідним і розрахунковим шляхом границі, у яких повинно перебувати значення контрольованого параметра, щоб система виконувала необхідні функції протягом заданого часу за певних умов експлуатації із заданою ймовірністю.

Таким чином, допусковий контроль полягає в тому, щоб встановити, чи перебувають значення контрольованих параметрів у полі експлуатаційного допуску або виходять за його межі.

Найбільш загальною характеристикою контролю є вірогідність, яка характеризує здатність апаратури контролю правильно відбивати реальний стан контрольованої системи.

Погрішності вимірів параметрів можуть привести до помилкових рішень, тобто несправна система визнається придатною, а справна – негідною. Очевидно, імовірність ухвалення неправильного рішення при контролі зменшується з ростом точності вимірів.

Однак підвищення точності вимірів пов'язане зі збільшенням витрат на вдосконалювання вимірювальних засобів, внаслідок чого контроль із дуже високим ступенем вірогідності прийнятих рішень виявляється економічно недоцільним. У зв'язку із цим виникає завдання обґрунтування раціональних вимог до точності контрольної-вимірювальної апаратури, що задовольняє певним вимогам по вірогідності контролю. Для розв'язку цього завдання необхідно досліджувати вплив погрішності вимірів на імовірнісні характеристики результатів контролю. Тому поряд з алгоритмами допускового контролю в математичному забезпеченні систем обробки даних випробувань необхідно передбачити розрахунки

показників вірогідності рішень, прийнятих на підставі результатів контролю.

13.3 Формування результатів повторних випробувань

При проведенні повторних випробувань однотипної продукції має місце проблема відтворюваності, у зв'язку із чим з'являється необхідність розрахунків, нормування й оцінки розбіжності результатів таких випробувань. При цьому під відтворюваністю результатів розуміють таку їхню властивість, коли кожний повторний результат статистично незначимо відрізняється від попереднього (термін «значимість» визначений у ГОСТ 15895-77). Одним із завдань цієї проблеми є вибір і стандартизація показників відтворюваності результатів повторних випробувань.

Залежно від виду повторних випробувань, тобто від того, де й у яких умовах вони проводяться (в одній і тій же лабораторії, в однакових умовах, тими самими методами, засобами й випробувачами або в різних лабораторіях, у різних умовах, різними засобами й методами), результати цих повторних випробувань можуть мати різний розподіл або при однакових видах розподілу – суттєво різні параметри.

А це означає статистичну неоднорідність одержуваних при випробуваннях результатів. Тому оцінка відтворюваності повинна зводитися до відомого в статистиці завдання перевірки гіпотези про тотожність законів розподілів – гіпотези однорідності результатів, а показники відтворюваності доцільно шукати серед заходів близькості законів розподілів цих результатів (так званих критеріїв однорідності).

13.4 Методи підвищення точності результатів випробувань

Відмова технічної системи – це випадкова подія, обумовлена великою кількістю непередбачених факторів. Час від моменту включення устаткування до його першої відмови також являє собою випадкову величину.

Традиційно при проведенні випробувань підсистем вимоги до них визначаються шляхом декомпозиції вимог до системи в цілому. При великій кількості підсистем такі автономні вимоги

настільки посилюються, що підтвердження їх по проведеному на практиці обсязі випробувань стає нереальним.

Так, якщо необхідна ймовірність безвідмовної роботи виробу становить 0,9, то при числі підсистем до $n = 10$ їх надійність повинна бути 0,99, а при до $n = 100$ – 0,999. Для підтвердження однієї дев'ятки з довірчою ймовірністю 0,9 досить випробувати виріб 23 рази, для двох дев'яток – 230 раз, а для трьох дев'яток – 2303 рази.

Тільки системний підхід до планування обсягу випробувань підсистем дозволяє уникнути лавинообразного наростання необхідних обсягів випробувань. Він полягає в побудові оцінок і довірчих інтервалів показників ефективності системи за відомими оцінками показників ефективності підсистем і обґрунтуванні вимог до обсягу їх випробувань, що виходять із аналізу властивостей оцінок системи в цілому.

У процесі проектування складних систем у результаті проведення теоретичних розрахунків, математичного й напівнатурного моделювання, різного виду випробувань, а також використання досвіду проектування аналогічних виробів накопичується значна інформація про надійність і ефективність розроблювального виробу.

На жаль, ця інформація різномірдна, тобто оцінюються різні показники ефективності як підсистем, так і системи в цілому, виміри параметрів і характеристик системи проводяться з різною точністю, випробування здійснюються в різних умовах та ін. Усе це утрудняє використання наявної великої апріорної інформації й вимагає розробки математичних методів одержання комбінованих (об'єднаних) оцінок показників надійності й ефективності виробів.

Аналіз методів одержання об'єднаних (комбінованих) оцінок з використанням апріорної й експериментальної інформації дозволяє рекомендувати байесовські оцінки як найбільш теоретично обґрунтовані, оптимальні по точності.

