



Міністерство освіти і науки України

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

**Кафедра експлуатації, надійності, міцності
та будівництва ім. В. Я. Аніловича**

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ МАШИН

**Методичні вказівки до проведення практичних занять
з дисциплін «Конструкторське та технологічне
керування надійністю»**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми здобуття освіти
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Харків
2021

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра експлуатації, надійності, міцності
та будівництва ім. В. Я. Аніловича

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ МАШИН

Методичні вказівки до проведення практичних занять
з дисциплін «Конструкторське та технологічне
керування надійністю»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм здобуття освіти
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Затверджено рішенням
методичної Ради ННІ ТС
ХНТУСГ
Протокол №7
від 12 травня 2021р.

Харків
2021

УДК 631.3

З-12

Схвалено на засіданні
кафедри експлуатації, надійності, міцності та будівництва ім. В. Я. Аніловича
Протокол № 5 від 5 травня 2021 р.

Рецензенти:

В. В. Аулін, д-р. техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту машин
Центральноукраїнського національного технічного університету

В. Т. Дмитрів, д-р. техн. наук, професор кафедри проектування та експлуатації
машин Національного університету "Львівська політехніка"

З-12 Забезпечення структурної надійності машин: методичні вказівки до проведення практичних занять з дисциплін «Конструкторське та технологічне керування надійністю» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми здобуття освіти зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: О.І.Алфьоров, В.Б.Савченко, В.І.Іванов. - Харків : [б. в.], 2021. - 9с.

Методичні вказівки «Забезпечення структурної надійності машин» розроблено з метою надання практичних навичок студентам під час вирішення ними індивідуальних задач на практичних заняттях з дисципліни «Конструкторське та технологічне керування надійністю». Включають необхідні теоретичні положення, які дозволяють отримати навички використання відповідних розрахункових методів. Методичні вказівки містять також варіанти індивідуальних завдань, приклад і вимоги щодо оформлення звіту про виконану роботу. В додатку надано довідковий матеріал.

Видання призначене для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття освіти зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Відповідальний за випуск: Є. І. Калінін, д-р. техн. наук, проф.

© О.І.Алфьоров, В.Б.Савченко,
В.І.Іванов,

© ХНТУСГ, 2021

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ МАШИН

Мета заняття – дослідити вплив структурної схеми машини на її надійність, визначивши ймовірність безвідмовної роботи при використанні різних конструктивних рішень.

Основні теоретичні положення

Кожна машина складається з певних агрегатів і механізмів, які, в свою чергу, з вузлів, складальних одиниць і деталей. Тому для вирішення задачі забезпечення надійності машини, потрібен системний підхід, який орієнтований на розгляд об'єктів як систем, тобто сукупність елементів, що взаємодіють між собою.

Зрозуміло, що надійність машини в цілому залежить від надійності її складових, насамперед від надійності вузлів (двигуна, трансмісії, несучої системи, ходової частини, механізмів керування і контролю, допоміжного обладнання). В той самий час, надійність кожної з цих складових (вузлів) залежить від надійності окремих деталей, з яких вона складається. Але, і більшість деталей так само можуть розглядатися як окремі системи, що складаються з відповідних елементів (поверхонь тертя, опорних і привалкових, кріпильних і пов'язуючих). Оскільки ці елементи є частинами однієї деталі, і мають своє функціональне призначення, в сукупності вони також представляють собою певну систему, надійність якої певним чином залежить від надійності її складових.

Надійність технічної системи залежить не тільки від надійності кожного її елемента, але й від способу їх взаємодії. Для визначення надійності (ймовірності безвідмовної роботи) при різних схемах з'єднання елементів, широко використовують теореми і формули теорії ймовірностей.

