

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

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

Частина 3 - змістовий модуль 2.
Експериментальні дослідження, випробування
та сертифікація складних технічних систем

2019

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни "Дослідження та випробування технічних систем" для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 3 - змістовий модуль 2. Експериментальні дослідження, випробування та сертифікація складних технічних систем / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 58 с.

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

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

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

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

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

ЗМІСТ**Частина 3**

Вступ	106
Тематичний план лекційних занять	108
Лекція № 8. Експериментальні дослідження складних технічних систем.....	111
Лекція № 9. Випробування складних технічних систем	122
Лекція № 10. Технічні засоби для проведення випробувань та досліджень технічних систем	145
Рекомендована література	158
Основна	158
Додаткова	158

ВСТУП

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

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

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

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

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

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

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

- закономірності еволюції та тенденції технічного розвитку технічних систем;

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

вміти:

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

володіти:

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

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

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

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

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

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

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

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

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

Змістовий модуль 2. Експериментальні дослідження, випробування та сертифікація складних технічних систем.

Тема 8. Експериментальні дослідження складних технічних систем.

Загальні відомості. Планування та проведення експериментальних досліджень.

Тема 9. Випробування складних технічних систем.

Загальні відомості. Види випробувань: стендові, ходові (натурні), експлуатаційні, прискорені та форсовані. Планування та програма випробувань. Методика випробувань.

Тема 10. Технічні засоби для проведення випробувань та досліджень технічних систем.

Загальні відомості. Датчики. Підсилювачі.

Тема 11. Проведення технічних вимірювань при випробуваннях та дослідженнях технічних систем.

Основні поняття та визначення. Методи вимірювання зношення. Модельний експеримент. Методи обробки експериментальних даних. Перевірка статистичних гіпотез.

Тема 12. Випробування технічних систем на надійність.

Короткі відомості з теорії ймовірностей і математичної статистики. Випадкові величини. Статистичні методи досліджень. Основні показники надійності. План і програма випробувань. Обробка і оформлення результатів випробувань.

Тема 13. Формування результатів випробувань.

Загальна структурна схема формування результатів випробувань. Точностні характеристики результатів випробувань. Формування результатів контрольних та повторних випробувань. Методи підвищення точності результатів випробувань.

Тема 14. Сертифікація складних технічних систем.

Основні поняття. Системи сертифікації: міжнародні, регіональні, національні. Статистичні методи при сертифікації. Особливості сертифікації складних технічних систем. Сертифікація і менеджмент.

ЛЕКЦІЯ № 8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

План лекції. Загальні відомості. Планування та проведення експериментальних досліджень.

Література: [2], с.8-38.

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 погіршень;
- 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 заздалегідь 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 на-

прямку, 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.

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.

Бажаано перевагу віддавати натурним дослідженням у реальних умовах експлуатації на спеціальних стендах, лабораторних установках, полігонах. Це дозволить урахувувати 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.

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 застосовувати 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. Уілсо-

на. 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 інше 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

№ дослідів, N	Фактори *)		Функції відгуку y_j
1	+1	+1	y_1
2	+1	-1	y_2
3	-1	+1	y_3
4	-1	-1	y_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 у 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 досвідів.

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

Якщо за результатами обчислень досліди невідтворюні, 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 натурного експерименту, доцільно провести два блоки експериментів в 1-ій і 2-ій половині дня.

Будь-які експериментальні дослідження вимагають проведення оцінки їх погрешності, 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:

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

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:

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

У шах

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 презентовано 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 Стюдента згідно залежності:

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

де t - критерій Стюдента, 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?

ЛЕКЦІЯ № 9. ВИПРОБУВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

План лекції. Загальні відомості. Види випробувань: стендові, ходові (натурні), експлуатаційні, прискорені та форсовані. Планування та програма випробувань. Методика випробувань.

Література: [2], с.39-98.

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 проєктів 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.

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.

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.

