

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет



НАДІЙНІСТЬ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ГІДРОМАШИН І ГІДРОПРИВОДІВ

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми
Сумський державний університет
2016

УДК 532:533.1
ББК 31.56я73
Н17

Авторський колектив:

В. Ф. Герман, кандидат технічних наук, доцент;
В. О. Панченко, асистент кафедри прикладної гідроаеромеханіки;
О. Г. Гусак, кандидат технічних наук, доцент;
А. А. Папченко, кандидат технічних наук, доцент

Рецензенти:

П. М. Андренко – доктор технічних наук, професор, професор кафедри гідропневмоавтоматики і гідропривода Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
В. І. Склабінський – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв Сумського державного університету

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 4 від 13 жовтня 2016 року)*

Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів :
Н17 навчальний посібник / В. Ф. Герман, В. О. Панченко, О. Г. Гусак,
А. А. Папченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. –
175 с.

ISBN 978-966-657-637-1

У навчальному посібнику розглянуті питання, пов'язані з надійністю та експлуатацією гідромашин і гідроприводів. Висвітлено проблему надійності машин, розглянуто основні поняття надійності та працездатності машин, механізм втрачання ними працездатності. Подано відомості про систему показників надійності й відмову машин. Викладено методику розрахунку надійності на стадії проектування й експлуатації машин та основні способи підвищення надійності насосів і гідроприводів. Розглянуто експлуатацію насосних установок та особливості експлуатації окремих насосів і гідроприводів.

Для студентів вищих навчальних закладів освіти III–IV рівнів акредитації для спеціальності 131 «Прикладна механіка» (спеціалізація «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика»).

УДК 532:533.1
ББК 31.56я73

ISBN 978-966-657-637-1

© Герман В. Ф., Панченко В. О.,
Гусак О. Г., Папченко А. А., 2016
© Сумський державний університет, 2016

Зміст

С.

Вступ	8
РОЗДІЛ 1 ЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ МАШИН .	11
1.1 Проблема надійності машин. Задачі теорії надійності	11
1.2 Поняття надійності	13
1.3 Поняття працездатності машин	14
1.4 Зміна працездатності машини	17
1.4.1 Механічні навантаження	17
1.4.2 Зношування	18
1.4.3 Корозія.....	18
1.4.4 Кавітація.....	19
1.4.5 Перегрівання.....	22
1.4.6 Біологічні пошкодження.....	24
1.4.7 Негативний вплив людини	25
Контрольні питання до розділу 1	26
РОЗДІЛ 2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ МАШИН	27
2.1 Причини втрати машиною працездатності	27
2.2 Зношування. Закони тертя	28
2.2.1 Зношування.....	28
2.2.2 Закони тертя.....	29
2.3 Види зношування деталей.....	30
2.4 Допустиме і граничне зношення деталей	34
2.5 Методи вимірювання зношення	40
2.5.1 Метод мікрометричного вимірювання.....	40
2.5.2 Метод зважування деталей.....	41

2.5.3. Метод виявлення металу у відпрацьованому маслі	41
2.5.4 Метод радіоактивних ізотопів	41
2.5.5 Метод штучних баз	42
2.6 Основні чинники, що впливають на зношення деталей	42
2.7 Зношування деталей насосів та гідроприводів	43
Контрольні питання та задачі до розділу 2	46
РОЗДІЛ 3 СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАШИН	48
3.1 Випадкові величини та їх характеристики	48
3.2 Закони розподілу випадкових величин.....	50
3.3 Поняття надійності	54
3.4 Показники надійності	60
3.4.1 Показники безвідмовності.....	61
3.4.2 Показники довговічності.....	63
3.4.3 Показники ремонтпридатності.....	64
3.4.4 Показники збережності.....	64
3.5 Комплексні показники надійності.....	65
Контрольні питання та задачі до розділу 3	67
РОЗДІЛ 4 МЕХАНІЗМИ ВІДМОВИ МАШИНИ	71
4.1 Визначення та класифікація відмов	71
4.2 Процеси, що впливають на працездатність машини	73
4.3 Поступові та раптові відмови	75
4.3.1 Надійність машин у період прояву раптових відмов	75
4.3.2 Надійність машин у період прояву поступових відмов	76

4.3.3 Одночасний прояв раптових і поступових відмов	78
4.4 Відмови насосів. Загальна характеристика	78
4.5 Відмови гідро- та пневмоприводів	80
Контрольні питання та задачі до розділу 4	81
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МАШИНИ	85
5.1 Гідравлічна машина як система. Визначення показників надійності систем	85
5.2 Метод структурних схем надійності	86
5.3 Порядок розрахунку системи на надійність	88
5.4 Визначення оптимальної надійності машин	89
Контрольні питання та задачі до розділу 5	91
РОЗДІЛ 6 ОСНОВНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН	93
6.1 Основні напрями підвищення надійності машин	93
6.2 Конструкційні, технологічні та експлуатаційні способи підвищення надійності	93
6.3 Підвищення надійності методом резервування. Класифікація резервування	95
6.3.1 Роздільне резервування	96
6.3.2 Загальне резервування	97
6.4 Постійне резервування і резервування із заміщенням	98
6.4.1 Постійне резервування	98
6.4.2 Резервування із заміщенням	99
Контрольні питання та задачі до розділу 6	100
РОЗДІЛ 7 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ НА СТАДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНИ	103
7.1 Загальні положення статистичної обробки інформації про надійність	103

7.2 Методика визначення закону розподілу показників надійності.....	105
Контрольні питання та задачі до розділу 7	113
РОЗДІЛ 8 ВИПРОБУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	117
8.1 Види випробувань насосів на надійність.....	117
8.2 Контрольні випробування на надійність	119
8.2.1 Експериментальні стенди	119
8.2.2 Програма випробувань	120
8.3 Означальні випробування	121
8.4 Оцінювання результатів випробувань	123
Контрольні питання до розділу 8	125
РОЗДІЛ 9 ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ГІДРОМАШИН І ГІДРОПРИВОДІВ ..	127
9.1 Підвищення експлуатаційної надійності насосів.....	127
9.2 Підвищення надійності гідроприводів.....	134
Контрольні питання до розділу 9	138
РОЗДІЛ 10 ЕКСПЛУАТАЦІЯ НАСОСНИХ УСТАНОВОК....	139
10.1 Технічна експлуатація машин. Основні поняття та визначення.....	139
10.2 Організація експлуатаційної служби	140
10.3 Основні вимоги до експлуатації насосів.....	141
10.4 Експлуатаційна обкатка машин.....	142
10.5 Кліматичне виконання машин	143
10.6 Вплив умов експлуатації на технічний стан машин.....	144
10.7 Техніка безпеки під час експлуатації.....	145
Контрольні питання до розділу 10	147

РОЗДІЛ 11 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ	148
11.1 Основні положення правил технічної експлуатації насосної станції	148
11.2 Зношування обладнання насосних станцій	149
11.3 Насоси для гідросумішей	151
11.4 Експлуатація хімічних відцентрових насосів.....	156
Контрольні питання до розділу 11	163
РОЗДІЛ 12 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІДРОПРИВОДІВ.....	164
12.1 Технічне обслуговування гідроприводів	164
12.2 Технічне обслуговування робочих рідин	167
12.3 Основні причини несправностей агрегатів гідроприводів.....	170
Контрольні питання до розділу 12	172
Список літератури	173

Вступ

Навчальний посібник з курсу «Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів» призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» (спеціалізація «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропнеумоавтоматика»). Цей курс є одним з обов'язкових під час підготовки студентів даної спеціальності. Інформація щодо питань надійності та експлуатації гідромашин і гідроприводів розрізнена й немає єдиного підручника з цієї дисципліни.

Мета цього посібника – допомогти студентам опанувати необхідний обсяг знань із зазначеної дисципліни, скоротити час на самостійну підготовку, сконцентровано викласти основні поняття та визначення надійності гідромашин і гідроприводів та способи її підвищення.

У навчальному посібнику описані особливості експлуатації насосів та гідроприводів і наведені відомості з основних тем курсу. Він складається з дванадцяти розділів. У першому розділі висвітлена проблема надійності машин, наведені шляхи її підвищення, розглянуто основні поняття надійності та працездатності машин і фактори, які призводять до її втрати. У другому розглянуто механізм втрачання машиною працездатності внаслідок тертя і зношування, основні закони тертя, види зношування, розкрито поняття допустимого та граничного зношення, викладено методику визначення повного ресурсу з'єднання «вал – втулка», наведено методи вимірювання зношення, розглянуто основні чинники, що впливають на зношення, і зношування деталей насосів та гідроприводів. У третьому розділі викладено систему показників надійності машин, розглянуто поняття випадкової величини та основні закони її розподілу, визначено поняття надійності машини та її складових, подана характеристика кількісних і комплексних показників та наведена їх класифікація, а також наведені показники надійності залежно від типу машини. Розділ 4 присвячений механізмам відмови машин, у ньому наведена класифікація відмов і розглянутий їх поділ за причинами,

характером прояву, впливом на працездатність та ін. Розглянуто процеси, що впливають на працездатність машини, та основні моделі відмов. Визначені характеристики надійності машин у період прояву раптових, поступових відмов і під час їх одночасного прояву. Наведена характеристика відмов консольних відцентрових насосів і гідро- та пневмоприводів. У розділі 5 детально розглянуто методику надійності на стадії проектування машин. При цьому викладено метод структурних схем надійності і порядок розрахунку системи на надійність. Шостий розділ присвячений основним способам підвищення надійності машин. До них віднесено конструкційні, технологічні, експлуатаційні способи та метод резервування. Детально розглянуто класифікацію резервування і випадки застосування роздільного, загального, постійного резервування і резервування із заміщенням. У сьомому розділі викладено методику розрахунку надійності на стадії експлуатації машини. Наведені загальні положення статистичного оброблення інформації про надійність, методи встановлення виду теоретичного закону розподілу випадкової величини та оцінювання відповідності вибраного теоретичного закону експериментальним даним. У восьмому розділі подано короткі відомості про випробування на надійність, експериментальні стенди, програму і методику проведення контрольних, означальних та дослідних випробувань. Далі викладено методику оцінювання результатів випробувань. У розділі 9 розглянуто основні заходи щодо підвищення експлуатаційної надійності та довговічності насосів і гідроприводів. Розділ 10 присвячений експлуатації насосних установок. Подане визначення поняття «технічна експлуатація», розглянуто її складові та організацію експлуатаційної служби. Наведені основні вимоги до експлуатації насосів, кліматичне виконання машин, вплив умов експлуатації на технічний стан машин та основні заходи безпеки під час експлуатації насосних агрегатів. Розділ 11 присвячений особливостям експлуатації насосного обладнання на насосних станціях: відцентрових насосів водопостачання і каналізації, ґрунтових і шламових насосів,

хімічних відцентрових насосів. Наведені способи підвищення їх ефективності. В останньому, дванадцятому, розділі розглянуто особливості експлуатації гідроприводів та основні заходи щодо підвищення їх експлуатаційної надійності й довговічності.

У кожному розділі наведені контрольні питання, у більшості з розділів розглянуто приклади розрахунку задач із надійності машин.

Крім навчального посібника, додаткові знання студент може одержати з рекомендованої літератури.

РОЗДІЛ 1

ЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ МАШИН

1.1 Проблема надійності машин. Задачі теорії надійності

На сучасному етапі розвитку машинобудування, коли в основному вирішені питання кількості машин, великого значення набуває проблема підвищення їх якості та надійності. Підвищення надійності машин є важливим завданням будь-якої галузі господарства.

Наука про надійність техніки вивчає закономірності зміни показників працездатності машин з часом, а також фізичну природу відмов і на цій основі розробляє методи, що забезпечують потрібну довговічність та безвідмовність роботи машин із найменшими витратами часу і коштів.

Надійність машин необхідна для підвищення рівня автоматизації, зменшення витрат на ремонт, збитків від простою обладнання, забезпечення безпеки людей. Більш надійна техніка дозволяє збільшити продуктивність праці, коефіцієнт використання машин і зменшити експлуатаційні витрати.

Вирішення проблеми надійності – це значний резерв підвищення ефективності виробництва, зменшення матеріальних збитків і запобігання виникненню відмов машин. Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами: проектування, виготовлення та використання машини, починаючи з моменту формування ідеї створення машини і до прийняття рішення про її списання. Отже, проблема надійності є комплексною і потребує вирішення у сферах виробництва та експлуатації машин, акумулює й синтезує все те, що сприяє підвищенню працездатності машин. Раніше проблема надійності вирішувалася шляхом проектування машин із великим запасом міцності, що призводило до збільшення їх габаритів, ваги і металомісткості.

Надійність будь-якого технічного виробу залежить не лише від якості використовуваних у ньому елементів, а й від їх кількості. Зі збільшенням кількості складових елементів, тобто

зі збільшенням складності виробу, надійність (за інших однакових умов) знижується.

Велике значення для надійності машини поряд із кількістю деталей в її конструкції мають розміри і маса. Збільшуючи габаритні розміри та масу виробу, конструктор може запроєктувати майже необмежений запас міцності. На практиці маса сучасних машин неухильно зменшується. Наприклад, відносна маса двигунів внутрішнього згоряння у 1900 році становила приблизно 250 кг/кВт, а в сучасному літаку – 1,0–1,3 кг/кВт.

Проблема підвищення надійності машин є не лише суто технічною, а й економічною. Витрати на підвищення надійності машин здебільшого (крім тих, від яких залежить безпека людей) необхідно порівнювати із затратами на їх експлуатацію.

Є три періоди існування машини – *проекування, виготовлення та експлуатація*, і всі вони пов'язані з певними витратами. Для того щоб машина працювала справно впродовж усього терміну служби, необхідно здійснювати її технічне обслуговування та своєчасний ремонт. Витрати на експлуатацію всіх машин значно перевищують витрати на їх виготовлення. У сфері ремонту машин зайнято більше робітників, ніж на виробництві цих машин. Витрати металу на ремонт за повний термін служби машини наближаються до маси самої машини, а вартість усіх заходів щодо підтримування машини в працездатному стані за той самий період у середньому у 10–20 разів перевищує вартість самої машини. Особливо великі витрати йдуть на ремонт верстатів, тракторів та іншої сільськогосподарської техніки.