Говорячи про надійність системи, взаємодію її елементів оцінюють з точки зору забезпечення кожним з них працездатного стану системи в цілому. Можна визначити два граничні випадки:

- мінімальна ймовірність безвідмовної роботи – послідовне з'єднання, яке забезпечує лише один працездатний стан, коли всі елементи знаходяться в працездатному стані;
- максимальна ймовірність безвідмовної роботи – паралельне з'єднання, яке забезпечує $n - 1$ працездатних станів, коли хоча б один з n елементів є працездатним.

Всі інші випадки відповідають змішаному способу з'єднання елементів системи. Розглянемо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи системи при цих двох видах взаємодії її елементів, враховуючи, що чим більше працездатних станів має система, тим вища її надійність.

Система з послідовним з'єднанням елементів забезпечує лише один працездатний стан, а її ймовірність безвідмовної роботи є меншою за ймовірність безвідмовної роботи самого ненадійного елемента. Схему з'єднання елементів такої системи наведено на рис. 1, а формула для визначення ймовірності її безвідмовної роботи має вигляд

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i,$$

де R_i – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента;

n – кількість елементів системи.



Рис.1. Послідовне з'єднання елементів системи

Система з паралельним з'єднанням елементів забезпечує $(n - 1)$ працездатних станів, а її ймовірність безвідмовної роботи є більшою за ймовірність безвідмовної роботи самого надійного елемента. Схему з'єднання елементів такої системи наведено на рис. 2, а формула для визначення ймовірності її безвідмовної роботи має вигляд

$$R = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_n) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i,$$

де F_i – ймовірність відмови i -го елемента.

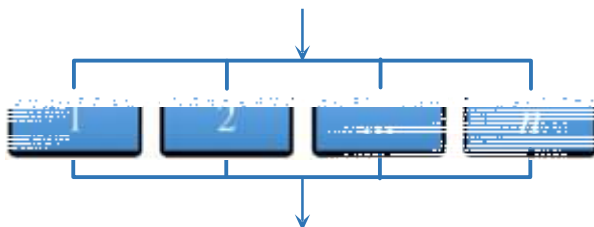


Рис.2. Паралельне з'єднання елементів системи

При складанні схеми розрахунку надійності системи слід мати на увазі, що схема розрахунку надійності не завжди збігається зі схемою механічної або технологічної взаємодії її елементів. Розглянемо це положення на прикладі роботи гальмівної системи чотириколісного автомобіля.

Аналіз надійності гальмівної системи чотириколісного автомобіля

В якості прикладу структурного забезпечення надійності, розглянемо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи одно- та двоконтурної гідравлічних гальмівних систем автомобіля.

Найпростішою є одноконтурна гальмівна система, схема якої показана на рис.3,а. В загальному вигляді, принцип її роботи полягає в тому, що при натисканні на педаль, поршень гальмівного циліндру створює в гідравлічній системі

підвищений тиск гальмівної рідини. Цей тиск передається одночасно на гальмівні механізми всіх коліс, що призводить до їхнього гальмування. Зауважимо, що всі колеса гальмують включаються в процес гальмування паралельно. В разі виходу з ладу (відмови) гальмівного механізму одного з коліс, інші залишаються функціональними, і гальмівна система автомобіля буде продовжувати працювати (хоча і з меншою ефективністю).