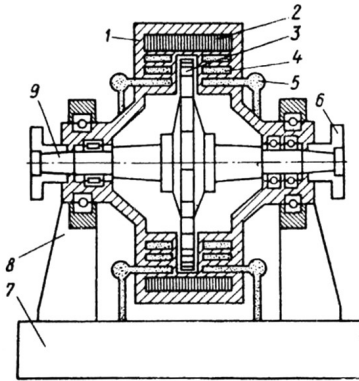
Стендові випробування класифікуються по різних ознаках і в основному розділяються на наступні групи:

- 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.

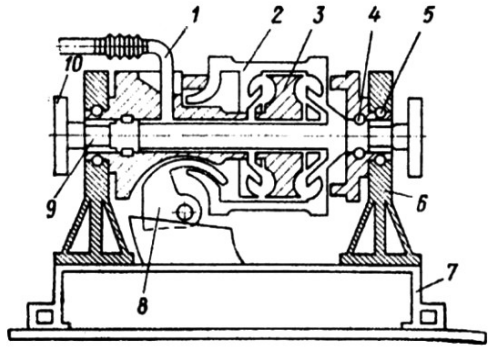
Робочі показники при регулюваннях і комплектації, зазначені заводом-виготовлювачем. За результатами випробувань визначаються: характеристики індикаторної потужності, швидкісні характеристики ефективної потужності - зовнішня характеристика з регуляторною

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.

Надійійність, включаючи безвідмовність, зносостійкість.

Токсичність і димність.

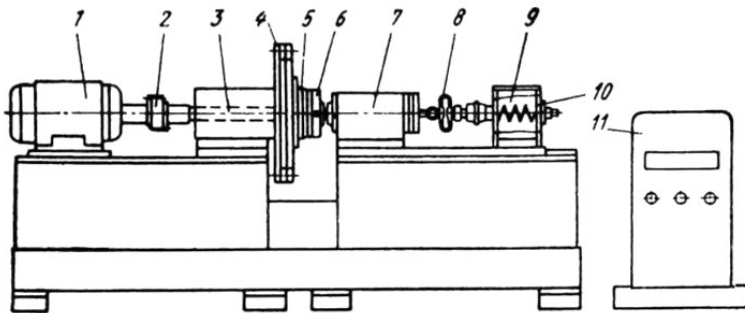
Гучність і вібрації.

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.

Стенові 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 агрега-

тів. 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).

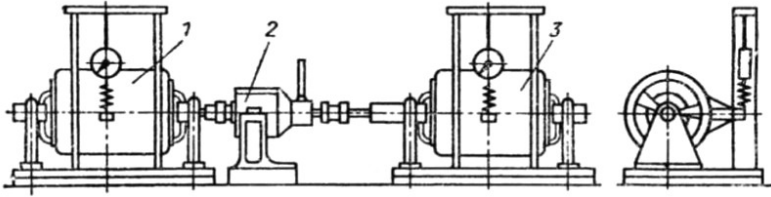


- 1 - електродвигун, 2 - муфта, 3 - вал, 4 - маховик з інерційними масами,
- 5 - диск зчеплення, 6 - натискний диск, 7 - вимірювач крутного моменту,
- 8 - динамометр натискного пристрою, 9 - натискний пристрій,
- 10 - механізм вимикання натискного пристрою,
- 11 - блок автоматичного управління стендом

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).



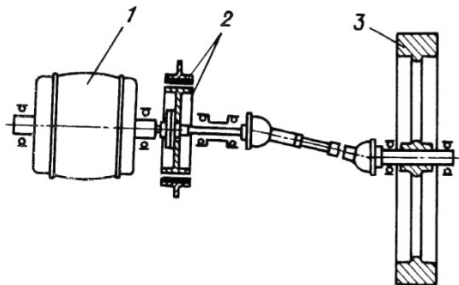
1- електродвигун, 2- коробка передач, 3- гальмівний пристрій

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 карданих передач (рис. 9.5) починають із визначення міцності під статичним навантаженням крутним моментом до руйнування слабкої ланки. Потім досліджуються вібрації й проводиться балансування при динамічних випробуваннях на спеціальних стендах. Оцінюється критична частота обертання до появи згинаючих коливань, а також ККД передачі.