Основні завдання теорії надійності такі:

- вивчення теоретичних аспектів надійності й розроблення методики оцінювання надійності і довговічності машин та обладнання на основі використання математичної статистики і теорії ймовірності;

- вивчення досвіду експлуатації машин, аналіз відмов (несправностей) і умов, за яких вони виникають, та розроблення на цій основі більш надійних машин;

- організація служб надійності та збору інформації в конструкторських організаціях, на заводах і на місцях експлуатації;
- розроблення заходів щодо створення надійних машин, систем і агрегатів у процесі проектування. При цьому особливу увагу необхідно приділяти використанню більш міцних матеріалів, уніфікованих та стандартизованих вузлів і деталей;
- розроблення та впровадження різних заходів щодо підвищення надійності машин і систем під час їх експлуатації шляхом виконання серії доопрацювань, профілактичного обслуговування та якісного ремонту;
- проведення спеціальних експериментальних випробувань із метою підвищення надійності окремих вузлів, конструкцій та матеріалів.

1.2 Поняття надійності

Поняття надійності стандартизовані (ДСТУ 2860 – 94). Розглянемо основні з них.

Надійність – властивість об'єкта виконувати свої функції, зберігаючи з часом значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, зберігання й транспортування.

Об'єкт – предмет визначеного цільового призначення, який розглядають у період проектування, виготовлення і випробування.

Далі під *об'єктом* розумітимемо не просто якийсь технічний виріб, а певні технічні засоби, призначені для виконання заданих функцій (це – машини, агрегати, прилади тощо).

Виріб – одиниця продукції, що виробляється підприємством. Вироби бувають відновлюваними та невідновлюваними (підшипник, лампа тощо).

Елемент – найпростіша складова частина виробу, яка може складатися з декількох деталей.

Система – сукупність спільно діючих елементів, призначених для самостійного виконання заданих функцій.

Поняття «*елемент*» і «*система*» трансформуються залежно від умов. Насос при визначенні його надійності розглядається як система, а при визначенні надійності гідравлічної системи – як елемент.

Граничний стан – стан, при якому подальша експлуатація машини неможлива.

Відмова – порушення працездатності машини.

Ресурс – напрацювання машини (до відмови, капітального ремонту, граничного стану та ін.).

Якість – сукупність властивостей, що обумовлюють придатність продукції задовольняти вимоги споживання згідно з її призначенням. До показників *якості* належать надійність, технологічність, ступінь стандартизації та уніфікації, естетичність.

Для того щоб оцінити якість будь-якої машини повністю, необхідно знати не лише показники продуктивності та економічності, а й здатність її якнайдовше зберігати ці показники під час роботи.

Надійність – обов’язкова властивість будь-якої машини або виробу. Проте сама по собі надійність ще не означає їх високої якості. Машина може бути надійною, але мати досить низькі технічні характеристики. З іншого боку, якщо машина не має потрібної надійності, то всі її технічні дані та решта показників втрачають своє практичне значення, бо вони не можуть бути використані. Отже, *надійність* є особливою, *найголовнішою властивістю* технічних виробів, що визначає їх якість.

1.3 Поняття працездатності машин

Працездатність – стан об’єкта, при якому він здатний виконувати свої функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, установлених нормативно-технічною документацією.

Працездатність оцінюють параметрами технічного стану. Розрізняють *функціональні* та *діагностичні* параметри.

Функціональні (структурні) параметри – це зношення, розмір деталі, зазор, вихідні та технічні характеристики машини (тиск, напір, подача, к. к. д. тощо).

Діагностичні параметри – температура, шум, вібрація, ступінь герметичності, витоки, витрата мастила та ін.

Крім того, працездатність можна оцінювати за *якісними* показниками: наявністю витоків мастила, кольором відпрацьованих газів, скрипом, запахом горілої гуми або електропроводу. *Ці ознаки не вимірюють, їх якісно оцінюють.*

Розглянемо кількісні показники працездатності. До них належать: а) придатність; б) ресурс.

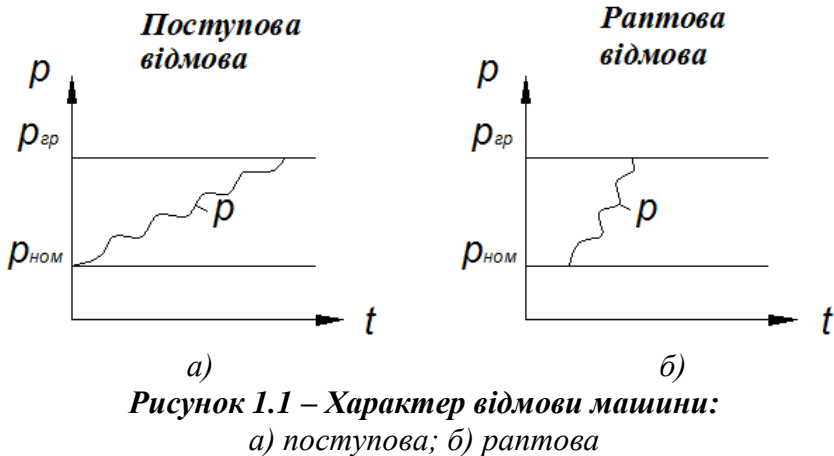
Придатність машини – це відносна здатність виконувати нею задані функції упродовж певного часу.

Ресурс машини – це напрацювання її до *граничного* стану, зазначеного в технічній документації.

Граничний стан – стан, при якому використання машини *технічно неможливе* або *економічно недоцільне*. При цьому різко погіршуються показники роботи машини: знижується продуктивність, не виконуються задані функції, відбувається висока інтенсивність відмов та ін.

Параметри технічного стану машини змінюються з часом її роботи. При цьому кожний параметр змінюється від *номінального* до *граничного*. Номінальне значення $p_{\text{ном}}$ визначають функціональним призначенням машини (паспортними даними). Граничне $p_{\text{гр}}$ – це найбільше або найменше значення, яке може мати працездатна машина. Допустиме значення $p_{\text{пр}}$ параметра – це те значення, при якому машина після контролю зможе працювати ще один міжремонтний період.

Залежно від зміни параметра p від номінального до граничного змінюється й *характер відмови* машини. Розглянемо два випадки (рис. 1.1).



Поступова зміна параметрів від $p_{\text{ном}}$ до $p_{\text{гр}}$ призводить до поступової відмови.

Приклад: зношення підшипників, шестерень та ін.

При раптовій зміні параметрів до $p_{\text{гр}}$ відбувається раптова відмова машини (наприклад, тріщина головки болта циліндрів двигуна внутрішнього згорання, вихід із ладу запобіжного клапана або змащувальної системи та ін.).

Розглянемо шляхи підвищення працездатності машини.

Працездатність залежить від швидкості зміни параметрів технічного стану машини. Висока працездатність машини забезпечується поліпшенням її конструкції, фізико-механічних властивостей матеріалів і вузлів тертя. Для цього необхідно використовувати зносостійкі матеріали та високоякісні мастила, забезпечувати точне оброблення деталей вузлів, дотримуватися періодичності технічного обслуговування та ремонтів машини, а також якісного їх виконання. Це збільшує напрацювання машини між відмовами. Робота машини в заданому технічною документацією робочому режимі зменшує випадки її перевантаження.

1.4 Зміна працездатності машини

Будь-яка машина під час експлуатації, зберігання і транспортування зазнає внутрішнього і зовнішнього впливу, в результаті якого порушується її працездатність. Розглянемо основні процеси пошкодження машини (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Процеси пошкодження машини

1.4.1 Механічні навантаження

Під дією *механічних навантажень* виникають різні внутрішні напруження і, як наслідок, деформації, тріщини та поломки деталей.

Деформації поділяють на пружні й пластичні.

Пружні відбуваються лише в момент прикладення навантажень. *Пластичні* деформації характеризуються тим, що вони залишаються після дії навантажень. При цьому змінюються форма і розміри деталі.

Тріщини є результатом дії змінних навантажень. Із часом вони збільшуються, і це спричинює руйнування деталі. Поломки відбуваються у найбільш неміцних місцях (переходи, різі, шпонки та ін.).

1.4.2 Зношування

Зношування – це процес поступової зміни деталі під дією тертя.

Характер цього процесу визначається видом тертя, фізико-хімічними властивостями матеріалу, швидкістю відносного переміщення поверхонь тертя, величиною й характером навантаження, видом і якістю мастил, умовами експлуатації та ін.

1.4.3 Корозія

При *корозії* відбувається зміна матеріалу під дією доквілля (повітря, рідини, газу, температури тощо). Метали при цьому змінюють свої властивості.

Корозія – це реакція, що відбувається на межі різних фазових середовищ. У природі цей процес відбувається з виділенням енергії. Тому його можна лише призупинити (зупинити неможливо). Найбільш поширеною є *електрохімічна корозія*. Під її дією руйнуються поверхні транспортних машин (крила і кабіни автомобілів, тракторів та ін.). Вплив корозії на деталі гідравлічних машин наведено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Корозійне руйнування поверхні робочого колеса турбіни ГЕС

1.4.4 Кавітація

Кавітація (від латинського *cavitas* – порожнина) – це порушення суцільності всередині рідини, тобто утворення в ній порожнин. Кавітація характеризується виникненням у потоці рідини так званих кавітаційних бульбашок (пухирців), заповнених паром, газом або повітрям. Вони виникають у випадку, коли тиск у потоці рідини стає меншим, ніж тиск насиченої пари для даної температури, тобто $p < p_{\text{нп}}$. У процесі подальшого руху утворені пухирці потрапляють у зону підвищеного тиску і відбувається їх руйнування. При захопленні пухирців тиск збільшується до десятків атмосфер, і якщо воно відбувається на поверхні деталі, то це призводить до її руйнування. Процес виникнення кавітації та її прояв наведено на рис. 1.4–1.7. Уперше це явище спостерігали на гвинтах кораблів.

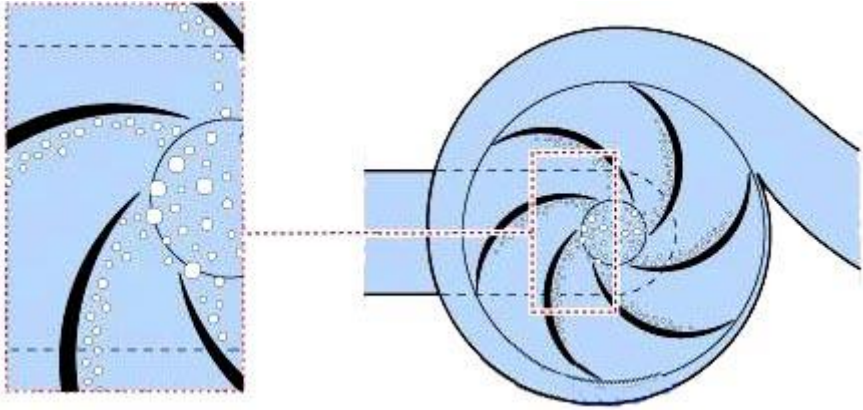


Рисунок 1.4 – Місця виникнення кавітації

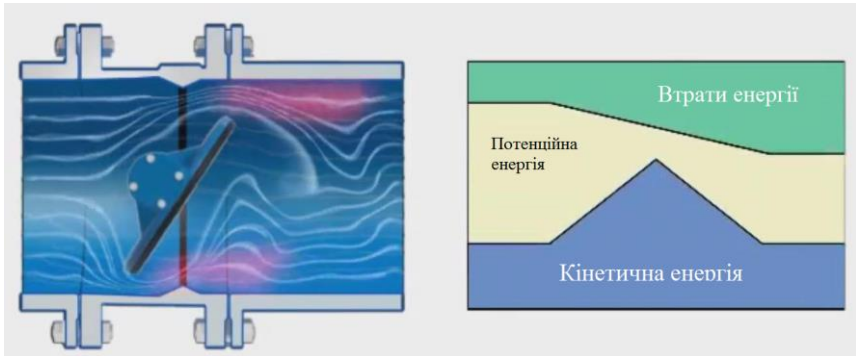


Рисунок 1.5 – Причини виникнення кавітації

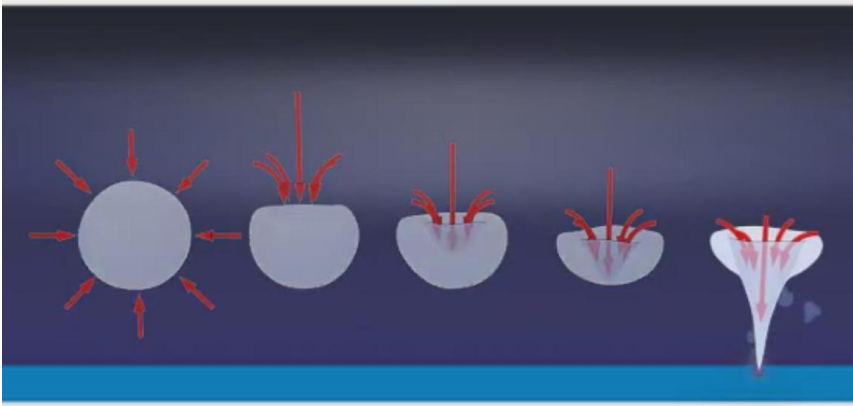


Рисунок 1.6 – Схлопування кавітаційних пухирців



Рисунок 1.7 – Принцип дії кавітації на поверхні обладнання

Кавітація негативно впливає на роботу машин і їх технічний стан. При цьому відбуваються зміна характеристик роботи машини (зменшення подачі, напору, к. к. д.), руйнування поверхонь деталей (викришування металу, рис. 1.8), спостерігаються шум і вібрація.