Байесовський метод оцінювання заснований на використанні найбільш повної апріорної інформації про оцінюваний показник у вигляді апріорного розподілу невідомого оцінюваного параметра і щільності розподілу вимірюваних характеристик як функції невідомого показника (функція правдоподібності).

Байсовський метод оцінювання в традиційній формі використовується для аналізу результатів випробувань проте він не пристосований для розв'язку завдань планування.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть два види показників якості об'єкта випробувань.
2. Для чого проводяться випробування?
3. Який порядок дій при проведенні випробувань?
4. Що впливає на об'єкт випробувань?
5. Чим відрізняються операції вимірювання і контролю?
6. Яка специфіка сертифікаційних випробувань?
7. Перелічіть точнісні характеристики результатів випробувань.
8. Що таке адекватність методу випробувань?
9. Чим характеризується чутливість методу випробування?
10. Які можуть бути причини неадекватності фізичної моделі?
11. Що розуміють під точністю результатів випробувань?
12. Навіщо необхідна повторюваність результатів випробувань?
13. Що таке достовірність результатів випробувань?
14. Що включає в себе комплекс точнісних характеристик випробувань?

14 СЕРТИФІКАЦІЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У наш час загально визнано, що сертифікація – одна з найбільш ефективних форм забезпечення якості продукції або послуг, а також їх конкурентоспроможності на внутрішньому й зовнішніх ринках. Зародившись спочатку як інструмент протекціонізму, сертифікація надалі перетворилася в засіб правового регулювання торговельних відносин і формування партнерства між підприємствами.

Сучасні форми сертифікації забезпечують:

- гарантію якості продукції (послуги) шляхом запобігання потрапляння на ринок продукції, не відповідної до вимог нормативних документів;
- довіра до якості експортованої продукції;
- запобігання імпорту продукції, що не відповідає вимогам нормативних документів;
- заміщення імпортової продукції високоякісною вітчизняною;
- захист виготовлювача від конкуренції з постачальниками несертифікованої продукції;
- розширення рекламних можливостей постачальника;
- стабільна якість кінцевої продукції за умови застосування сертифікованих комплектуючих виробів і матеріалів.

Багатофункціональність сфери сертифікації вимагає формування відповідної інфраструктури – органів по сертифікації й акредитованих іспитових лабораторій, чим забезпечує зайнятість великої кількості людей. Особливо важлива сертифікація для складних технічних систем, відмови яких найчастіше приводять до важких наслідків.

Наприклад, сертифікація аудіо– і відеотехніки не потребує підтвердження в рамках сертифікаційних випробувань показників надійності, а для засобів транспорту перевірка показників надійності обов’язкова. Таким чином, особливості сертифікації складних систем повинні бути предметом спеціального вивчення.

Вирішенню питань сертифікації велику увагу приділяють

такі міжнародні організації, як Міжнародна організація по стандартизації (ISO), Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК), Всесвітня торговельна організація (СОТ) та ін. Сертифікація сьогодні розглядається як засіб, що не тільки полегшує виробникові вихід на ринки інших країн, але й суттєво підвищує ефективність виробництва.

Особливе місце займає сертифікація систем якості постачальника продукції (виконавця послуги) на відповідність вимогам стандартів ISO серії 9000 або інших стандартів, що встановлюють вимоги до систем якості (наприклад QS-9000, TL-9000).

Така сертифікація особливо важлива при виході підприємства на міжнародні ринки, при участі в міжнародних тендерах та інших проектах. А отже добитися підвищення конкурентоспроможності продукції в сучасних умовах можна тільки шляхом корінної перебудови, реорганізації підприємства. Цьому процесу є спеціальне найменування – реінжиніринг.

Саме слово «**сертифікація**» утворене від слова «сертифікат» (лат. certum – вірно + facere – робити), тобто «зроблене вірно». Сертифікатом засвідчують який-небудь факт, наприклад походження, дійсність товару і т.п. Найпоширенішим випадком застосування сертифікації є підтвердження відповідності якого-небудь об'єкта встановленим до нього вимогам (рис. 14.1).

Підтвердити відповідність може кожна із зацікавлених сторін: перша – виготовлювач, продавець, виконавець, друга – споживач, замовник, третя – незалежний орган. Перша сторона підтверджує відповідність за допомогою прийняття виготовлювачем (продавцем, виконавцем) декларації.

Декларація про відповідність – документ постачальника продукції (виконавця робіт, послуг), у якому він під свою відповідальність письмово заявляє, що продукція, що поставляється їм (виконувани роботи, послуги) відповідає вимогам стандартів або інших нормативних документів.

Протиріччя між першою й другою сторонами в оцінці відповідності продукції, процесу або послуги тим самим вимогам проявляється досить часто, тому найбільш об'єктивною оцінкою вважають оцінку третьою стороною – особою або органом, що визнаються незалежним від сторін, що брали участь у

розглянутому питанні.