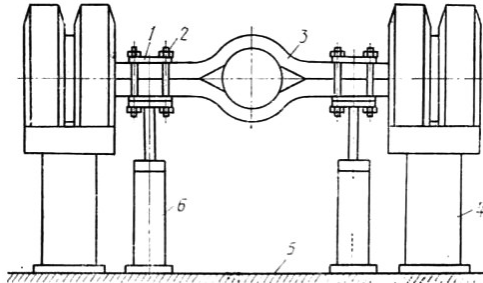


1- електродвигун, 2 - гальмо, 3 - маховик

Рисунок 9.5 – Схема стенду для випробування карданих передач

При випробуваннях довговічності карданної передачі програмується зміна навантаження по чотирьом параметрам: крутному моменту, частоті обертання, куту між валами, осьовому переміщенню в шліцевому з'єднанні.

Ведучі мости випробовують на стендах (рис. 9.6) у зборі й поелементно основні їхні вузли: головну передачу, диференціал, півосі, балку, поворотні кулаки (керованих ведучих мостів повнопривідних машин).



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

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.

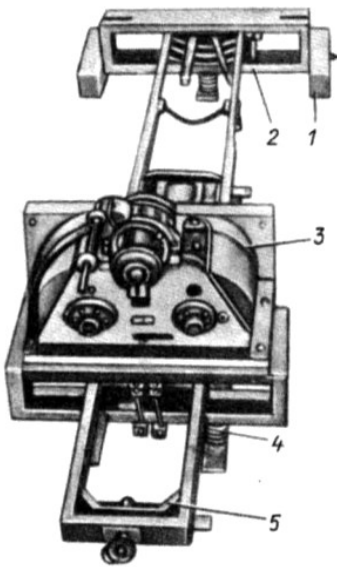
Довговічність півосей визначають на стендах циклічного знакозмінного навантаження крутним моментом по програмах, що включають блоки низько- і височастотних навантажень зі східчастою зміною амплітуди.

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:

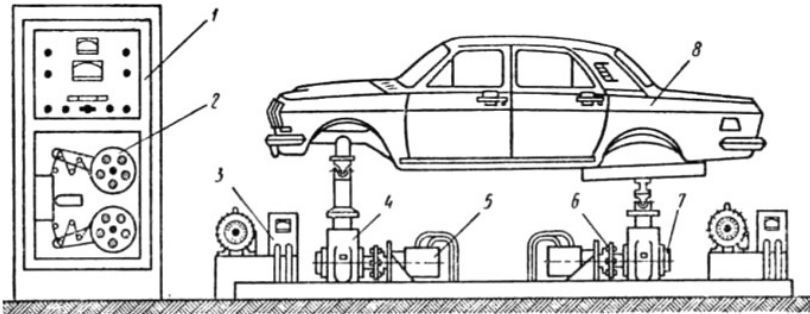
- вигин у вертикальному напрямку під дією сил, прикладених у місцях реального впливу (опори ресор, двигуна, кабіни, кузова та інших агрегатів) з перевантаженням, наприклад, для легкових автомобілів в 2-2,5 рази, для вантажних 2,5-4 рази;
- закручування моментом, відповідним до граничного перекосу при 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).