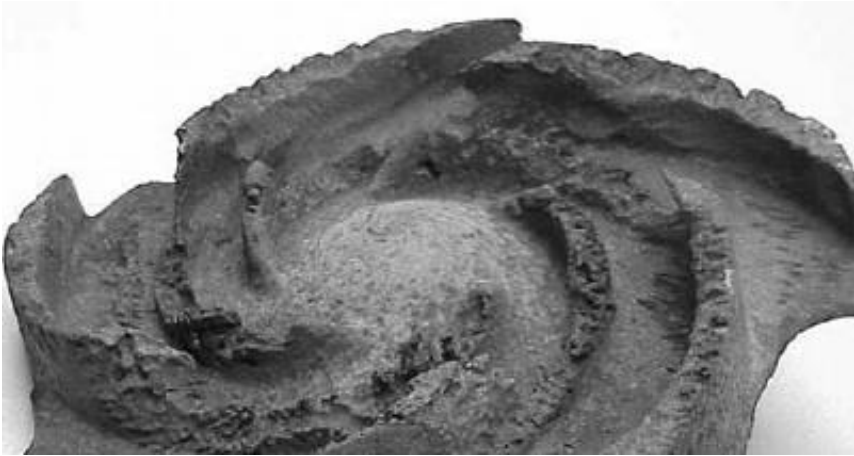


Рисунок 1.8 – Негативний вплив кавітації на напрямний апарат насоса

1.4.5 Перегрівання

Нагрівання деталей до температури, вищої за критичну, спричиняє зміну структури матеріалу і, як наслідок, деформації та прогорання деталей (рис. 1.9).

Крім того, на їх поверхні може виникати «нагар» від дії дуже нагрітих газів і продуктів згоряння палива й мастил (рис. 1.10). Це спричиняє перегрівання деталей і появу тріщин, а також порушення нормального процесу тепловіддачі.



Рисунок 1.9 – Наслідок перегрівання деталей машин (двигун автомобіля Citroen C4, на якому проїхали 220 км на першій передачі)

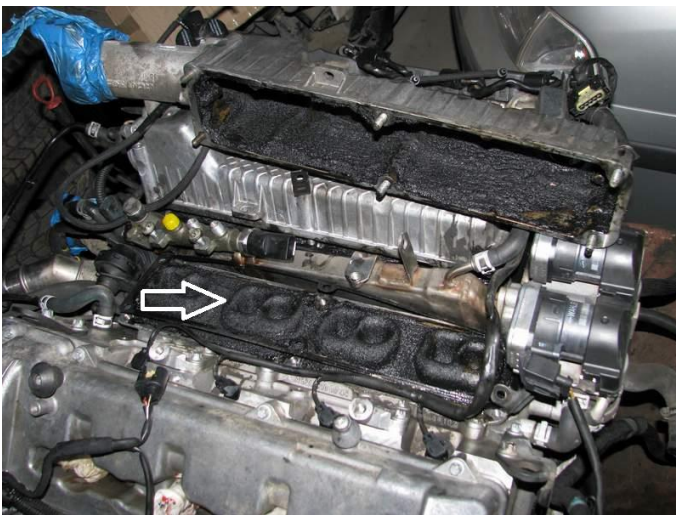


Рисунок 1.10 – Нагар на впускному колекторі (складається із мастила та частинок сажі)

1.4.6 Біологічні пошкодження

Перше місце серед біологічних ушкоджень належить шкоді від *плісняви* (рис. 1.11). У прошарку плісняви виникають *ферменти*, що знищують матеріал. Крім того, кислоти (лимонна, щавлева) спричинюють корозію металів.

Пліснявоутворення – це складний процес. Залежить від температури, вологості, сонячної радіації. Пліснява роз’їдає ізоляційний матеріал та деякі види пластмас.

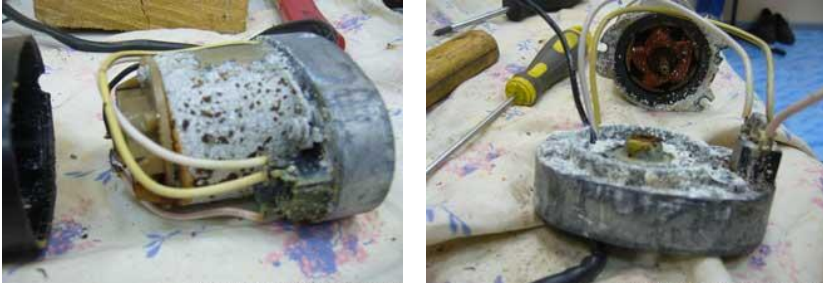


Рисунок 1.11 – Пліснява на моторі-редукторі очисника фар автомобіля

Крім того, шкоди завдають *молюски* (рис. 1.12) і *гризуни* (миші та пацюки).



Рисунок 1.12 – Приклад дії молюсків на занурені у воду деталі машин

1.4.7 Негативний вплив людини

Система «людина – машина» може впливати на зміну технічного стану машини. Негативний вплив людини може бути у випадках недостатнього знання машини, халатності, втоми та ін. Наслідки при цьому можуть бути різними.

Моральне зношення машини характеризується використанням малопродуктивних, металомістких, неекономічних машин, в основному через відсутність коштів. При цьому марно витрачаються електроенергія, тепло, матеріальні ресурси, кошти.

Шкода, яку спричиняють морально зношені машини, дуже велика. Це спонукає споживача до розроблення нових машин та енергозбережних технологій.

Контрольні питання до розділу 1

- 1 Охарактеризуйте термін «надійність».
- 2 У чому полягає сутність проблеми надійності машин?
- 3 Основні завдання теорії надійності.
- 4 Дайте визначення таких понять: «об'єкт», «виріб», «елемент», «система», «граничний стан», «відмова», «ресурс», «якість».
- 5 З якою метою необхідно підвищувати надійність машин?
- 6 Розкрийте суть поняття працездатності машини.
- 7 Якими параметрами оцінюють працездатність машини?
- 8 У чому полягає відмінність ресурсу машини від граничного стану?
- 9 Від чого залежить характер відмови машини?
- 10 Основні шляхи підвищення працездатності машини.
- 11 Основні процеси ушкодження машини.
- 12 Який вплив механічних навантажень, зношування та корозії на технічний стан машин?
- 13 Сутність виникнення кавітації під час роботи гідравлічних машин та її вплив на їх працездатність.
- 14 Біологічні чинники впливу на технічний стан машин.
- 15 Вплив системи «машина – людина» на зміну працездатності машини.
- 16 Чим характеризується моральне зношення машини?

РОЗДІЛ 2

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ МАШИН

2.1 Причини втрати машиною працездатності

Навіть за найдосконалішої конструкції та ретельного обслуговування фізичне спрацювання машин неминуче. Фізичне зношування можна розглядати як функцію від часу $f(t)$.

Основною причиною, що призводить до втрати працездатності більшості машин, є *зношення* з'єднаних деталей. Стійкість матеріалу проти зношування залежить не лише від властивостей вибраного матеріалу, а й від технології виготовлення деталей, припрацювання їх у початковий період експлуатації та багатьох інших факторів.

На *працездатність* машини впливають усі *види енергії*: механічна, теплова, електромагнітна, хімічна та інші.

Механізм втрачання машиною працездатності досить складний і залежить від комплексу процесів, що відбуваються під час експлуатації машини. При цьому пошкодження деталей машин поділяють на *допустимі* і *недопустимі*.

Допустимі пошкодження виникають, як правило, за нормальних умов експлуатації машини. Це руйнування від зношування, утомленості та старіння матеріалу. Процесом старіння називають необоротну зміну властивостей або стану матеріалу виробу внаслідок дії різних факторів. *Допустимі* пошкодження усувають, як правило, під час *планових ремонтів* машин.

Недопустимі пошкодження мають *аварійний* характер, ці пошкодження або відмови виникають унаслідок недостатньої міцності матеріалу чи від утомленості. Це теплові тріщини, викришування частинок із поверхонь тертя тощо. Відмови деталей через недопустимі пошкодження усувають під час *непланових ремонтів*.

2.2 Зношування. Закони тертя

2.2.1 Зношування

Під час контакту двох спряжених поверхонь деталей та їх відносного переміщення у поверхневих шарах виникають механічні та молекулярні взаємодії, що призводять до руйнування поверхонь, тобто зношення. *Зношення* – це результат *зношування*. Під *зношуванням* розуміють процес відокремлення матеріалу з поверхні твердого тіла під час тертя.

Тертя – це опір, який виникає при взаємному переміщенні тіл, що стикаються. Відповідно до молекулярно-механічної теорії *У. В. Крагельського і Б. В. Дерягіна* тертя складається з двох опорів, із них перший – це результат механічної взаємодії, за якого виступи однієї поверхні потрапляють у западини іншої (фрикційний зв'язок), а другий – це наслідок молекулярної взаємодії поверхонь тертя.

Залежно від кінематики відносного переміщення тіл у машинах та механізмах відбуваються два види тертя: *тертя ковзання* і *тертя кочення*. На межі контакту деталей можуть відбуватися пружні та пластичні деформації і молекулярне зчеплення.

Залежно від наявності або відсутності мастила розрізняють такі види тертя (рис. 2.1):

- а) *сухе* – виникає між поверхнями тертя за відсутності мастила;
- б) *рідинне* – виникає у випадку повного розділення поверхонь *шаром* мастила;
- в) *граничне* – поверхні тертя розділені тонким шаром рідини (не більше 0,1 мкм).

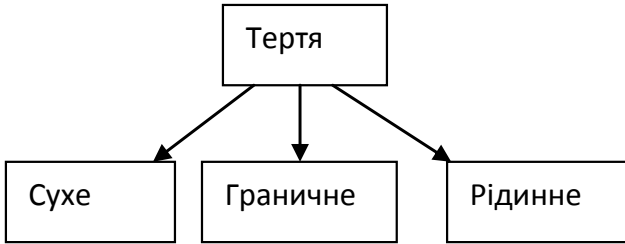


Рисунок 2.1 – Види тертя

2.2.2 Закони тертя

Залежно від кінематики відносного переміщення тіл і наявності мастил розрізняють закони тертя.

Закон сухого тертя ковзання. Залежність сили сухого тертя ковзання F_k від нормального тиску N установив Г. Амонтон (1699 р.).

Згідно з цим законом сила тертя F_k пропорційна вазі вантажу G (силі тиску N) і не залежить від величини площі дотику:

$$F_k = f \cdot N, \quad (2.1)$$

де $f = \frac{F_k}{N}$ – коефіцієнт тертя.

Л. Ейлер провів додаткові випробування ковзання тіла по похилій площині (рис. 2.2) та одержав рівняння для визначення коефіцієнта тертя:

$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2l}{gt^2 \cos \alpha}, \quad (2.2)$$

де α – кут нахилу;
 l – шлях, який пройшло тіло;
 g – прискорення вільного падіння;
 t – час переміщення на відстань l .

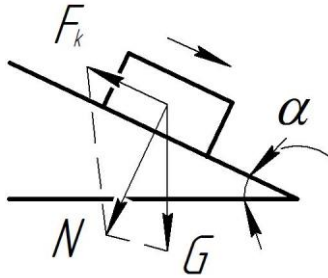


Рисунок 2.2 – Тертя ковзання

Закон тертя кочення. Винайшов закон тертя кочення Ш. Кулон у 1799 році. Згідно з цим законом сила тертя кочення прямо пропорційна нормальному тиску та обернено пропорційна радіусу котка:

$$F_{\text{коч}} = f_{\text{коч}} \cdot \frac{N}{R}, \quad (2.3)$$

де N – нормальна сила;

$f_{\text{коч}}$ – коефіцієнт тертя кочення.

Закон рідинного тертя. За цим законом сила рідинного тертя F_p прямо пропорційна коефіцієнту рідинного тертя f_p і навантаженню N :

$$F_p = f_p \cdot N. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт рідинного тертя f_p залежить від виду мастила, швидкості взаємного переміщення і товщини шару мастила.

2.3 Види зношування деталей

Зношування у машинах згідно з ГОСТом 27674–88 поділяють на *механічне*, *корозійно-механічне* і *зношування*

внаслідок дії *електричного струму*. Розглянемо механічне зношування.

Механічне зношування – це зношування внаслідок механічної дії. Механічне зношування, у свою чергу, поділяють на абразивне, гідроабразивне, гідроерозійне та внаслідок утомленості.

Абразивне зношування – це механічне зношування матеріалу внаслідок різальної або дряпаючої дії твердих тіл чи частинок. Абразивні частинки можуть бути мінерального походження, металевими, продуктами окиснення поверхонь деталей та ін.

Основне джерело потрапляння абразивних частинок у з'єднання машин – докільля. Більшість частинок мають розмір 5–120 мкм, тобто співмірні із зазорами в з'єднаннях машин. Швидкість абразивного зношування залежить від кількості абразивних частинок та їх твердості.

Для зниження абразивного зношування твердість робочої поверхні деталі повинна бути в 1,3 раза вищою за твердість абразиву.

Різновидом абразивного є *гідроабразивне зношування*. Це абразивне зношування внаслідок дії твердих тіл або твердих частинок, що виносяться потоком рідини. Таке зношування характерне для гідравлічних машин і гідроприводів.

Ерозійне зношування внаслідок дії потоку рідини називається *гідроерозійним*. *Ерозія металів* – комплексний фізичний та фізико-хімічний процес, що відбувається внаслідок впливу докільля, окиснення, наклепу, температурних напружень та від утомленості. Прикладом ерозійного зношування машин є зношування *розподільників гідравлічної апаратури*.

Різновидом гідроерозійного зношування є *кавітаційне*.

Кавітаційне зношування – це механічне зношування під час руху твердого тіла відносно рідини, за якого *пухирці газу лопаються поблизу поверхні*, що створює місцевий ударний тиск.

Зношування від кавітації характерне для *гідравлічних машин*, коли в потоці рідини утворюються *пухирці пари та газу*,

при переході в зону високих тисків відбувається конденсація пари і створюються умови для місцевого гідравлічного удару. При цьому дія тиску на поверхню буває настільки значною, що виникають глибокі каверни, які можуть зливатися й утворювати навіть наскрізний отвір (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Кавітаційне зношення робочого колеса

На рисунку 2.4 наведені місця зношування від дії перекачуваної води на робочі колеса відцентрових насосів, установлених на водопровідній насосній станції.

Зношування від утомленості – це механічне зношування внаслідок руйнування від утомленості при повторному деформуванні мікрооб’єктів поверхневого шару. Явище зношування від утомленості відбувається під час тертя кочення і тертя ковзання. Основою цього виду зношування є утворення *фрикційних зв’язків* при прикладенні нормального навантаження в разі відносного ковзання поверхонь тертя.