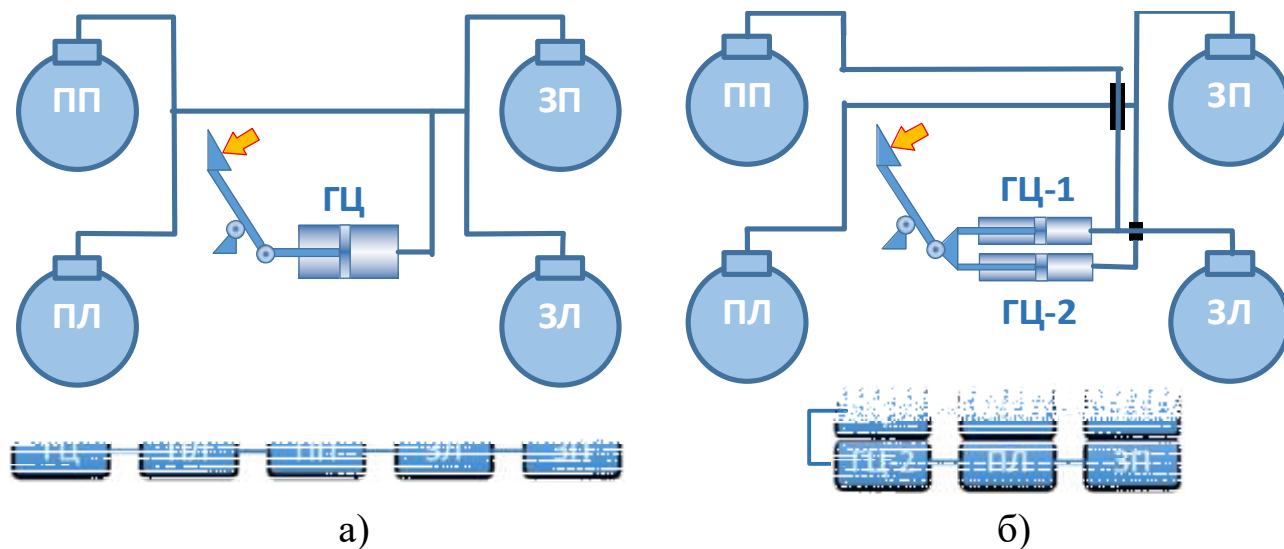


Рис.3. Варіанти гальмівної системи з гідравлічним приводом і відповідні схеми розрахунку їх надійності: а – одноконтурної; б – двоконтурної.

Але, якщо в одному з коліс вийде з ладу ущільнення колісного гальмівного циліндру, то це призведе до витікання гальмівної рідини і падінню тиску у всій гальмівній системі. Таким чином, відмова будь-якого з чотирьох тормозних циліндрів (як і головного циліндра), призводить до виходу з ладу всієї гальмівної системи. Тому, при розрахунку надійності гідравлічного приводу гальмівної системи, всі її елементи слід вважати з'єднаними послідовно з точки зору надійності.

Підвищити надійність гальм можна, розділивши гідравлічний привід на дві незалежні системи. Один з можливих варіантів такого двоконтурного приводу гальмівної системи наведено на рис.3,б. Така структура гальмівної системи включає в себе дві паралельно працюючі незалежні лінії, кожна з яких складається з головного гальмівного і двох колісних циліндрів. У випадку виходу з ладу будь-якого гідроциліндру, що призводить до втрати тиску робочої рідини, буде мати місце відмова лише однієї з гілок гальмівної системи. Інша гілка збереже при цьому свою працездатність. Таким чином, маємо схему розрахунку надійності, в якій є дві паралельно з'єднані гілки, в яких головний і два колісних гальмівних циліндри з'єднані послідовно (див. схему на рис.3,б).

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи двох варіантів гальмівної системи

(звіт про виконання практичного завдання)

Для порівняльної оцінки надійності двох варіантів гальмівної системи, виконаємо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи схем, наведених на рис.3.

(навести ескіз рисунка 3 в повному обсязі)

Вихідні дані: $R_{\text{гц}} = 0,8$; $R_{\text{к}} = 0,8$ (див. додаток А)

Варіант А – одноконтурна система з послідовним з'єднанням елементів.

При послідовному з'єднанні ймовірність безвідмовної роботи дорівнює добутку всіх елементів системи:

$$R = R_{\text{гц}} \cdot R_{\text{пл}} \cdot R_{\text{шп}} \cdot R_{\text{зл}} \cdot R_{\text{зп}}$$

Приймаючи $R_{\text{пл}} = R_{\text{шп}} = R_{\text{зл}} = R_{\text{зп}} = R_{\text{к}} = 0,8$, отримаємо:

$$R = R_{\text{гц}} \cdot R_{\text{к}}^4 = 0,8 \cdot 0,8^4 = 0,328$$

Варіант Б – двоконтурна система з паралельно-послідовним з'єднанням елементів.