- 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

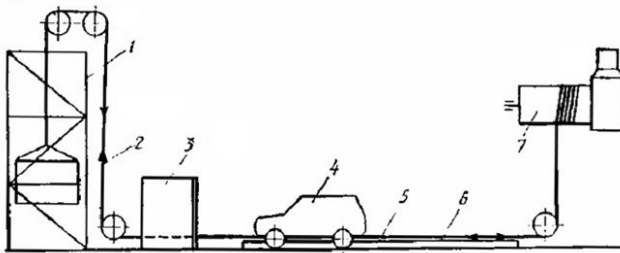


Рисунок 9.11 – Перевірка геометрії кузова на вимірювальному стенді



Рисунок 9.12 – Додаткова перевірка зазорів кузова

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

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

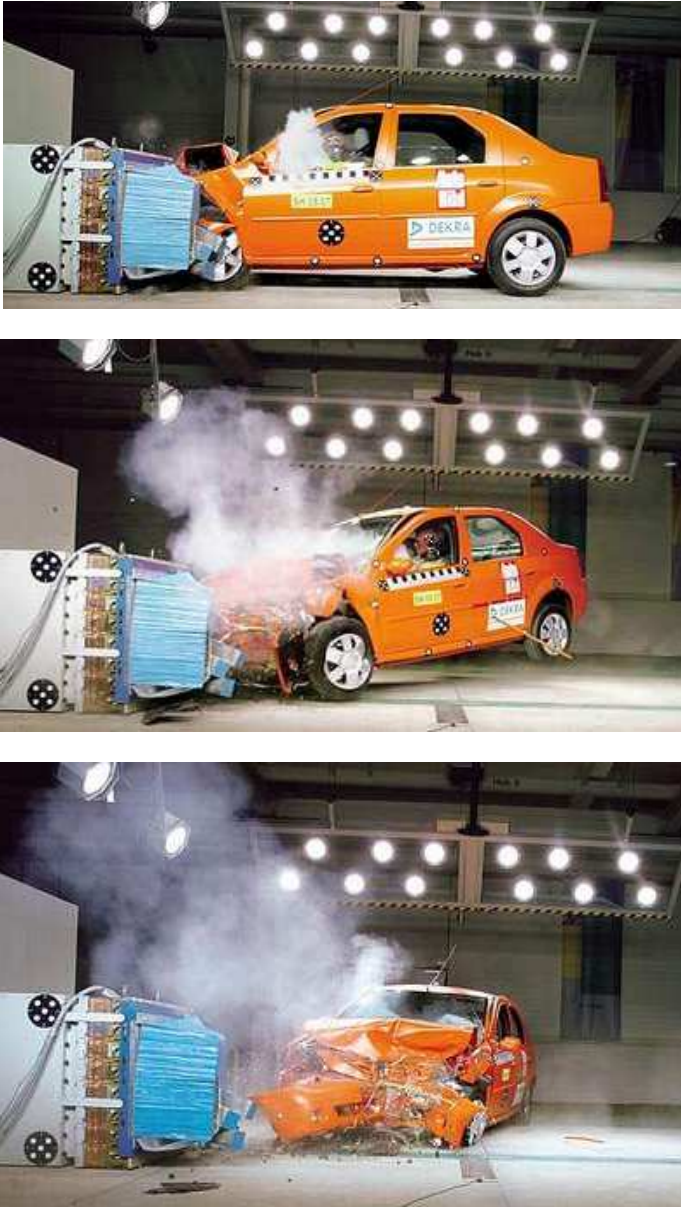


Рисунок 9.14 – Процес випробування автомобіля на фронтальний удар

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 стендах силові каркаси кузовів, бампери, оперення. 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).

Переважає при стендових випробуваннях шин є режими кочення, переважно по зовнішніх поверхнях обертових опорних барабанів. Так вимірювання шуму шин автомобіля проводять в ізольованій 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 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.

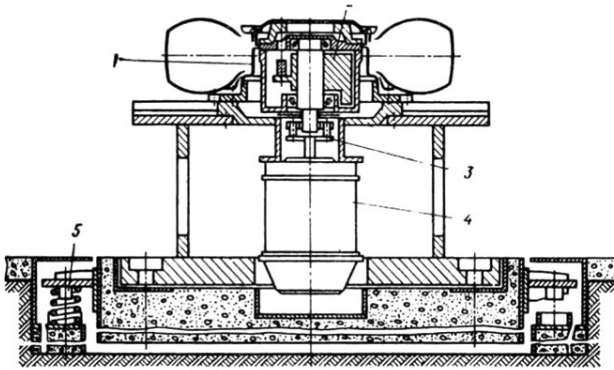
Стенд займає кілька поверхів і важить 250 тонн, але на фото (рис. 9.17) показаний тільки важіль із закріпленим на ньому колесом і барабан під ним. За рахунок рухливих елементів змінюється швидкість кочення, сила притиску, імітуються нахили, повороти, гальмування. Характеристики знімаються в режимі реального 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 монтуються на стендах (рис. 9.18) нерухомо, що дає можливість спостереження деформацій що зароджуються і тріщин.