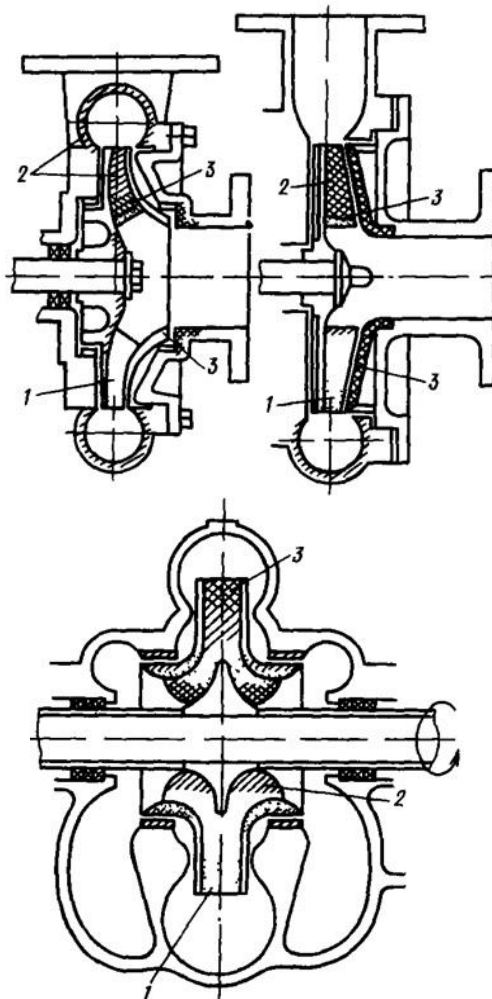


Рисунок 2.4 – Зони зношування робочих органів насосів:

1 – область кавітаційної ерозії; 2 – область гідроабразивного зношування; 3 – область спільної дії кавітації та гідроабразивного зношування

Зношування від утомленості найчастіше спостерігається в умовах високих контактних навантажень при одночасному коченні та проковзуванні однієї поверхні по іншій. За таких

умов працюють важко навантажені *шестерні* та *підшипники* кочення.

2.4 Допустиме і граничне зношення деталей

Зношення деталей поділяють на допустиме і граничне.

Допустимим називається зношення, за якого деталь зможе нормально працювати ще цілий міжремонтний період.

Граничним називається зношення, за якого подальша нормальна робота з'єднання деталей неможлива. Допустиме і граничне зношення оцінюють кривою природного механічного зношування $U_{\text{мех}}$ (рис. 2.5). Ця характеристика справедлива для більшості з'єднань деталей. Крива зношування має три ділянки:

I – початкова ділянка, що характеризує припрацювання нового з'єднання;

II – прямолінійна ділянка нормальної роботи з'єднання;

III – криволінійна ділянка, що характеризує процес зруйнування внаслідок граничного зношення.

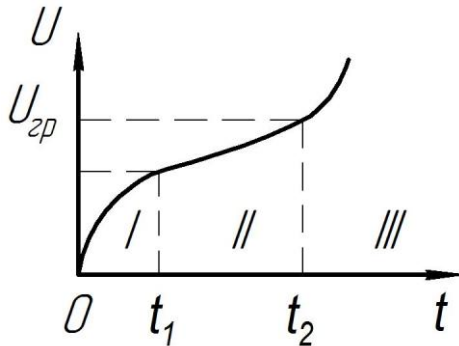


Рисунок 2.5 – Крива механічного зношення

Граничні зношення по-різному впливають на роботу машини. Розглянемо три випадки.

У першому випадку внаслідок зношування машина не може функціонувати, тобто стає неприцездатною (відмовляє)

(рис. 2.6). Прикладом є поломка вала, підшипників, заїдання зубів шестерень та ін.

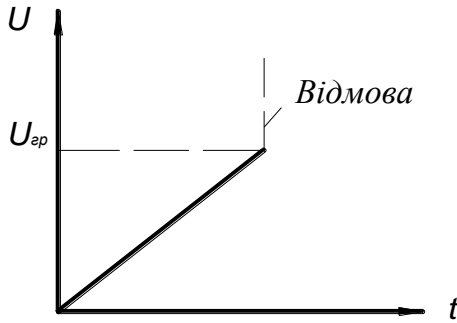


Рисунок 2.6 – Граничне зношення деталі

У другому випадку зношування призводить до того, що машина і деталі починають інтенсивно виходити з ладу (аварійне зношування) (рис. 2.7). При цьому виникають удари, інтенсивне зношування, вібрація та ін. Прикладом є зношування поршневих кілець, покритих хромом. При граничному зношенні шар хрому швидко знімається, і відбувається подальше інтенсивне зношування деталі.

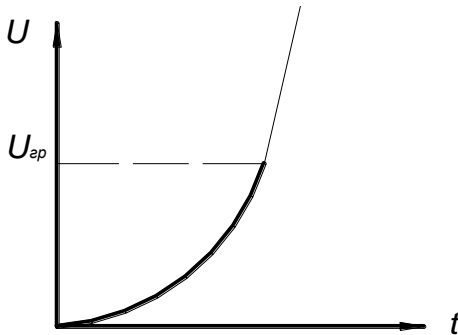


Рисунок 2.7 – Інтенсивне зношування деталі

У третьому випадку внаслідок зношування характеристики машини виходять за рекомендовані межі (рис. 2.8). Знижуються точність машин, їх працездатність,

зменшуються подача, напір, к.к.д. та інші параметри. Прикладом є випадок, коли насос не забезпечує необхідної подачі.

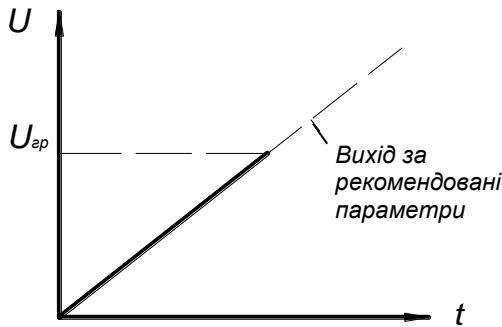


Рисунок 2.8 – Межа зношування деталі

Граничні зношення найчастіше встановлюють на основі даних експлуатації та ремонту машин.

Розглянемо з'єднання «вал – втулка».

Для визначення повного ресурсу $T_{сп}$ необхідно мати криву зношування деталей залежно від напрацювання і значення їх граничного зношення $U_{гр}$ (рис. 2.9).

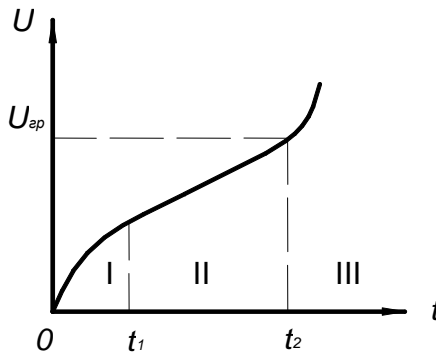


Рисунок 2.9 – Характеристика зношування

Між валом і втулкою завжди є зазор, величина якого залежить від класу точності та посадки.

Побудуємо розрахункову схему зношування деталей з'єднання залежно від напрацювання T .

На ділянці часу ot_1 (рис. 2.10) відбувається припрацювання з'єднання; на ділянці t_1t_2 – робота його в нормальних умовах; на ділянці $t > t_2$ величина зношування різко збільшується. При цьому деталь стає непридатною, тому що її зношення досягне значень $U_{гр}^{BT}$ (для втулки) і $U_{гр}^B$ (для вала). Отже, відрізок часу $o - t_2$ характеризує межу роботи з'єднання, а $U_{гр}^{BT}$ і $U_{гр}^B$ – граничні зношення.

Час напрацювання деталі до граничного стану $T_{сп}$ (списання) визначають за формулою

$$T_{сп} = \frac{U}{v_3}, \quad (2.5)$$

де U – граничне зношення;
 $v_3 = v_{вт} + v_B$ – швидкість зношування з'єднання;
 $v_{вт}$ – швидкість зношування втулки;
 v_B – швидкість зношування вала.

Визначимо величину *допустимого* зношення. При цьому припустимо, що крива зношення має лінійну залежність.

За період міжремонтного напрацювання $T_1 = T_{мр}$ зношення деталі збільшилося на vT_1 (ΔABC , рис. 2.11).

$$tg \alpha = v = \frac{U_{дон}}{T_p}, \quad (2.6)$$

де T_p – напрацювання деталі до ремонту.

$$T_p = kT_1, \quad (2.7)$$

де k – кількість поточних ремонтів.

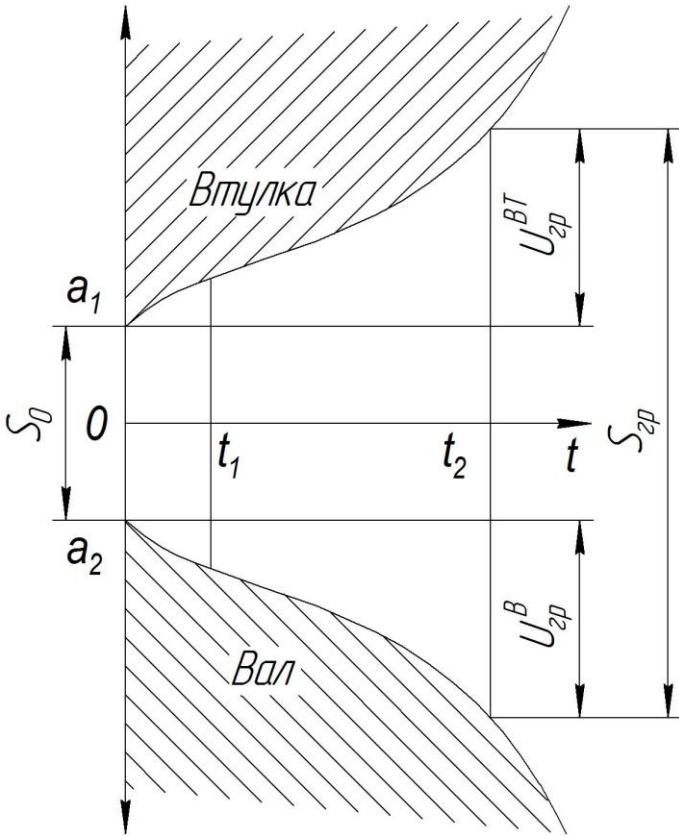


Рисунок 2.10 – Схема зношування деталей з'єднання:

oa_1 – середнє відхилення діаметра отвору; oa_2 – середнє відхилення діаметра вала; $a_1 a_2$ – початковий зазор

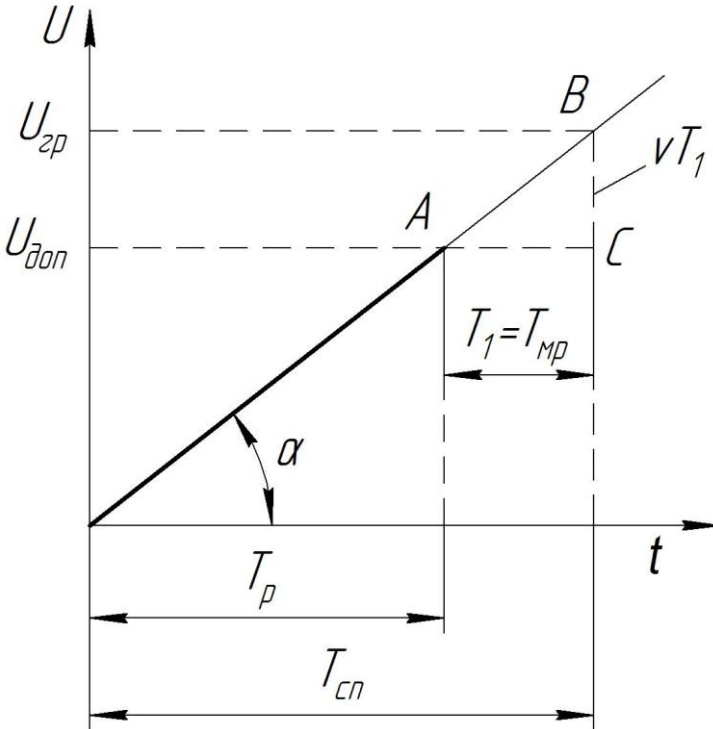


Рисунок 2.11 – Допустиме зношення

Визначимо граничне зношення

$$U_{зр} = U_{дон} + vT_1. \quad (2.8)$$

Допустиме зношення

$$U_{дон} = U_{зр} - vT_1. \quad (2.9)$$

Враховуючи, що

$$\operatorname{tg} \alpha = v = \frac{U_{дон}}{T_p}, \quad (2.10)$$

одержуємо

$$U_{\text{дон}} = U_{\text{зр}} - \frac{U_{\text{дон}}}{T_p} \cdot T_1, \quad (2.11)$$

$$U_{\text{зр}} = U_{\text{дон}} \left(1 + \frac{T_1}{T_p} \right). \quad (2.12)$$

Підставляємо $T_p = kT_1$,

де k – кількість періодичних ремонтів від останнього капітального ремонту.

Граничне зношення

$$U_{\text{зр}} = U_{\text{дон}} \left(1 + \frac{1}{k} \right). \quad (2.13)$$

Допустиме зношення

$$U_{\text{дон}} = U_{\text{зр}} \frac{k}{k+1}. \quad (2.14)$$

2.5 Методи вимірювання зношення

Зношення деталі може визначатися декількома методами. Розглянемо основні з них.

2.5.1 Метод мікрометричного вимірювання

Зношення деталі вимірюють за допомогою мікрометрів та інших вимірювальних приладів перед початком зношування і в процесі роботи деталі. Цей метод потребує великих витрат на

розбирання та складання і дає похибку. Виміряти зношення можна лише у визначеному місці деталі й приблизно.

2.5.2 Метод зважування деталей

При цьому методі визначають *сумарне* зношення металу. Допускають, що зношення має лінійну залежність і рівномірно розподілене по всій поверхні деталі. Під час розрахунку зношення враховують форму деталі та її розмір. Недолік методу – *непряме* визначення зношення.