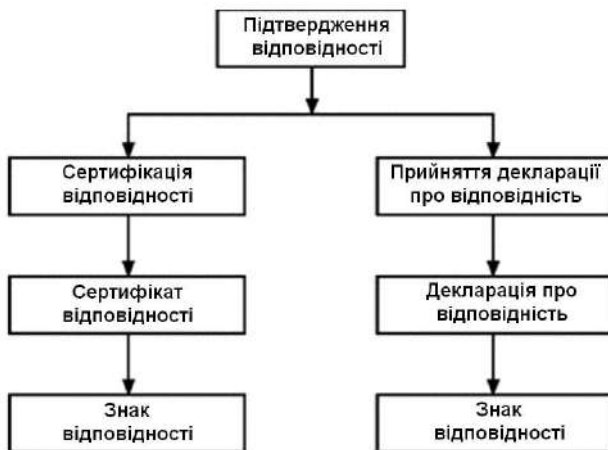


Рисунок 14.1 – Підтвердження відповідності якого-небудь об'єкта встановленим до нього вимогам

Сторони що беруть участь – це, насамперед, виготовлювачі, продавці, виконавці, споживачі або інші суб'єкти що представляють їхні інтереси. Участь третьої сторони в підтвердженні відповідності є головною ознакою сертифікації.

Сертифікація – процедура підтвердження відповідності, за допомогою якої третя сторона письмово засвідчує, що продукція, процес або послуга відповідають заданим вимогам. Сертифікація може носити обов'язковий або добровільний характер.

Обов'язкова сертифікація – сертифікація, яка вводиться законами для певної продукції й проводиться уповноваженими на те органами на відповідність законодавчим актам, обов'язковим вимогам технічних регламентів, стандартів або інших нормативних документів, прийнятих відповідно до законодавства. Обов'язкова сертифікація вводиться для захисту інтересів населення й держави. Як правило, підтверджуються встановлені законом вимоги безпеки для життя, здоров'я, майна громадян і навколишнього середовища. Обов'язкова сертифікація є необхідною умовою допуску продукції на ринок і (або) її використання.

Добровільна сертифікація – сертифікація, яка проводиться з

ініціативи заявника в зареєстрованій системі сертифікації на відповідність будь-яким вимогам, обумовленим заявником. Добровільна сертифікація є засобом підвищення конкурентоспроможності продукції й послуг на внутрішньому й зовнішньому ринках. Обов'язкова й добровільна сертифікації базуються на єдиних принципах. Позитивний результат сертифікації засвідчує сертифікатом відповідності.

Сертифікат відповідності – документ, що підтверджує, що належним чином ідентифікована продукція, процес або послуга відповідають конкретному стандарту або іншому нормативному документу. Сертифікат відповідності оформляють на офіційному бланку. Як правило, він містить інформацію про орган який видав сертифікат, заявника, сертифіковану продукцію (процеси, послуги), нормативні документи на відповідність яким проведена сертифікація. Сертифікат підписують особи, уповноважені органом по сертифікації, і видають його заявникові. Поряд із сертифікатом відповідності застосовують знак відповідності.

Знак відповідності – зареєстрований у встановленому порядку знак, яким за правилами даної системи сертифікації підтверджується, що маркірована ним продукція відповідає вимогам документів, зазначених у сертифікаті відповідності.

Знак підтверджує не тільки відповідність продукції, процесу або послуги встановленим вимогам, але й що цей факт підтверджений процедурою сертифікації. Цим, знак відповідності, в області сертифікації, відрізняється від знака відповідності державним стандартам.

Право на застосування знака відповідності надається заявникові спеціальним дозволом або ліцензією, видаваними органом по сертифікації. Знак відповідності може бути нанесений безпосередньо на продукцію, на тару, упакування, на супровідну документацію, що надходить до споживача разом з товаром, а також використовуватися в рекламі, друкованих виданнях, на офіційних бланках і вивісках. Сертифікацію проводять у рамках певної системи сертифікації.

Система сертифікації – сукупність учасників сертифікації й правил керування й процедур і може включати кілька підсистем – систем сертифікації однорідної продукції. Система сертифікації однорідної продукції – система сертифікації, що відноситься до

певної продукції, процесів або послуг, для яких застосовуються ті самі конкретні стандарти, правила й та сама процедура. Систему сертифікації однорідної продукції може очолювати центральний орган.

Центральний орган – це юридична особа, визначена для організації й координації робіт у системі сертифікації однорідної продукції. Основними учасниками системи сертифікації є органи по сертифікації та іспитові лабораторії.

Орган по сертифікації – орган, що проводить сертифікацію. Орган по сертифікації продукції використовує для ухвалення рішення про видачу сертифіката результати випробувань, проведених іспитовою лабораторією, результати сертифікації системи якості або виробництва заявника, проведеної органом по сертифікації системи якості, або результати власної оцінки стану виробництва. Безпосередню роботу із сертифікації проводять експерти.

Експерт по сертифікації – фахівець, атестований у встановленому порядку для проведення робіт із сертифікації в певній області.