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

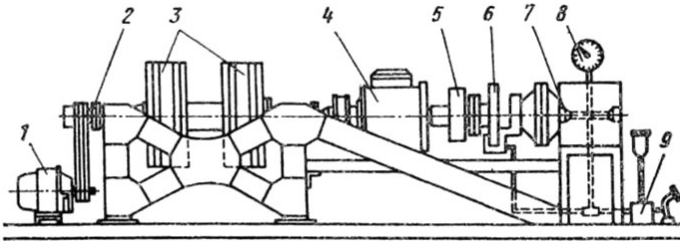
Рисунок 9.18 - Схема стенда для випробувань дисків коліс

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 при-

падає 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 роликовому 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 роликові, 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.

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).

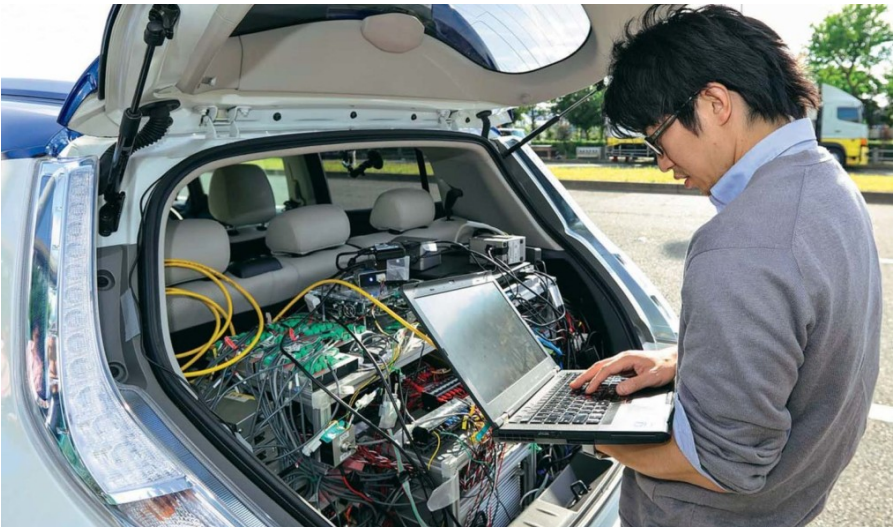


Рисунок 9.21 – Розміщення в багажнику Nissan апаратури для проведення ходових випробувань

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.



Рисунок 9.22 – Випробування автомобілів на прохідність



Рисунок 9.23 – Визначення кута підйому



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

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, ва-

нтажно-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.

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. 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. 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.

Сертифікаційні випробування.

Сертифікація відповідності третьою стороною активно розвивається з кінця 50-х - початку 60-х років XX 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 встановленого в системі переліку технічних вимог до різних механічних транспортних засобів. Звітність при сертифікаційних випробуван-

нях 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?

ЛЕКЦІЯ № 10. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

План лекції. Загальні відомості. Датчики. Підсилювачі.

Література: [2], с.99-132.

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, термпар, 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.

Датчики.

Мікроелектронні датчики - це напівпровідникові пристрої пе-

ретворення 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 використовуваного 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 згоряння, дросельної заслінки та ін.;
- лінійних положеннях штока гідроциліндра, 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.