2.5.3. Метод виявлення металу у відпрацьованому маслі

Цей метод дає можливість установити сумарне зношення деталей або вузла машини. Відомо, що продукти зношення складаються з найменших металевих частинок, які потрапляють у масло. Для одержання величини сумарного зношення відбираються проби, які потім спалюють. Кількість металу визначають за допомогою хімічного аналізу. *Основний недолік* методу – це неможливість установлення лінійного зношення окремих деталей. *Позитивним* є можливість визначення загального зношення на будь-якому етапі випробувань без зупинки машини, а також збереження часу, що витрачається для визначення зношення.

2.5.4 Метод радіоактивних ізотопів

Використовують його для визначення середнього зношення деталей машин. Суть методу полягає в тому, що у поверхневий шар деталі вводять *радіоактивну* речовину. Під час роботи машини ця речовина разом із продуктами зношення основного металу видаляється. За її кількістю в мастилі встановлюють загальне зношення машини (вузла).

Цей метод більш чутливий, ніж метод визначення зношення у відпрацьованому маслі, але *небезпечний*.

2.5.5 Метод штучних баз

На поверхні деталі виконують «лунку», основні розміри якої (довжину і глибину) вимірюють до і після випробувань. Різниця цих розмірів характеризує величину мінімального зношення. Метод точніший від мікрометричного.

2.6 Основні чинники, що впливають на зношення деталей

Розглянемо основні чинники, що впливають на зношення деталей.

Якість оброблюваної поверхні. Вона впливає на міцність і зносостійкість деталей. Установлено, що шліфування та полірування деталей підвищують *зносостійкість* поверхні металу на 40-50 % порівняно з обробленням інструментом. Обкатування роликми, кульками та інші механічні операції значно збільшують *міцність і зносостійкість деталей машин*. Зміцнення матеріалу досягають і термічним обробленням. При цьому підвищуються експлуатаційні якості (зносостійкість і міцність) машин.

Якість металу. Зносостійкість *вуглецевих сталей* залежить від кількості вуглецю. Найбільш зносостійкою є мартенситна структура. Чим нижча температура відпуску вуглецевої сталі після загартування, тим вища її зносостійкість. Присадки хрому, молібдену та інших елементів, що вступають у хімічну реакцію з вуглецем, підвищують твердість (міцність) сталі. Цим пояснюється використання легованих сталей. На антифрикційні властивості чавуну впливають включення графіту, кремнію, марганцю, нікелю, хрому та ін. Найбільш зносостійким є чавун, що має 1,2–1,5 % нікелю і 0,4–0,5 % хрому. Зносостійкість чавуну підвищують і азотуванням.

Крім того, для підвищення міцності деталей використовують цементацію, хромування, наплавлення твердих сплавів та ін.

Якість мастильних матеріалів. Якість мастильних матеріалів впливає на характер тертя і, як наслідок, на зношення деталей.

Відносна швидкість і питомий тиск. Зношування деталей залежить від відносної швидкості переміщення поверхонь тертя і питомого тиску. Чим більша швидкість, тим більш шлях, що проходить тіло за даний проміжок часу, і відповідно зношення.

2.7 Зношування деталей насосів та гідроприводів

Розширення сфери застосування гідромеханізації та гідротранспорту і впровадження їх у різні галузі народного господарства поставили вимогу оснащення будівельних, гірничорудних, металургійних, хімічних та інших підприємств відцентровими насосами для перекачування абразивних гідросумішей (*грунтовими, пісковими, шламовими*).

Основним експлуатаційним недоліком цих насосів є малий термін служби деталей проточної частини з причини інтенсивного *гідроабразивного зношування*. За характером зношування всі деталі насосів можна поділити на *дві групи*.

До *першої групи* належать *робоче колесо і відвід*, проточні канали яких зношуються найбільше. Під час перекачування гідросумішей із великими твердими включеннями ці деталі ще й зазнають ударів. Найбільш інтенсивно зношуються лопаті робочих коліс на вході й виході, внутрішні поверхні їх дисків, поверхні відводу в зоні розрахункового перерізу та вхід у дифузор. Усмоктувальний патрубок зношується значно менше.

До *другої групи* належать деталі, що зношуються за рахунок *перетікання гідросуміші* з порожнини під великим тиском у порожнину з меншим тиском: бронедиски, зовнішні диски коліс, деталі ущільнень із боку всмоктування і вузол сальникового ущільнення. Зношування цих деталей збільшується під час транспортування гідросумішей із дрібними твердими включеннями.

В основному зношення деталей визначається абразивністю гідросуміші й твердістю матеріалу деталей. Робочі органи насосів зношуються за рахунок контакту твердих частинок, що рухаються з рідиною, зі стінками каналів проточної частини насоса. На характер та інтенсивність зношування, крім твердості матеріалу, впливають швидкість і концентрація твердих частинок та кути натікання потоку рідини на лопаті робочого колеса.

Чинників зношування гідравлічних пристроїв та *гідроприводів* дуже багато, це: режим роботи, фізико-хімічні характеристики пар тертя, технологія виготовлення деталей, конструктивні особливості, тип робочої рідини та ін. Кожний із цих чинників спричиняє фізичні, хімічні або структурні зміни в поверхневому шарі зношеної деталі.

Статистичне оброблення результатів випробувань та експлуатація гідроприводів показали, що *найбільш слабкою ланкою є насос*, в якому до проблемних відносять деталі розподільної, рідше – поршневої групи.

Для гідроприводів найбільшими є *втрати від поступових відмов*, тобто зношування деталей під час їх роботи і втрати вузлами машин своїх початкових параметрів. Як правило, зношування гідросистем пов'язують з їх забрудненням. Забруднення можуть бути у вигляді твердих, рідких і газоподібних включень. Кожне з них може значною мірою впливати на зношування деталей.

Для *гідравлічних приводів верстатів* найбільш небезпечними є нагрівання рідини, потрапляння механічних домішок, води та повітря.

Найбільший вплив на надійність і довговічність гідропривода чинять механічні включення робочої рідини. Внаслідок забруднення робочих рідин із ладу виходить близько 75 % гідроприводів, майже половина аварій в авіації пов'язана із забрудненням робочих рідин, ресурс гідронасосів зменшується в 10–12 разів, 65 % відмов рульового керування також пов'язані із забрудненням рідини.

У гідроприводі *робоча рідина* – це один з основних елементів: робоче тіло, мастило. Вона відводить тепло, продукти зношування і захищає систему від корозії. Тому її вибору необхідно приділяти особливу увагу.

Контрольні питання та задачі до розділу 2

- 1 Назвіть основну причину, що призводить до втрати працездатності машини.
- 2 Які види енергії діють на працездатність машин і механізмів?
- 3 Як поділяють пошкодження, що відбуваються у машині?
- 4 Який процес розуміють під зношуванням деталей машин?
- 5 Наведіть основні види зношування деталей.
- 6 Що таке механічне та абразивне зношування.
- 7 Поясніть сутність гідроабразивного та ерозійного зношування деталей гідравлічних машин.
- 8 Назвіть місця зношування елементів насоса, який застосовують для перекачування абразивних гідросумішей.
- 9 Опишіть процес кавітаційного зношування деталей гідромашин.
- 10 Охарактеризуйте зношування від утомленості.
- 11 Що впливає на інтенсивність зношування робочих органів насосів?
- 12 Назвіть елемент у системі гідропривода, який є найбільш слабкою ланкою під час його експлуатації.
- 13 Основні чинники зношування гідравлічних пристроїв та гідроприводів.
- 14 Який вплив робочої рідини гідропривода на його надійність і довговічність?

Задача 2.1

Визначити необхідність відновлення деталі, якщо при третьому поточному ремонті її зношення дорівнює 0,08 мм. Граничне зношення деталі $U_{гр} = 0,1$ мм.

Розв'язання

Визначимо допустиме зношення за формулою

$$U_{дон} = U_{гр} \frac{k}{k+1},$$

$$U_{дон} = 0,1 \frac{3}{3+1} = 0,075 \text{ мм.}$$

Отже, деталь необхідно відновлювати, тому що $U_{дон}$ менше від фактичного зношення.

РОЗДІЛ 3 СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАШИН

3.1 Випадкові величини та їх характеристики

У розрахунках надійності більшість параметрів повинні розглядатися як випадкові величини. *Випадковою* називається величина, що набуває заздалегідь невідомого значення. Випадкові величини можуть бути нескінченними, або дискретними.

Нехай X – випадкова величина, а x – деяке дійсне число з області зміни величини X . Можна стверджувати, що в діапазоні зміни випадкової величини X існує ймовірність того, що $X < x$ [$P(X < x)$]. Ця залежність $F(X) = P(X < x)$ називається **функцією розподілу**, або **функцією ймовірності**, випадкової величини X .

Функція $F(X)$ є неспадною функцією (монотонно зростаючою). У діапазоні зміни випадкової величини X вона змінюється від 0 до 1.

Похідна від функції розподілу

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (3.1)$$

називається **щільністю розподілу** і характеризує частість повторень даного значення випадкової величини. У задачах надійності її часто використовують як щільність імовірності.

Розглянемо основні характеристики випадкової величини. Розподіл випадкової величини характеризується математичним сподіванням (середнім значенням), дисперсією, середнім квадратичним відхиленням і коефіцієнтом варіації.

Математичне сподівання, або середнє значення, випадкової величини, визначене за результатами спостережень, дорівнює

$$X_{сер} = \frac{\sum X_i}{N}, \quad (3.2)$$

де X_i – значення випадкової величини;
 N – загальна кількість спостережень.

Дисперсія випадкової величини – середнє значення квадрата різниці між значенням випадкової величини та її середнім значенням:

$$D_x = \frac{1}{N-1} \sum (X_i - X_{сер})^2. \quad (3.3)$$

Слово «дисперсія» означає розсіювання і характеризує розподіл випадкової величини. Дисперсія має розмірність квадрата випадкової величини.

Зручніше користуватися характеристикою розподілу, що має розмірність випадкової величини, – це **середнє квадратичне відхилення**. Середнє квадратичне відхилення являє собою корінь квадратний із дисперсії, тобто

$$S_x = \sqrt{D}. \quad (3.4)$$

Для оцінювання розсіювання випадкової величини використовують **коефіцієнт варіації**

$$V_x = \frac{S_x}{X_{сер}}, \quad (3.5)$$

де S_x – середнє квадратичне відхилення;
 $X_{сер}$ – середнє значення випадкової величини.

Крім того, для характеристики випадкових величин використовують поняття **квантиль** та **медіана**.

Квантилем називають значення випадкової величини, що відповідає заданій імовірності. Квантиль, що відповідає імовірності 0,5, називається **медіаною**.

Медіана характеризує розміщення центра (групування) випадкової величини. Площа під графіком функції щільності розподілу ділиться медіаною *навпіл* (рис. 3.1).

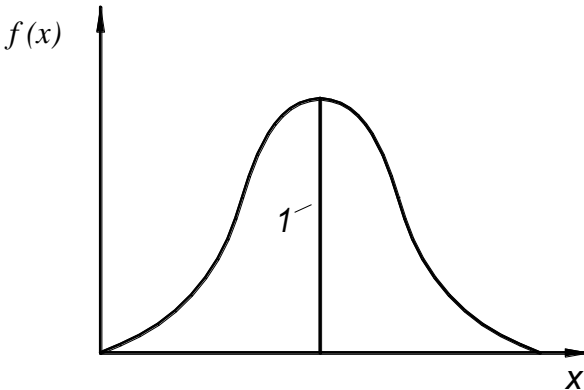


Рисунок 3.1 – Щільність ймовірності

3.2 Закони розподілу випадкових величин

Основним завданням теорії надійності є одержання математичного закону розподілу параметрів надійності (найчастіше ймовірності відмови).

Розподіл значень показників надійності машин із достатнім ступенем точності можна оцінити за такими трьома законами: експоненціальним, нормальним і Вейбулла.

Експоненціальний закон

Експоненціальний закон застосовують для характеристики показників надійності машини в період її нормальної експлуатації (від кінця приробітку до появи поступових відмов) або напрацювання до відмов невідновлюваних виробів. У період нормальної експлуатації надійність характеризується раптовими відмовами, що виникають у зв'язку з несприятливим збігом обставин, і тому ці відмови мають постійну інтенсивність.

Це однопараметричний закон, що характеризується постійною інтенсивністю відмов:

$$\lambda(t) = \lambda = const.. \quad (3.6)$$

Основні характеристики надійності для цього закону мають вигляд:

а) імовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (3.7)$$

б) інтенсивність відмови

$$\lambda = const; \quad (3.8)$$

в) щільність імовірності відмов

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (3.9)$$

Графічні залежності для цього закону наведені на рис. 3.2.

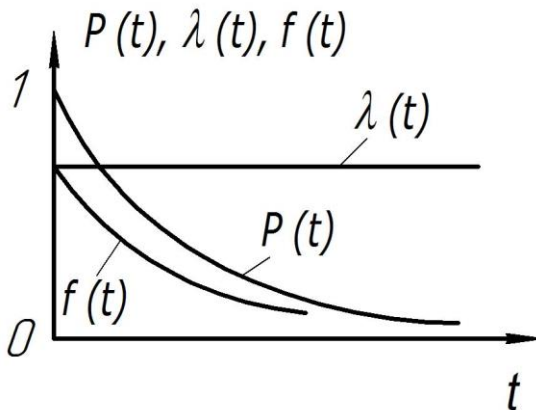


Рисунок 3.2 – Характеристики експоненціального розподілу

Нормальний закон

Застосовують нормальний закон для характеристики показників надійності у період поступових відмов. Цей закон є універсальним і застосовується для відновлюваних та невідновлюваних виробів (рис. 3.3).