Іспитова лабораторія – лабораторія, яка проводить випробування (окремі види випробувань) певної продукції. Кілька іспитових лабораторій можуть бути об'єднані загальною сферою діяльності і єдиним керівництвом. У цьому випадку застосовують термін «іспитовий центр». Для здійснення робіт із сертифікації органи по сертифікації й іспитові лабораторії акредитуються у встановленому порядку й здійснюють свою діяльність відповідно до їхніх областей акредитації.

Заявник – юридична або фізична особа, що надала продукцію на сертифікацію й відповідальна за якість і безпеку цієї продукції. Заявником може бути юридична особа або індивідуальний підприємець, що є виготовлювачами продукції, що підлягає сертифікації, або продавцями цієї продукції. Залежно від результатів сертифікації заявникові видається або не видається сертифікат відповідності.

Тримач сертифіката – організація або громадянин, на чие ім'я виданий сертифікат відповідності. Сертифікацію продукції проводять певним способом, за встановленою формою – схемі сертифікації.

Схема сертифікації – певна сукупність дій, результати яких ухвалюються як докази відповідності продукції встановленим вимогам. Схема сертифікації продукції може складатися з однієї або декількох способів перевірки, таких, як випробування зразків продукції, перевірка її виробництва, інспекційний контроль сертифікованої продукції. Продукція, що підлягає сертифікації, повинна бути певним чином ідентифікована.

Ідентифікація продукції – процедура, за допомогою якої встановлюють тотожність представленої на сертифікацію продукції найменуванню та іншим ознакам, зазначеним у стандартах або технічній документації, та інформації про продукцію. Ідентифікація проводиться заявником і органом по сертифікації.

Сертифікаційні випробування – випробування зразків продукції для розв'язку питання про можливість видачі сертифіката. Перевірка виробництва в схемах сертифікації здійснюється різними способами: аналізом стану виробництва, сертифікацією систем якості або виробництва постачальника.

Аналіз стану виробництва – процедура, за допомогою якої орган по сертифікації продукції оцінює виробництво сертифікованої продукції з погляду можливості підтримки протягом певного строку стабільності характеристик, підтверджуваних сертифікатом відповідності.

Інспекційний контроль над сертифікованою продукцією – контрольна оцінка відповідності, здійснювана органом по сертифікації з метою встановлення того, що сертифікована продукція, що поставляється, продовжує відповідати заданим вимогам, підтвердженням при сертифікації. Інспекційний контроль у відповідності зі схемою сертифікації передбачає перевірку тих же елементів, що й при первинній сертифікації.

Загальне поняття «акредитація» походить від латинського слова «accredere» – «довіряти», тобто випробувати почуття впевненості в будь-чій сумлінності, щирості, об'єктивності, у правильності чого-небудь. Донедавна акредитація розглядалася винятково як процедура призначення й початку виконання своїх обов'язків офіційного представника одної держави або однієї організації при іншій державі (організації). З розвитком сертифікації акредитація стала необхідним атрибутом допуску

організацій до робіт із сертифікації й перетворилася в самостійний вид діяльності.

Акредитація (для цілей сертифікації) – процедура, за допомогою якої повноважний (авторитетний) орган офіційно визнає можливість певної організації виконувати конкретні роботи – її компетентність. Головними об'єктами акредитації в області сертифікації є органи по сертифікації й іспитові лабораторії (центри). Ця процедура проводиться в рамках певної системи акредитації. Система акредитації – система, що володіє власними правилами процедури й керування для здійснення акредитації об'єктів. Основним учасником системи акредитації є акредитуючий орган.

Акредитуючий орган – орган, який управляє системою акредитації й проводить акредитацію в системі.

Об'єктами керування системи акредитації є діяльність по акредитації заявників. Безпосередню роботу, пов'язану з акредитацією конкретної організації, виконують експерти по акредитації.

Експерт по акредитації – особа, що здійснює всі або окремі функції, що відносяться до акредитації відповідних об'єктів, що й володіє компетентністю, визнаною акредитуючим органом. Компетентність оцінюється стосовно до певних об'єктів акредитації (експерт по акредитації іспитових лабораторій, експерт по акредитації органів по сертифікації тощо). Акредитація здійснюється з ініціативи заявника акредитації.

Заявник (акредитації) – організація, що претендує на акредитацію, що й представила письмову заявку про це в акредитуючий орган. Заявник може претендувати на акредитацію своєї організації як органа по сертифікації або іспитової лабораторії, або того й іншого. Пропонована заявником сфера діяльності оформляється як область акредитації.

Область акредитації – один або кілька видів робіт, на виконання яких акредитована конкретна організація. Область акредитації звичайно включає об'єкти сертифікації й (або) види випробувань, нормативні документи, відповідно до яких проводиться сертифікація. Область акредитації обмежується певними рамками об'єктів сертифікації або випробувань, застосовуваними нормативними документами й

підтверджуваними вимогами об'єктів сертифікації або випробувань.