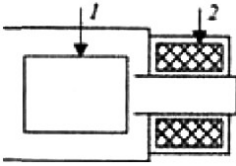
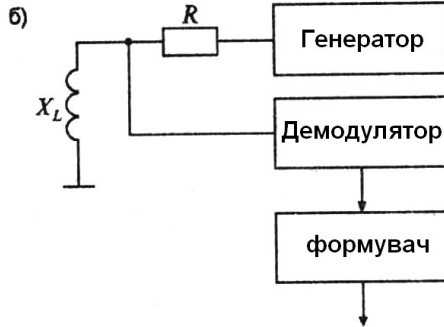
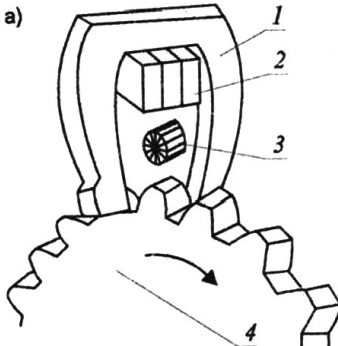


Рисунок 10.1- Позиційний датчик зі змінним магнітним опором

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 обертovому 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 напрямків ЕДС взаємно перпендикулярні.

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

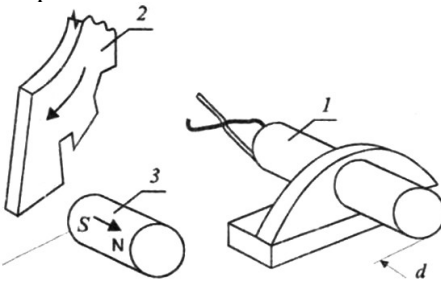
- зовнішнього впливу, засновані на проходженні променя світла або його відбитті й складаються зі світлодіода й фототран-

зистора;

- 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 Виганда (рис. 10.4), коли відбувається різке зростання магнітного поля в дроті.



1 - датчик; 2 - зубчасте колесо; магніт;
ВЗ - повітряний зазор

Рисунок 10.3 – Датчик який використовує ефект Холла

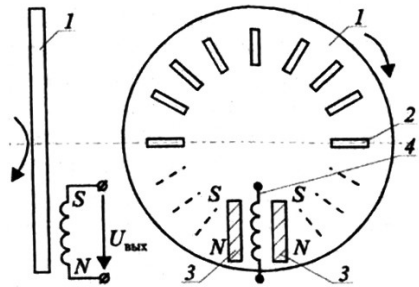


Рисунок 10.4 - Датчик, що використовує ефект Виганда

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 дрових 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 обертний 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 розміщаються 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 широ-

кому діапазоні температур. У якості датчиків температури використовуються також дровоті 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 погрешністю $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ 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.

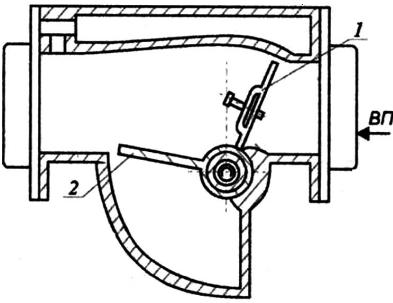
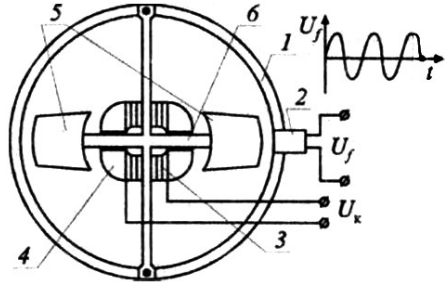


Рисунок 10.5 - Витратомір з рухливою крильчаткою



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 якого-небудь 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.

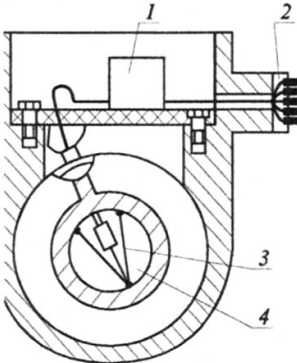
Наприклад, в термоанемометричному витратомірі фірми Bosch (рис. 10.7), на шляху потоку соосно поміщено дві пластмасові обойми, усередині яких перебувають несуче кільце V-образно закріпленої платинової нитки й несуче кільце термокомпенсаційного плівкового резистора. Різниця температур нитки й потоку підтримується 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.