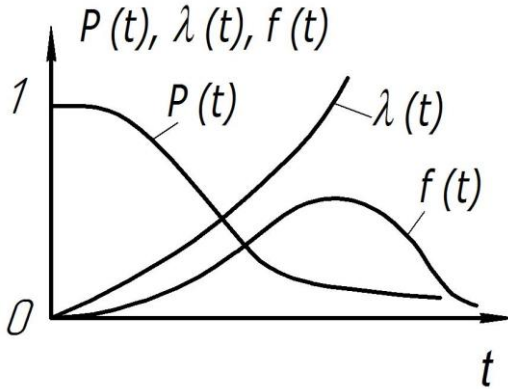


Рисунок 3.3 – Характеристики нормального розподілу

Щільність розподілу ймовірності відмов визначають за формулою

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{cep})^2}{2S^2}}, \quad (3.10)$$

де $S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (t_i - t_{cep})^2}$ – середнє квадратичне відхилення;

$$t_{cep} = \frac{\sum t_i}{N} \quad \text{– середнє значення}$$

наробітку.

Функція $f(t)$ має дві змінні – s і t . Для спрощення підрахунків застосовують підстановку $U_p = \frac{t-t_{cep}}{S} = x$, де x – квантиль нормального розподілу.

Тоді функція щільності розподілу буде мати вигляд

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (3.11)$$

Ця функція має одну змінну « x », її знаходять за таблицями [5].

Потім знаходять функцію $F_0(x)$:

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^x f_0(x) dx, \quad (3.12)$$

при цьому

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^x f_0(x) dx, \quad (3.13)$$

Імовірність безвідмовної роботи розраховують за формулою

$$P(t) = 1 - F_0(x), \quad (3.14)$$

де $F_0(x) = Q(t)$.

Закон Вейбулла

Цей закон є універсальним і застосовують його для характеристики *напрацювання* на відмову підшипників, деталей автомобілів, гідравлічних машин та ін.

Основні характеристики надійності для цього закону:

а) ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-(t/a)^\beta}, \quad (3.15)$$

де a і β – параметри розподілу,

$$a = t_{cep}^{1/\beta},$$

або

$$a = \frac{S}{c_6},$$

де c_6 – табличне значення;

б) щільність розподілу відмов

$$f(t) = \frac{6}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{6-1} e^{-\left(\frac{t}{a} \right)^6}; \quad (3.16)$$

в) інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{6}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{6-1}. \quad (3.17)$$

3.3 Поняття надійності

Надійність – властивість об'єкта (машини) виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в межах заданого часу.

Надійність – здатність машини не відмовляти під час роботи.

Надійність – це комплексна властивість, яка залежно від призначення об'єкта та умов його експлуатації складається з *безвідмовності*, *довговічності*, *ремонтпридатності*, *збережуваності* (рис. 3.4).

Безвідмовність – властивість машини зберігати працездатність упродовж деякого часу або напрацювання (наприклад, до першої відмови).

Напрацювання – це тривалість або обсяг роботи машини, що може визначатися кілометрами пробігу, годинами, тоннами, кубічними метрами та іншими показниками.

В основному безвідмовність розглядають стосовно використання машини за призначенням.

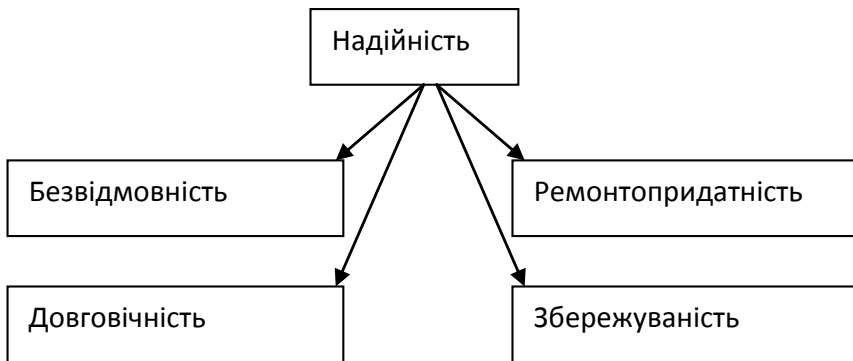


Рисунок 3.4 – Складові надійності

Довговічність – властивість машини зберігати працездатність до *граничного стану* в умовах установленної системи технічного обслуговування та ремонту.

Ремонтопридатність – властивість машини, що характеризує *приспосованість* її до виявлення причин відмови, зручності виконання технічного обслуговування та ремонту.

Кількісно *ремонтопридатність* визначають затратами часу, праці та засобів.

До найпростіших властивостей, що визначають ремонтпридатність машини, належать доступність і можливість проведення легкого демонтажу складальних одиниць та деталей, взаємозамінюваність, ступінь уніфікації та ін.

Збережуваність – властивість машини *зберігати працездатність* під час її транспортування та зберігання і в подальшому під час роботи.

Збережуваність характеризується *опірністю* конструкції зміні характеристик елементів машини під дією вологи, атмосферного тиску, опромінення, навколишньої температури та власної маси при зберіганні.

Високі показники збережуваності досягають за рахунок герметизації та встановлення спеціальних заглушок, пробок,

застосування спеціальних лакофарбових покриттів, установлення спеціальних пристроїв.

Надійність може бути категорією якості, яку має машина, або *якістю* (в одних випадках машина надійна, в інших – не забезпечує необхідної надійності). Але якість підлягає зміні з часом, тобто машина може перейти з надійного стану в ненадійний. Цей процес не є випадковим, він закономірний і є наслідком поступових кількісних змін у машині.

Рівень надійності машин характеризується кількісними показниками. Це ймовірні характеристики.

Для характеристики надійності застосовують показники, що характеризують окремі її властивості – це *кількісні показники*, і декілька властивостей – *комплексні показники*.

Кількісні показники – це показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збережаності.

Параметри надійності є випадковими величинами. При багаторазовому повторенні вони підпорядковуються певним статичним залежностям.

Під час розрахунків характеристик надійності використовують математичний апарат теорії ймовірності та математичної статистики.

Однією з основних характеристик надійності є *відмова* – випадкова подія. Випадковою називається подія, яка в розглянутому поєднанні умов може відбутися, а може й не відбутися.

Подія – це кількісний або якісний результат випробування.

Імовірністю події називається відношення

$$P(A) = \frac{n}{N}, \quad (3.18)$$

де $P(A)$ – імовірність події A ;
 n – кількість випадків, що сприяють настанню події A ;
 N – загальна кількість випадків.

Додавання ймовірностей. Нехай відбуваються дві події – A і B . Визначимо ймовірність появи однієї з них (A чи B). A і B – сумісні події, тоді

$$P(A \text{ або } B) = P(A) + P(B) - P(AB). \quad (3.19)$$

де $P(AB)$ – ймовірність спільної появи подій A і B .

Множення ймовірностей. Ймовірність спільного настання декількох незалежних подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій, тобто

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i), \quad (3.20)$$

або

$$P(AB) = P_A \cdot P_B. \quad (3.21)$$

На практиці розглядають дві протилежні події: працездатність P і відмову Q . Можна показати, що $P + Q = 1$.

Розглянемо основні параметри надійності на прикладі. При експлуатації N виробів протягом напрацювання t на кінець терміну експлуатації залишилося N_P працездатних виробів і n відмовлених. Визначимо параметри надійності.

1 Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ оцінюють за відносною кількістю працездатних виробів на кінець напрацювання

$$P(t) = \frac{N_P}{N} = 1 - \frac{n}{N}, \quad (3.22)$$

- де N_P – кількість працездатних виробів;
 N – загальна кількість виробів, що перебувають в експлуатації;
 n – кількість відмов;
 t – напрацювання.

2 Відносну кількість відмов (імовірність відмови) $Q(t)$ визначають за формулою

$$Q(t) = \frac{n}{N}. \quad (3.23)$$

Оскільки безвідмовна робота і відмова взаємно протилежні події, то сума їх імовірностей дорівнює 1:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (3.24)$$

3 Функція щільності розподілу напрацювання на відмову $f(t)$ дорівнює

$$f(t) = \frac{\Delta n}{N \cdot \Delta t}, \quad (3.25)$$

з іншого боку

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt}, \quad (3.26)$$

тоді

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt. \quad (3.27)$$

При $t = \infty$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt = 1. \quad (3.28)$$

Після підстановки одержуємо

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_1^{\infty} f(t) dt. \quad (3.29)$$

4 Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ визначають за залежністю

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{N_p \cdot \Delta t}, \quad (3.30)$$

де N_p – кількість працюючих машин.

Оскільки $P(t) = \frac{f(t)}{\lambda(t)}$, то

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3.31)$$

5 Параметр потоку відмов $\omega(t)$ розраховують за формулою

$$\omega(t) = \frac{1}{t_{\text{сер}}} = \frac{n}{\sum t_i}. \quad (3.32)$$

3.4 Показники надійності

Розглянемо кількісні показники надійності (рис. 3.5).

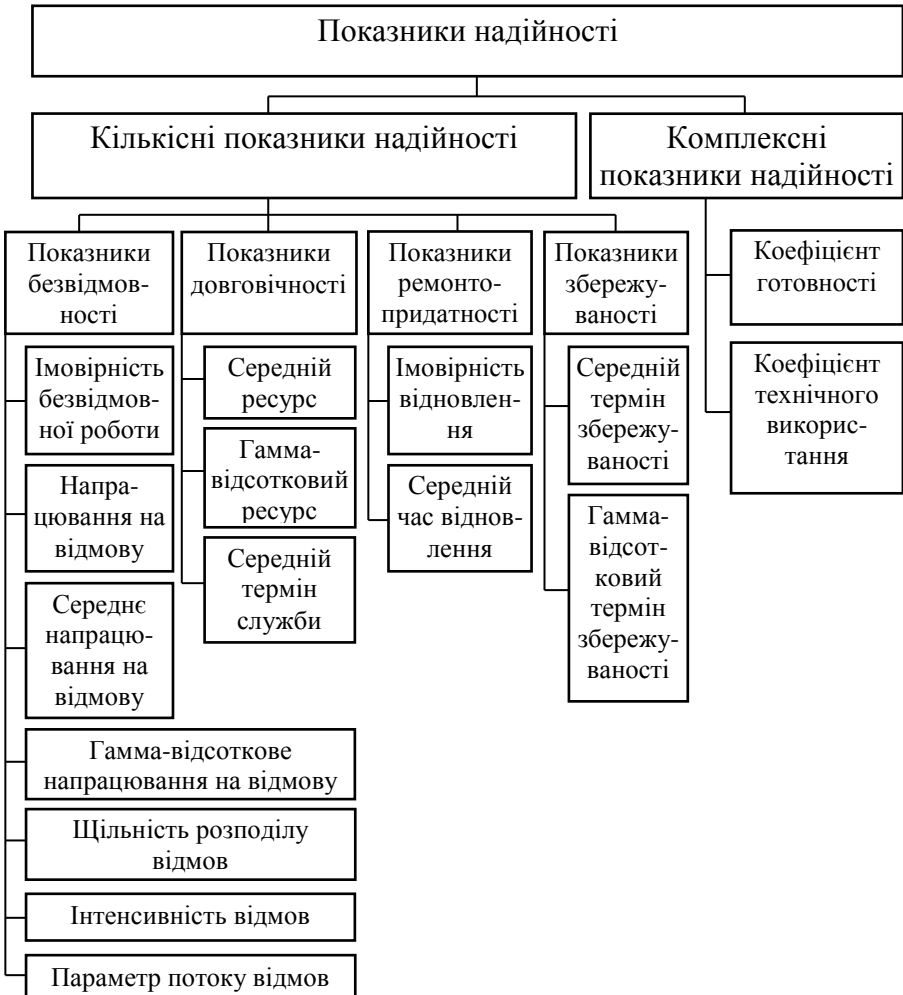


Рисунок 3.5 – Показники надійності

3.4.1 Показники безвідмовності

1 Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – імовірність того, що в заданому діапазоні часу t не відбудеться відмови машини:

$$P(t) = \frac{N_P}{N}, \quad (3.33)$$

де N_P – кількість працездатних машин ($N_P = N - n$);
 N – загальна кількість машин;
 n – кількість відмов.

2 Напрацювання до відмови – тривалість роботи машини до першої відмови.

3 Середнє напрацювання на відмову

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (3.34)$$

де t_i – час роботи до відмови i -ї машини.

4 Гамма-відсоткове напрацювання на відмову – це напрацювання, упродовж якого не відбудеться відмови машини з імовірністю γ . Його розраховують у відсотках, %.

Приклад. Якщо ймовірність безвідмовної роботи впродовж часу $t = 1\,000$ год дорівнює $P(t) = 0,95$, то цей час є 95 % напрацюванням на відмову.

5 Щільність розподілу відмов

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (3.35)$$

де $n(t)$ – кількість відмов машини за час Δt ;
 Δt – інтервал часу;
 N_0 – початкова кількість машин.

6 Інтенсивність відмов – це умовна щільність імовірності появи відмови

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_p \cdot \Delta t}, \quad (3.36)$$

де N_p – кількість працездатних машин,
або

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3.37)$$

Практично для всіх систем інтенсивність відмов залежить від часу і має характеристику у вигляді “ванни” (рис. 3.6).

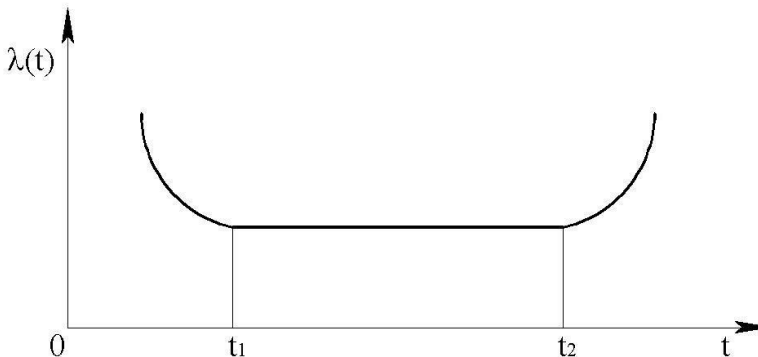


Рисунок 3.6 – Зміна інтенсивності відмов машини:
 $0-t_1$ – період припрацювання; t_1-t_2 – період нормальної експлуатації; $t > t_2$ – період зношування та старіння

Зміна $\lambda(t)$ за часом має три характерні ділянки.

Ділянка $0-t_1$ – це період *припрацювання* машини, коли інтенсивність відмови зменшується. У цей період виявляються конструктивні, технологічні й виробничі дефекти. Закон розподілу відмов для різних машин може бути різним, але загальним є зменшення інтенсивності відмов до деякого постійного значення упродовж короткого проміжку часу.