Критерії акредитації – вимоги, яким повинен відповідати об'єкт акредитації. Усі критерії акредитації зводяться до компетентності, неупередженості й незалежності й установлюються стандартами або іншими нормативними документами. Відповідність організації критеріям акредитації перевіряють попередньо по документах, представленим заявником, а потім – безпосередньо в організації-заявнику акредитації.

Експертиза документів заявника – аналіз комплектності, змісту й оформлення документів, представлених заявником з метою визначення їх відповідності критеріям і правилам акредитації й оцінки можливості акредитації заявника.

Експертний висновок – документ, що містить результати експертизи документів, представлених заявником на акредитацію. Атестація – безпосередня перевірка на місці об'єкта акредитації з метою визначення його відповідності встановленим вимогам (критеріям акредитації). Атестація є процедурою, що передуює узагальнюючому аналізу отриманих доказів і ухваленню рішення по акредитації (або відмові в акредитації).

Програма атестації – документ, що містить перелік питань до об'єкта акредитації, способів перевірки й виконавців.

Акт атестації – документ, що складається експертами по акредитації за результатами атестації.

Атестат акредитації – документ, виданий за правилами системи акредитації, що й засвідчує факт офіційного визнання акредитуючим органом компетентності організації в певній області діяльності (області акредитації).

Термін дії акредитації – календарна тривалість від дати реєстрації атестата акредитації в реєстрі відповідної системи акредитації до встановленої дати припинення його дії. Можливість збереження дії акредитації в межах терміну дії атестата акредитації підтверджується за результатами інспекційного контролю.

Інспекційний контроль – перевірка, проведена акредитуючим органом з метою встановлення, що діяльність акредитованого органа по сертифікації або іспитовій лабораторії

(центру) продовжує відповідати встановленим вимогам. Призупинення дії атестата акредитації – тимчасове припинення дії акредитації при порушенні її умов до виконання коригувальних заходів у встановлений термін.

Скасування дії атестата акредитації – безумовне припинення дії акредитації при виявлених порушеннях критеріїв акредитації.

Акредитація на новий строк – акредитація, проведена у зв'язку з витіканням терміну дії раніше виданого атестата акредитації.

14.1 Системи сертифікації: міжнародні, регіональні, національні

Французька асоціація по стандартизації (AFNOR) у публікації «Certificat», підготовленої під патронажем Європейського комітету зі стандартизації (СЕН) в 1992 році, привела дані про діючих в 15 країнах-членах Європейського Економічного Співтовариства (СЕС) і Європейської Асоціації Вільної Торгівлі (ЄАВТ) системах сертифікації, органах по сертифікації й по сертифікованій продукції (по 53 видах). По даним AFNOR, у країнах ЄАВТ сертифікується більш 5000 виробів, діє більш 300 систем сертифікації й більш 700 органів по сертифікації.

Аналіз цих відомостей показав, що в більшості країн сертифікацією охоплюються такі види продукції, як:

- нагрівальні пристрої (14 країн);
- електроустаткування, електродвигуни, освітлювальні пристрої, засоби забезпечення безпеки й охорони здоров'я (13 країн);
- трубопровідна арматури, засоби пожежного захисту, будівельна техніка, системи водопостачання, тара й упакування (12 країн);
- техніка для домашнього господарства, лабораторне устаткування, цемент, бетон і відповідне устаткування, механічні пристрої, верстати й інструмент (11 країн);
- складське й транспортне устаткування, сільськогосподарська продукція й відповідне устаткування, медична техніка, устаткування й вироботи

для занять мистецтвом, спортом і для відпочинку (10 країн).

У той же час лише в одній країні сертифікації підлягають шкіряні й хутряні вироби й відповідне устаткування (Німеччина), дві країни (Німеччина й Нідерланди) сертифікують залізничну техніку, у трьох країнах (Німеччини, Великобританії й Франції) об'єктами сертифікації є оптика й фототовари.

Сертифікація, давно й широко використовувана в промислово розвинених і країнах що розвиваються в міжнародному економічному співробітництві, дозволяє їм захищати свій ринок від появи продукції, не відповідної до національних стандартів або іншим технічним нормам. Стандарти й технічні норми на ту саму продукцію в різних країнах звичайно різняться, як і процедури проведення сертифікації, що створює так звані технічні бар'єри в міжнародній торгівлі.

Тому важливим фактором, що забезпечує рівноцінне партнерство конкурентів на світовому ринку й граючим вирішальну роль на міжнародному рівні, є стандарти, прийняті на основі «консенсусу».

Вони встановлюють правила, що регламентують приведення взаємин між покупцем і продавцем до згоди як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку. Як правило, у кожній країні діє кілька систем сертифікації. Їхня різноманітність і численність визначаються різноманітністю законодавчої бази, національної практики й традицій стандартизації в галузях охорони праці, здоров'я й навколишнього середовища, захисту прав споживачів і т.п.