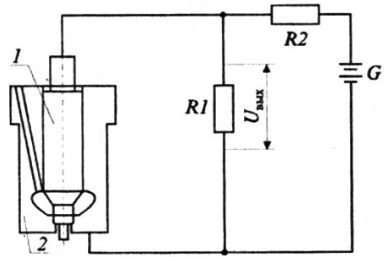
У датчику початку упорскування палива з перетворювачем Холла (рис. 10.9) на тильну сторону штока (голки) наклеюють невеликий постійний магніт, переміщення якого викликає появу ЕДС Холла U_H у напівпровідниковому кристалі. Цей датчик на відміну від попереднього може працювати не тільки в граничному режимі,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



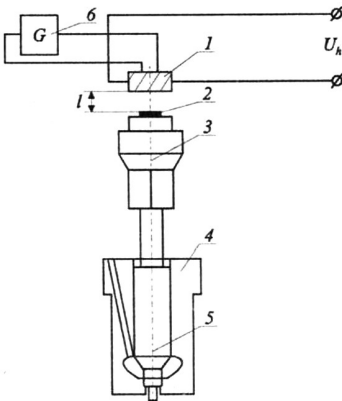
1 - мікроелектронний блок; 2 - рознімач; 3 - платиновий дріт; 4 - внутрішній вимірювальний канал

Рисунок 10.7 - Термоанемометричний витратомір фірми Bosch



1 - корпус голки; 2 - корпус форсунки

Рисунок 10.8 - Контактний датчик початку упрскування



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

Рисунок 10.9 - Датчик початку упрскування з перетворювачем Холла

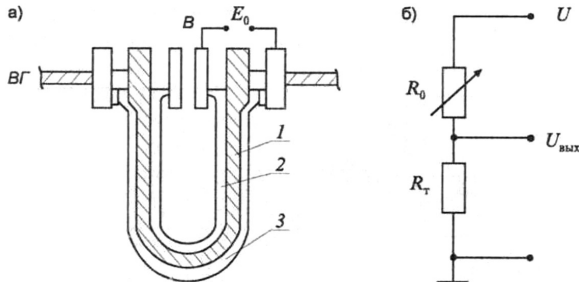
Для оптимізації процесу горіння палива у двигунах внутрішнього згоряння доцільно визначати не початок упрскування, а початок горіння. Датчики, що забезпечують досягнення цієї мети, діляться на дві групи: датчики полум'я або тиску усередині камери згоряння й датчики механічних напружень у конструкції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

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 східчасто, 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 поверх-

ню 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).

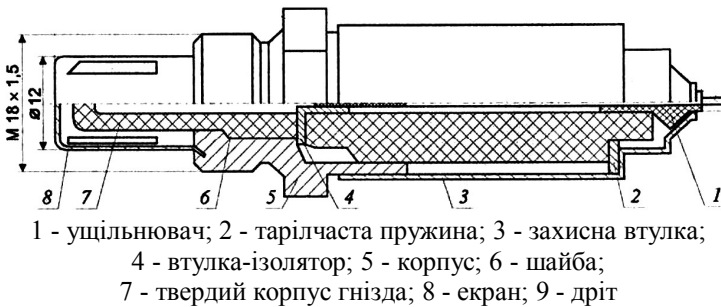


Рисунок 10.11 - Устрій λ -зонда фірми Bosch

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 потенціоме-

тра й поплавкові трубчасті. Перші використовуються в основному для паливних баків. При опусканні поплавця нижче певного рівня двигок 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.

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 об'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'єзореzystивні, 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'єзореzystивні, індуктивні, ємнісні та ін.). Для вимірів вібрації використовують п'єзоелектричні акселерометри, що обумовлено широким діапазоном робочих частот, великою вібраційною й ударною міцністю, порівняльно простотою конструкцією, можливістю створення перетворювачів з малими розмірами й масою.

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 по-

винне 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.

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?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛИТЕРАТУРА

Основна

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

Додаткова

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

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

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