Для забезпечення надійності машини під час її припрацювання необхідно розробити методи усування відмов. Для усування відмов після складання машини необхідно провести її *обкатування* на стенді або в реальних умовах. Під

час обкатування проводиться заміна елементів, які відмовили, з'ясовуються причини їх відмови.

Показниками якості припрацювання можуть бути к. к. д., рівень шуму, температура поверхонь деталей, рідини та ін. Про закінчення процесу припрацювання свідчить незмінність показника $\lambda(t)$.

На ділянці $t_1 - t_2$ (це період *нормальної експлуатації*) інтенсивність відмов стає приблизно постійною ($\lambda(t) \approx \text{const}$) і визначається випадковими факторами.

З моменту $t > t_2$ інтенсивність відмов *збільшується* внаслідок процесів старіння і зміни фізико-хімічних властивостей елементів машини, пов'язаних із її довготривалою експлуатацією. Механізм відмов на цій ділянці пояснюється моделями зношування, старіння й утомленості.

7 Параметр потоку відмов – це відношення середньої кількості відмов відновлюваних машин до їх сумарного напрацювання:

$$\omega(t) = \frac{n}{\Sigma t_i} . \quad (3.38)$$

3.4.2 Показники довговічності

Ці показники оцінюють втрату працездатності за весь період експлуатації машини, тобто до появи її граничного стану.

1 Середній ресурс – напрацювання машини від початку експлуатації до граничного стану в годинах.

Ресурс – це запас можливостей роботи машини. Для неремонтованих виробів він збігається з напрацюванням на відмову, для ремонтваних – включає і тривалість роботи після ремонту до граничного стану:

$$T_{p. \text{сер}} = R_{\text{сер}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N R_i , \quad (3.39)$$

де R_i – ресурс i -ї машини;
 N – кількість машин.

2 Гамма-відсотковий ресурс – напрацювання, упродовж якого машина не досягне граничного стану. Виражають його у відсотках.

Приклад: $R_{\gamma} = 90 \%$ – для підшипників; $R_{\gamma} = 95 \%$ і більше – для відповідальних машин.

3 Середній термін служби – середнє календарне напрацювання машини до граничного стану в роках :

$$T_{сл.сер} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_{сл.i}, \quad (3.40)$$

де $T_{сл.i}$ – термін служби і-ї машини.

Таким чином, термін служби від ресурсу відрізняється лише розмірністю.

3.4.3 Показники ремонтпридатності

1 Імовірність відновлення – імовірність того, що час відновлення машини не буде більшим від заданого (аналогія з імовірністю відмов).

2 Середній час відновлення, год:

$$T_{від.сер} = \frac{\sum t_{від.i}}{N}, \quad (3.41)$$

де $t_{від.i}$ – час відновлення і-ї машини;
 N – кількість машин.

3.4.4 Показники збережності

1 Середній термін збережності

$$T_{зб.сер} = \frac{\sum t_{зб.i}}{N}, \quad (3.42)$$

де $t_{зб.i}$ – період збережності і-ї машини;
 N – кількість машин.

2 Гамма-відсотковий термін збережності – термін збережності із заданою імовірністю γ , вираженою у відсотках.

3.5 Комплексні показники надійності

Розглянуті кількісні показники надійності – це показники, які належать до однієї з властивостей, що складають надійність машини. *Комплексні* показники надійності, на відміну від одиничних, характеризують одночасно кілька властивостей машини.

Щодо сучасних машин передбачено декілька показників, але найбільш широко використовують *коефіцієнт готовності* та *коефіцієнт технічного використання*.

1 Коефіцієнт готовності – імовірність того, що машина буде працездатною у довільний момент часу. Характеризує дві властивості – безвідмовність і ремонтопридатність:

$$K_G = \frac{T_B}{T_B + T_{\text{від}}}, \quad (3.43)$$

де T_B – напрацювання на відмову;
 $T_{\text{від}}$ – середній період відновлення.

При визначенні коефіцієнта K_G період простоїв у технічному обслуговуванні, ремонтах та з організаційних причин не враховується.

2 Коефіцієнт технічного використання

Характеризує фактичний термін роботи машини:

$$K_{TB} = \frac{T_o}{T_o + T_{\text{від}} + T_{TO}}, \quad (3.44)$$

де T_o – період працездатного стану;
 $T_{\text{від}}$ – період відновлення;
 T_{TO} – період технічного обслуговування.

Рівень надійності машини впливає на величину затрат, пов'язаних із її виготовленням та експлуатацією, а також на рівень ефективності від її використання. Оптимальним вважається рівень надійності, що забезпечує максимальну ефективність на одиницю сумарних витрат.

Показники надійності при розрахунках залежать від типу виробу (машини).

Для *невідновлюваних* виробів необхідно розрахувати:

- інтенсивність відмов $\lambda(t)$;
- імовірність безвідмовної роботи $P(t)$;
- середнє напрацювання на відмову $T_{від. сер}$;
- щільність розподілу відмов $f(t)$.

Для *відновлюваних* виробів розраховують:

- імовірність безвідмовної роботи $P(t)$;
- параметр потоку відмов $\omega(t)$;
- показники довговічності:
 - а) середній ресурс $T_{р. сер} (R_{сер})$, год;
 - б) середній термін служби $T_{сл. сер}$, років;
 - в) гамма-відсотковий ресурс T_γ , %.

Контрольні питання та задачі до розділу 3

- 1 Що таке надійність?
- 2 Назвіть чотири основні властивості надійності і поясніть їх.
- 3 Поясніть терміни: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережність.
- 4 Що таке одиничний і комплексний показники надійності?
- 5 Які показники характеризують окремі властивості машини?
- 6 Назвіть основні кількісні показники надійності.
- 7 Показники оцінки безвідмовності.
- 8 Поясніть аналітично фізичну сутність показників: імовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови.
- 9 Поясніть аналітично оцінку середнього напрацювання на відмову.
- 10 Сутність показника «інтенсивність відмов». Як вона змінюється з часом роботи машини?
- 11 Поясніть аналітично фізичну сутність параметра потоку відмов.
- 12 Показники оцінки довговічності.
- 13 Що таке ресурс і термін служби?
- 14 Поясніть аналітично фізичну сутність показників: середній ресурс, середній термін служби.
- 15 Назвіть показники оцінки ремонтпридатності і як вони визначаються.
- 16 Що таке гамма-відсотковий термін збережуваності?
- 17 Назвіть комплексні показники надійності, поясніть їх призначення й фізичну сутність.
- 18 Якими показниками оцінюються невідновлювані вироби?
- 19 Назвіть показники для розрахунку надійності відремонтованих машин.

Задача 3.1

У результаті експлуатації $N = 100$ відновлюваних виробів одержані статистичні дані: інтервал напрацювання 5 000 – 5 500 год, сумарна кількість відмов на кінець інтервалу ($t = 5 500$ год) становить $\sum n_i = 36$. Необхідно знайти імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, параметр потоку відмов $\omega(t)$, середнє напрацювання на відмову $T_{сер}$, коефіцієнти готовності і технічного використання K_r , K_{TB} . Час t – кінець напрацювання інтервалу ($t = 5 500$ год). При цьому взяти час відновлення одного виробу в інтервалі $\Delta t = 500$ год, $T_{від} = 2$ год, а середній час технічного обслуговування $T_{ТО} = 1$ год.

Розв'язання

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ дорівнює

$$P(t) = \frac{N_p}{N},$$

де N_p – кількість працездатних виробів;
 N – загальна кількість виробів;
 $\sum n_i$ – кількість відмов на кінець інтервалу напрацювання.

Кількість працездатних виробів

$$N_p = N - \sum n_i = 100 - 36 = 64.$$

Імовірність безвідмовної роботи на час $t = 5 500$ год

$$P(5 500) = \frac{64}{100} = 0,64.$$

Параметр потоку відмов

$$\omega(t) = \frac{\sum n_i}{t};$$

$$\omega(5500) = \frac{36}{5500} = 0,00655 \text{ 1/г.}$$

Середнє напрацювання на відмову $T_{сер}$, год, буде дорівнювати

$$T_{сер} = \frac{t}{\sum n_i} = \frac{5500}{36} = 153$$

Коефіцієнт готовності

$$K_r = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{від}} = \frac{153}{153 + 2} = 0,987.$$

Коефіцієнт технічного використання:

$$K_r = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{від} + T_{ТО}} = \frac{153}{153 + 2 + 1} = 0,981.$$

Задача 3.2

При випробуванні насоса упродовж певного періоду часу було зафіксовано десять відмов ($N = 10$), із них два рази відмовило сальникове ущільнення. Яка імовірність відмови ущільнення?

Розв'язання

Використовуємо позначення: A – подія, що проявляється у появі відмов сальникового ущільнення; n – кількість випадків, що сприяють настанню відмов, тоді

$$P(A) = \frac{n}{N} = \frac{2}{10} = 0,2.$$

Задача 3.3

Агрегат складається з двох машин. Імовірність безвідмовної роботи упродовж деякого напрацювання відповідно $P_1 = 0,8$; $P_2 = 0,7$. Визначити ймовірність безвідмовної роботи агрегата.

Розв'язання

При визначенні імовірностей складних подій застосовують правила додавання і множення імовірностей.

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи агрегата відповідно до формули множення ймовірностей становить

$$P = P_1 \cdot P_2 = 0,8 \cdot 0,7 = 0,56.$$

РОЗДІЛ 4 МЕХАНІЗМИ ВІДМОВИ МАШИНИ

4.1 Визначення та класифікація відмов

Відмова – це подія, пов’язана із частковою або повною втратою працездатності машини. Для кожної машини ознаки відмови встановлюють нормативно-технічною документацією.

Деталі машин в основному руйнуються під дією силових навантажень, тепла та світла, електричних і магнітних полів, хімічного середовища, тертя та ін.

Під дією цих чинників відбувається зміна стану машини. У деталях машини відбуваються такі перетворення:

а) *пластична деформація*, що призводить до збільшення напруги в матеріалі деталей;

б) *утомленість* у випадку, коли деталі зазнають статичних і циклічних навантажень (рами, вали, пружини та ін.);

в) *теплове руйнування*, що відбувається під дією нагрівання деталей, при яких змінюється структура матеріалу, і вони втрачають свої початкові властивості (циліндри, поршні, вкладиші підшипників та ін.);

г) *хімічне (корозійне) руйнування* – це руйнування матеріалів унаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії;

д) *зношування* машини внаслідок тертя.

Відмови поділяють на декілька видів: з причин виникнення, за характером прояву, впливом на працездатність та ін. Розглянемо основні з них.

Класифікація відмов наведена на рис. 4.1.

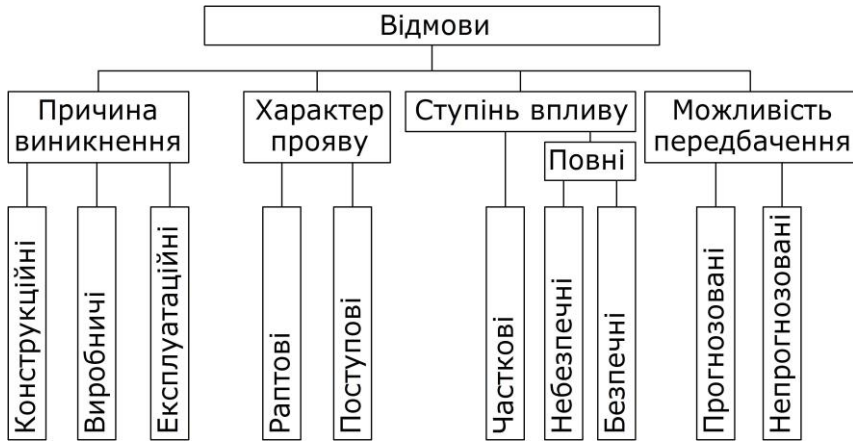


Рисунок 4.1 – Класифікація відмов

Відмови з причин виникнення:

а) *конструкційні* – зумовлені помилками при проектуванні, порушенням вимог державних стандартів, заниженням запасу міцності та ін.;

б) *виробничі* – спричинені порушенням технології виготовлення, невиконанням вимог технічної документації, застосуванням неякісних матеріалів та ін.;

в) *експлуатаційні* – є наслідком порушень умов роботи машини, різних ушкоджень, невиконанням правил експлуатації, низької кваліфікації обслуговуючого персоналу, старінням машини та ін.

Відмови за характером прояву:

а) *раптові* – характеризуються різкою зміною параметрів, руйнуванням елементів конструкції, втратою герметичності та ін.;

б) *поступові* – є наслідком необоротних явищ, утомленості, зносу та ін.

Відмови за ступенем впливу на працездатність машини:

а) **повні** – відбувається зрив параметрів машини;

б) **часткові** – знижуються параметри машини (подача, напір, к. к. д.).

Для машин, що виконують відповідальні функції або функції, пов'язані з життям людей, відмови поділяють на **небезпечні** та **безпечні**.

Крім того, за можливістю передбачення відмови поділяють на **прогнозовані** і **непрогнозовані**.

4.2 Процеси, що впливають на працездатність машини

Під час роботи машини на неї діють різні збурення, що зумовлюють відхилення основних технічних параметрів і втрату працездатності.

На машину впливають усі види енергії і спричиняють у ній оборотні та необоротні процеси, що знижують її працездатність.

Оборотні процеси (пружні деформації вузлів та деталей машин, зміна температури, вологості та ін.) тимчасово змінюють параметри деталей і машин у межах, що не виходять за допустимі значення.

Необоротні (знос, корозія) призводять до прогресуючого зниження характеристик (параметрів) машини.

За швидкістю перебігу всі процеси можна поділити на *три групи*:

а) **швидкоплинні** – мають періодичність зміни в межах циклу: вібрацію вузлів, зміну сил тертя в рухомих з'єднаннях та ін.;

б) **середньої швидкості** – спричиняють зміну початкових параметрів машини (залежать від температури навколишнього середовища і самої машини, зносу різального інструменту, вологості та ін.);

в) **повільні** – проходять за час роботи машини між її оглядами або ремонтами (їх тривалість – дні, місяці). До них належать зношення, корозія та ін. Ці процеси впливають на

точність, к. к. д. та інші параметри машини. Зміна параметрів відбувається дуже повільно.