Поряд з митними тарифами, що захищають господарство країн від зовнішньої конкуренції, широко й регулярно застосовуються нетарифні засоби обмеження імпорту товарів, які, крім ускладнення митних формальностей, антидемпінгових процедур, податків на імпорт і т.п., містять у собі обмеження, засновані на чинних правилах в області охорони здоров'я, захисту навколишнього середовища, стандартизації й сертифікації (атестації) продукції, а також на санітарних, ветеринарних і адміністративних формальностях.

Майже у всіх країнах спеціальні служби, розташовані на

кордонах, забезпечують такі види контролю ввезеної продукції, як ветеринарний (тварин і продукції тваринництва), фітосанітарний (продукції рослинництва, харчових товарів), перевірку швидкопсувної продукції, особливо небезпечних хімічних речовин, транспортних засобів.

У ряді країн (Японія, Китай, Корея, Перу, Туреччина та ін.) здійснюється контроль не тільки імпортованих, але й експортованих товарів. На зовнішньому ринку велику роль відіграють численні угоди по визнанню результатів робіт в області сертифікації, укладені між країнами – торговельними партнерами на різних рівнях. Ці угоди укладають на дво- і багатобічній основі, а також у рамках регіональних і міжнародних систем сертифікації.

14.2 Статистичні методи при сертифікації

Роль статистичних методів при сертифікації визначається їхнім місцем при розробці системи якості. Стандарт ISO 9004.2 – 91 (п. 6.4.3) установлює, що статистичні методи можуть бути корисні в більшості випадків при зборі даних та їх застосуванні, чи йде мова про досягнення кращого розуміння запитів споживачів (у процесі контролю, вивчення можливостей, прогнозування) або про вимір якості для полегшення прийняття рішень.

Пункт 20.1 стандарту ISO 9004 характеризує статистичні методи як один з найважливіших елементів систем якості на всіх стадіях «петлі якості». Зокрема, стандарт ISO 9004 рекомендує застосовувати статистичні методи при:

- аналізі ринку продукції (послуги);
- проектуванні (розробці) продукції (послуги);
- визначенні вимог до продукції (послуги);
- вивченні можливостей продукції (послуги);
- аналізі даних (дефектів).

Таким чином, документація, що відноситься до статистичних методів, є ефективним засобом демонстрації відповідності системи якості вимогам стандартів ISO серії 9000. Іншими словами, статистичні методи можуть розглядатися як індикатор (ознака) системи якості.

При перевірці системи якості експерт-аудитор або особа, що

проводить перевірку, має можливість:

- застосувати статистичні методи при перевірці системи якості для оптимізації плану й процедур перевірки;
- проаналізувати документацію, що відноситься до статистичних методів, для перевірки наявності елементів системи якості.

Стандарти ISO серії 9000 рекомендують використовувати наступні статистичні методи:

- планування експериментів (факторний аналіз);
- аналіз дисперсій (дисперсійний аналіз);
- оцінка безпеки (аналіз ризиків);
- критерії значимості;
- контрольні карти;
- вибірковий статистичний контроль.

14.3 Особливості сертифікації складних технічних систем

Найважливіше завдання державної економічної політики полягає у виявленні й підтримці конкурентоспроможних підприємств. Виявлення й державна підтримка «швидких» інвестиційних проектів необхідні для одержання засобів для «тривалого» інвестування в промисловість, що створює умови для загального зростання промислового виробництва.

Таким чином, інвестуванню бюджетних коштів у підприємства повинна передувати завдання об'єктивної оцінки ефективності проектів (програм), пропонованих ними для державного фінансування. Існуюча сьогодні експертиза проектів в основному стосується аналізу фінансового стану підприємств.

При такій експертизі, як правило, не дається відповідь на головне для ринкової економіки питання – який рівень якості й конкурентоспроможності продукції що випускається, або наміченої до випуску.

Одного фінансового аудита виробництва зовсім недостатньо для визначення потенційних можливостей підприємства в організації ефективного виробництва конкурентоспроможної продукції. Особливо це стосується конвертованих підприємств, що втратили державні замовлення й близькі до банкрутства. У той же час виробничий потенціал такого підприємства може бути досить високим для ефективного переходу на випуск

конкурентоспроможної продукції цивільного призначення. Тому для об'єктивної оцінки доцільності надання проекту бюджетного фінансування або пільгового цільового кредитування, а також доцільності інших інвестицій необхідно провести повну експертизу (рейтингову сертифікацію) виробництва що реалізує проект, по ряду інтегральних показників:

- рейтинг основних фондів (оцінка стану основних фондів промислового виробництва);
- рейтинг продукції (оцінка відповідності техніко-економічних параметрів, що випускається або наміченої до випуску продукції вимогам на аналогічну продукцію на міжнародному ринку);
- рейтинг технологічних процесів (оцінка відповідності застосовуваних основних технологічних процесів параметрам аналогічних передових закордонних технологій);
- рейтинг виробництва (оцінка відповідності виробництва вимогам забезпечення заданих параметрів продукції, що випускається);
- рейтинг систем якості (оцінка відповідності системи якості підприємства вимогам забезпечення стабільного рівня якості продукції, що випускається).