Кожен з контурів, який складається з головного і двох колісних циліндрів, має послідовну схему включення. Приймаючи $R_{\text{гц}} = R_{\text{гц-1}} = R_{\text{гц-2}} = 0,8$, отримаємо:

$$R_1 = R_2 = R_{\text{гц}} \cdot R_{\text{к}}^2 = 0,8 \cdot 0,8^2 = 0,512$$

Оскільки два контури системи з точки зору надійності працюють паралельно, ймовірність їхньої безвідмовної роботи дорівнює:

$$R = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) = 1 - (1 - 0,512) \cdot (1 - 0,512) = 0,762$$

Висновки

1. Ймовірність безвідмовної роботи одноконтурного приводу гальм становить $R = 0,328$, що значно нижче ймовірності безвідмовної роботи самого ненадійного елемента системи $R_{\text{к}} = 0,8$.

2. Ймовірність безвідмовної роботи двоконтурного приводу гальм становить $R = 0,762$, що близько до ймовірності безвідмовної роботи самого ненадійного елемента системи $R_{\text{к}} = 0,8$, не дивлячись на наявність в системі додаткового головного циліндра.

3. Використання структурного резервування дає змогу значно підвищити надійність гальмівної системи в цілому.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть приклад простого об'єкта, який не може розглядатися як система, що складається з декількох елементів?
2. Чи завжди структурна схема надійності системи, яка розглядається, співпадає з технологічною схемою її роботи?
3. Які варіанти структурних схем надійності використовують при з'єднанні елементів в системі?
4. Яким чином змінюються показники надійності системи при збільшенні кількості послідовно з'єднаних елементів.
5. Яким чином змінюються показники надійності системи при збільшенні кількості паралельно з'єднаних елементів.

Рекомендована література

1. Міцність та надійність машин: Навчальний посібник /В.Я.Анілович, О.С.Гринченко, В.В.Карабін, В.О.Літвінов, В.Л.Литвиненко, за ред. В.Я.Аніловича. – К., Урожай, 1996. 288с.
2. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах /За ред. В.Я.Аниловича. – Харьков: Око, 2001. – 320с.
3. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль – Х.:Віровець А.П. «Апостроф», 2012. – 259 с.
4. Надійність машин: Практикум / О.С.Гринченко, В.Г.Кухтов, О.І.Алфьоров, В.Б.Савченко, Є.І.Калінін, В.І.Іванов, Г.П.Юр'єва; За ред. О.С.Гринченка, В.Г.Кухтова. – Х.: ТОВ «Планета-принт», 2018. 140 с.

Вихідні дані для виконання практичного заняття^{*)}

№ рядка	R_k	$R_{гц}$
1	0,81	0,98
2	0,83	0,96
3	0,85	0,94
4	0,87	0,92
5	0,89	0,90
6	0,91	0,88
7	0,93	0,86
8	0,95	0,84
9	0,97	0,82
0	0,99	0,80

**) Значення R_k обирається по першій цифрі шифру, а значення $R_{гц}$ – по другій цифрі шифру.*

****) Звіт про виконання практичного завдання може бути оформлений у вигляді отсканованого/сфотографованого рукопису, або в електронному варіанті - як текст в редакторі MS Word. Звіт має бути надісланий на електронну пошту.*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ МАШИН

Методичні вказівки до проведення практичних занять
з дисциплін «Конструкторське та технологічне
керування надійністю»

Укладачі:

АЛФЬОРОВ Олексій Ігорович,
САВЧЕНКО Володимир Борисович,
ІВАНОВ Володимир Іванович,

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір для цифрового друку. Друк принтерний.
Умов. друк. арк. 0,52
Наклад 100 примірників.