Методологія оцінки техніко-економічних параметрів розроблювальної (освоюваної) продукції покликана забезпечити одержання об'єктивної інформації для запобігання витрат на безперспективні розробки й прийняття обґрунтованих рішень по випуску продукції, конкурентоспроможної на внутрішньому й зовнішньому ринках.

Ця методологія повинна вирішувати наступні основні питання:

- маркетингові дослідження параметрів і характеристик аналогів, що випускаються закордонними фірмами й споживаних на різних ринках;
- вибір методології й критеріїв оцінки продукції, що забезпечують найбільшу перспективність при наявності певних цільових настанов;
- визначення базових характеристик, необхідних для забезпечення конкурентоспроможності продукції,

- пророблення їх на перспективу;
- зіставлення комерційних і технічних параметрів розроблювальної продукції (що випускається) з вимогами міжнародного ринку на аналогічну продукцію;
- визначення вимог (рекомендацій) до розроблювальної продукції (що випускається), що забезпечують її технічну конкурентоспроможність на закордонних ринках.

Методологія оцінки застосовуваних (планованих до застосування) технологічних процесів необхідна для одержання відповідей на наступні питання:

- наявність і ступінь близькості вітчизняного або закордонного аналога;
- конкурентоспроможність на внутрішньому й зовнішньому ринку;
- можливість експорту й (або) скорочення імпорту продукції в результаті реалізації технологічного процесу;
- ступінь готовності технології для реалізації (у тому числі необхідність проведення науково-дослідних робіт, створення технологічного устаткування);
- створення нових матеріалів, технології їх одержання й обробки;
- створення контрольно-вимірювального й іспитового устаткування;
- створення систем інформаційного забезпечення;
- необхідність придбання імпортного устаткування й комплектуючих виробів, необхідність підготовки кадрів та ін.;
- питома вага витрат на науково-дослідні роботи у загальних витратах на розробку й реалізацію технології;
- соціальна значимість реалізації технології тощо.

Методологія оцінки відповідності виробництва вимогам забезпечення заданих техніко-економічних параметрів продукції що випускається, повинна вирішувати наступні завдання:

- оцінка відповідності існуючої організаційної структури виробництва вимогам випуску заданої продукції;

- оцінка відповідності існуючої конструкторської й технічної документації вимогам національних і міжнародних стандартів;
- оцінка інжинірінгового забезпечення випуску заданої продукції;
- оцінка метрологічного забезпечення виробництва продукції;
- оцінка стабільності існуючих технологічних процесів;
- оцінка системи технічного обслуговування, планового й позапланового ремонту основного встаткування;
- оцінка кадрового забезпечення виробництва планованої до випуску продукції.

Методологія оцінки системи якості виходить із необхідності перевірки її складових на наступних етапах:

- маркетинг, пошук і вивчення ринку;
- розробка конструкції й технологічних процесів;
- матеріально-технічне постачання;
- технологічна підготовка виробництва;
- виробництво;
- контроль і випробування продукції;
- упакування й зберігання;
- реалізація й розподіл продукції;
- експлуатація продукції в споживача;
- утилізація після використання.

При оцінці ефективності функціонування системи якості перевіряється виконання наступних вимог міжнародних стандартів ISO 9000:

- системи реєстрації дефектів;
- ідентифікації й відслідкованості кожної одиниці продукції;
- системи причинно-наслідкового аналізу дефектів на основі сучасних методів статистичного керування якістю;
- обліку витрат на забезпечення якості продукції;
- системи керування якістю продукції на основі розробки й реалізації комплексу конструкторсько-технологічних і організаційно-технічних заходів щодо забезпечення якості.

Зазначені завдання технічної експертизи й технічного аудита підприємств повинні бути покладені на систему сертифікації, що діє у відповідній галузі промисловості.

14.4 Сертифікація і менеджмент

Усі види діяльності, що зустрічаються в роботі організації, ми повинні розглядати як технологічний процес. У роботі організації ці процеси взаємодіють складним образом, утворюючи систему або мережу процесів. Уперше запропонував розглядати організацію як систему процесів К. Ісікава на початку 80-х років XX ст.. Міжнародні стандарти ISO 9000 законодавчо закріпили такий підхід. Вони ґрунтуються на розумінні того, що всяка робота виконується як процес.

Кожний процес, перетворюючи деякий об'єкт праці, має вхід і вихід. Вихід – це продукція, матеріальна й нематеріальна, яка є результатом процесу. Виходом процесу може бути, наприклад, документ, програмний продукт, хімічна речовина, банківська послуга, медичне устаткування або проміжна продукція (напівфабрикат) будь-якої загальної категорії.

В ISO 9000 виділяються чотири загальні категорії продукції:

- устаткування (технічні засоби);
- інтелектуальна продукція (засоби), під якою розуміється результат інтелектуальної діяльності, що містить інформацію, виражену через засоби підтримки; інтелектуальна продукція може бути як у формі програм, так і у формі концепцій, протоколів або методик;
- матеріали що переробляються, під якими розуміється матеріальна продукція, одержувана шляхом переробки сировини в заданий стан; матеріали, що переробляються можуть являти собою рідину, газ, специфічні матеріали, злитки, прутки або аркуші; матеріали що переробляються поставляються звичайно в барабанах, мішках, цистернах, балонах, каністрах, по трубопроводам тощо;
- послуги.

Входом процесу може бути матеріальна або нематеріальна продукція або природна сировина. Процес, перетворюючи об'єкт праці, збільшує його вартість, використовуючи певним чином ресурси, у тому числі трудові. На вході й виході процесу, а також у різних фазах процесу можуть проводитися виміри.

Загальне керівництво якістю досягається через керування процесами в організації. **Керування процесом включає:**

- визначення цілей і бажаних результатів процесу;
- визначення необхідних ресурсів, у тому числі трудових, для виконання процесу;
- визначення методів і засобів виконання процесу;
- керування використанням ресурсів, які виділені для здійснення даного процесу, включаючи мотивацію персоналу;
- спостереження за ходом процесу, аналіз результатів його виконання й корекцію ходу процесу.

Керування процесами може будуватися по двом напрямкам:

- через структуру й роботу самого процесу, усередині якого є потоки продукції й інформації;
- через якість продукції й інформації, що протікають усередині структури.

Кожна організація при виконанні роботи збільшує вартість продукції. Робота виконується за допомогою мережі процесів. Структура цієї мережі є складною, оскільки більшість процесів взаємодіє між собою. Будь-яка організація багатofункціональна.

До основних функцій організації відносяться:

- виробництво продукції;
- проектування продукції;
- керування технологією здійснення процесів;
- маркетинг;
- підготовка кадрів;
- керівництво трудовими ресурсами;
- стратегічне планування;
- стратегічне й оперативне керування;
- поставка продукції;
- оформлення рахунків та інших фінансових документів;
- технічне обслуговування й ремонт;
- інші функції.

Організація створює, забезпечує й поліпшує якість продукції за допомогою мережі процесів, які повинні зазнавати аналізу й постійного поліпшення. Для забезпечення правильного керування організацією взаємодії між процесами, в мережі в кожного з них повинен бути «власник» – особа, що несе відповідальність за даний процес.

Цей «власник» повинен забезпечувати однозначне розуміння всіма учасниками процесу їх відповідальності й повноважень, повинен організовувати взаємодію при вирішенні проблем, що охоплюють кілька функціональних підрозділів підприємства.

Окремий постачальник часто втягується в наступні ситуації: закупівлі й продаж продукції можуть здійснюватися як у рамках контрактної ситуації (коли вимоги до забезпечення якості продукції, що поставляється, і, у тому числі, до елементів або всієї системи якості прямо застережені в контракті) і можуть змінюватися від контракту до контракту, так і поза контрактною ситуацією, коли, наприклад, здатність постачальника до забезпечення якості засвідчена незалежним органом по сертифікації.

Важливим моментом у доказі постачальником здатності робити якісну продукцію є документація системи якості:

- довгострокові, середньострокові й короткострокові плани по виконанню політики якості;
- керівництво (довідник) по якості, що містить методологічні й робочі інструкції;
- методологічні інструкції системи якості, що дають докладний опис елементів системи якості;
- робочі інструкції, що містять докладні технології забезпечення якості на робочих місцях;
- типові специфікації, специфікації постачальників, які передаються виконавцеві замовлення.

Питання для самоперевірки

1. Що таке сертифікація?
2. Для чого потрібна сертифікація?
3. Що забезпечує сертифікація продукції?
4. Що таке декларація про відповідність?
5. Для чого потрібна обов'язкова сертифікація?

6. Коли проводиться добровільна сертифікація?
7. Що підтверджує сертифікат відповідності?
8. Для чого потрібен знак відповідності?
9. Хто має право на застосування знака відповідності?
10. Які функції іспитової лабораторії?
11. Для чого проводиться аналіз стану виробництва?
12. Що таке акредитація?
13. Які існують системи сертифікації?
14. Назвіть статистичні методи використовувані при сертифікації.
15. В чому полягають особливості сертифікації складних технічних систем?
16. Який зв'язок між сертифікацією та менеджментом на підприємстві?

ЛИТЕРАТУРА

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.
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 живучести 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 анализ). 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.

Навчальне видання

АРТЮХ Олександр Миколайович
ДУДАРЕНКО Ольга Василівна
КУЗЬМІН Віктор Володимирович
СОСИК Андрій Юрійович
ЩЕРБИНА Андрій Васильович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Навчальний посібник

Технічні редактори: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерний набір: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерна верстка: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.

Підписано до друку 30.12.2021. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 12,32.
Тираж 100 прим. Зам. № 1035.

Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.