Крім *зовнішніх*, на працездатність впливають і *внутрішні* процеси в машині. Всі вони мають випадковий характер.

Для створення методів розрахунку надійності машин застосовують *моделі відмов*, що базуються на різних уявленнях про виникнення і розвиток процесів, що призводять до відмови машин.

Розглянемо декілька моделей.

1 Параметрична модель. Стан машини характеризується сукупністю фізичних параметрів

$$x(t) = \{x_1(t); x_2(t); x_3(t); x_4(t); \dots; x_n(t)\}.$$

Параметри стану – це тиск, витрата, частота обертання, к. к. д. та ін. Частіше за все ці параметри взаємозв'язані, тому у моделі обмежуються одним або двома параметрами стану.

2 Модель зносу. Характерний параметр моделі – швидкість зносу $V_{zn} = f(t)$.

У процесі роботи машини відбувається знос поверхонь тертя. При цьому поступово змінюються форма і розміри деталей.

На характер зносу впливають: якість поверхонь, фізичні властивості матеріалу, наявність змащування та ін.

Швидкість зносу є функцією часу.

3 Модель “слабкої ланки”. Деформація і руйнування деталей залежать від навантаження та міцності матеріалів, з яких вони виготовлені. Справедливою буде параметрична модель, в якій загальним параметром є навантаження Q , а параметром граничного стану – межа міцності $\sigma_{зр}$, тобто $\sigma_{зр} = f(Q)$.

Відмова відбудеться за умови, якщо $\sigma > \sigma_{зр}$.

4.3 Поступові та раптові відмови

4.3.1 Надійність машин у період прояву раптових відмов

Виникнення раптових відмов пов'язане не зі зміною стану машини, а з несприятливим збігом діючих факторів. Для оцінки відмов у цей період найкраще підходить **інтенсивність відмов $\lambda(t)$** – це імовірність виникнення відмов за одиницю часу. Оскільки відмови не залежать від стану машини, то $\lambda = const$.

Імовірність безвідмовної роботи підпорядковується експоненціальному закону і визначається за формулою

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (4.1)$$

Якщо робота машини відбувається на різних режимах, то

$$P(t) = e^{-(\lambda_1 \cdot t_1 + \lambda_2 \cdot t_2)}, \quad (4.2)$$

де λ_1 і λ_2 – інтенсивність відмов на різних режимах.

Середнє напрацювання на відмову дорівнює

$$T_{сер} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i, \quad (4.3)$$

де N – кількість машин, що перебувають в експлуатації;

t_i – напрацювання i -ї машини.

Інтенсивність відмов

$$\lambda = \frac{1}{T_{сер}}. \quad (4.4)$$

Графічні залежності розподілу параметрів наведені на рис. 4.2.

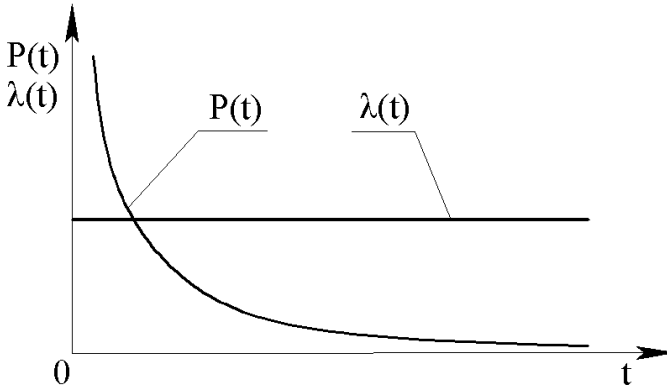


Рисунок 4.2 – Розподіл характеристик надійності при раптових відмовах

4.3.2 Надійність машин у період прояву поступових відмов

При поступових (зношувальних) відмовах для характеристики параметрів надійності застосовують декілька законів, але найчастіше – нормальний.

Імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - Q(t), \quad (4.5)$$

де $F(t)$ – функція розподілу відмов.

Оскільки

$$Q(t) = F(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (4.6)$$

то

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt. \quad (4.7)$$

Щільність розподілу має вигляд

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{cep})^2}{2S^2}}, \quad (4.8)$$

де

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (t_i - t_{cep})^2}. \quad (4.9)$$

Для розрахунку функції $f(t)$ використовують підстановку нормального розподілу

$$U_p = \frac{t - t_{cep}}{S}, \quad (4.10)$$

де

$$t_{cep} = \frac{\sum t_i}{N}. \quad (4.11)$$

Графічна залежність параметрів надійності наведена на рис. 4.3.

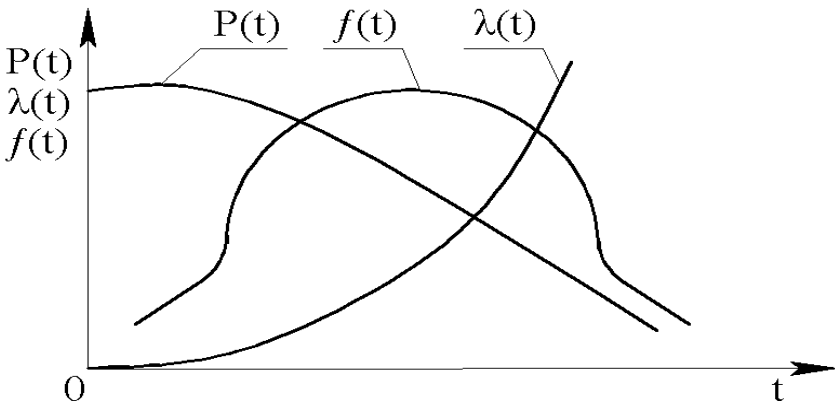


Рисунок 4.3 – Розподіл параметрів надійності при поступових відмовах

4.3.3 Одночасний прояв раптових і поступових відмов

За час роботи гідравлічні машини витримують як поступові, так і раптові відмови. На початку їх експлуатації відбуваються раптові, а потім поступові відмови.

При одночасній дії цих відмов імовірність безвідмовної роботи визначається за теоремою множення ймовірностей

$$P(t) = P_p(t) \cdot P_n(t). \quad (4.12)$$

Графічно ймовірність безвідмовної роботи має вигляд, наведений на рис. 4.4.

Для характеристики ймовірності відмов застосовується закон розподілу Вейбулла.

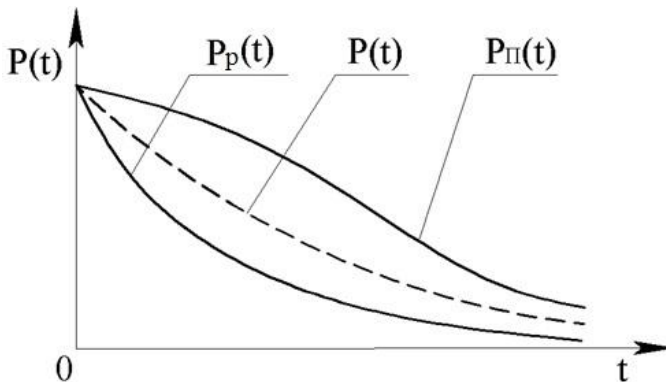


Рисунок 4.4 – Імовірність безвідмовної роботи при одночасному прояві раптових і поступових відмов

4.4 Відмови насосів. Загальна характеристика

Розглянемо характерні відмови для консольних насосів типу К і для насосів, що перекачують чисті рідини.

1 Відмова підшипників кочення:

а) **ознаки:** шум, вібрація, збільшення люфту і споживаної потужності внаслідок тертя в ущільненнях;

б) **причини:** руйнування елементів конструкції внаслідок утомленості;

в) **усунення недоліку:** заміна підшипників.

2 Відмова підшипників ковзання:

а) **ознаки:** шум, вібрація, збільшення люфту і споживаної потужності внаслідок тертя в підшипниках;

б) **причини:** зношення вкладишів, вала;

в) **усунення недоліку:** заміна вкладишів, підшипників, втулки, вала.

3 Відмова муфти:

а) **ознаки:** удари при ввімкненні та зупиненні насоса;

б) **причини:** зношення пружних елементів;

в) **усунення недоліку:** заміна пружних елементів.

4 Відмова сальника:

а) **ознаки:** зношення втулки, неможливість зменшити витікання рідини підтягуванням сальника;

б) **причини:** зношення набивки, значний знос втулки;

в) **усунення недоліку:** заміна набивки, а якщо необхідно – втулки.

5 Відмова торцевих ущільнень:

а) **ознаки:** значні витікання рідини під час роботи та зупинення насоса;

б) **причини:** граничне зношення пари тертя, руйнування пружини;

в) **усунення недоліку:** заміна елементів, що відмовили, або всього ущільнення.

6 Відмова за параметрами:

а) **ознаки:** зменшення напору та к. к. д. при постійній подачі;

б) **причини:** кавітаційний, ерозійний та корозійний знос лопатей робочого колеса, дисків, ущільнень та інших елементів;

в) **усунення недоліку:** заміна або відновлення робочого колеса, кілець ущільнення.

4.5 Відмови гідро- та пневмоприводів

За результатами аналізу відмов під час експлуатації гідро- і пневмоприводів різних типів встановлено, що понад 90 % з них часткові і лише близько 10 % – повні, близько 60 % – параметричні і 40 % – функціональні. При цьому до *параметричних відмов* віднесені випадки виникнення витікання рідини, а до *функціональних* – прояв нестійкості і випадки пошкодження механічних елементів, які ще не призвели до втрати їх функціонування.

Порівняльний аналіз різних видів відмов показав, що частки раптових і поступових відмов приблизно рівні. Більша частина відмов обумовлена зовнішньою негерметичністю, решта – невідповідністю параметрів встановленим рівням, відсутністю функціонування агрегата або його елементів, порушенням динамічної стійкості, внутрішніми витіканнями, пошкодженнями фільтрів та ін.

Під час аналізу «*слабких ланок*» встановлено, що причиною більшості відмов гідроприводів під час експлуатації є ущільнення (рухомі, напіврухомі, нерухомі), золотникові розподільники, механічні пристрої, електричні елементи, клапани і фільтри.

Для *повних* відмов картина дещо інша. Частка повних відмов у загальній їх кількості для гідравлічних приводів з механічним керуванням становить близько 3 %, а для електрогідравлічних приводів – 14 %. Переважна більшість з них зумовлена відсутністю функціонування, решта – руйнуванням механічних елементів та негерметичністю приводів. До *повних* відмов гідроприводів призводять відмови електроелементів (у першу чергу датчиків зворотного зв'язку), електрогідравлічних підсилювачів та клапанів, механічних елементів, золотникових розподільників та ущільнень.

Контрольні питання та задачі до розділу 4

- 1 Дайте визначення терміна «відмова».
- 2 Наведіть загальну класифікацію відмов.
- 3 Основні чинники відмов.
- 4 Назвіть процеси, що впливають на працездатність машин.
- 5 Які перетворення відбуваються в машині при зміні її стану?
- 6 Відмови за причинами виникнення. Їх сутність.
- 7 Поясніть терміни: поступові відмови, раптові відмови.
- 8 Відмінність повних і початкових відмов.
- 9 У чому відмінність дії зворотних і незворотних процесів на працездатність машини?
- 10 Якими характеристиками оцінюють надійність машини?
- 11 Як визначають надійність машин у період прояву раптових відмов?
- 12 Надійність машин у період прояву поступових відмов.
- 13 Імовірність безвідмовної роботи при одночасному прояві раптових і поступових відмов.
- 14 Наведіть характерні відмови консольних насосів типу К.
- 15 Які причини відмов гідроприводів?

Задача 4.1

Час роботи вузла машини розподілено за експоненціальним законом з інтенсивністю $\lambda = 4 \cdot 10^{-4}$ 1/год. Встановити середнє напрацювання на відмову $T_{сер}$, імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та щільність розподілу відмов $f(t)$ для часу $t = 3\ 000$ год.

Розв'язання

Значення середнього напрацювання на відмову $T_{сер}$, год, буде дорівнювати:

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-4}} = 2\ 500 \text{ з.}$$

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ розраховуємо за формулою (3.1):

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-4 \cdot 10^{-4} \cdot 3\ 000} = 0,301.$$

Щільність розподілу відмов $f(t)$ визначаємо за залежністю

$$f(t) = P(t) \cdot \lambda(t) = 0,301 \cdot 0,0004 = 0,00012 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/з.}$$

Задача 4.2

Напрацювання шліцьового вала гідротрансформатора підпорядковується нормальному закону розподілу з параметрами $t_{сер} = 3\ 000$ год і $S = 2500$ год. Визначити кількісні показники надійності $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ для часу $t = 500$ год.

Розв'язання

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ визначаємо залежно від квантиля нормального розподілу U_p .

Квантиль нормального розподілу розраховуємо за виразом

$$U_p = \frac{t - t_{cep}}{S} = \frac{500 - 3000}{2500} = -1.$$

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ визначаємо за таблицею 4.1.

З таблиці отримуємо $P(t) = 0,8413$.

Щільність розподілу відмов $f(t)$ за нормальним законом дорівнює

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{cep})^2}{2S^2}} = \frac{1}{2500\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(500-3000)^2}{2 \cdot 2500^2}} = \\ &= 0,0000968 = 9,68 \cdot 10^{-5} \text{ 1/г.} \end{aligned}$$

Інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{0,0000968}{0,8413} = 0,000115 = 1,15 \cdot 10^{-4} \text{ 1/г.}$$

Таблиця 4.1 – Імовірності безвідмовної роботи для нормального розподілу

Квантиль U_p	Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$	Квантиль U_p	Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$
0,000	0,5000	-1,7	0,9554
-0,1	0,5398	-1,751	0,96
-0,126	0,55	-1,8	0,9641
-0,2	0,5793	-1,881	0,97
-0,253	0,60	-2,0	0,9771
-0,3	0,6179	-2,054	0,98
-0,385	0,65	-2,1	0,9821
-0,4	0,6554	-2,17	0,986
-0,5	0,6915	-2,2	0,9861
-0,524	0,71	-2,3	0,9893
-0,6	0,7257	-2,326	0,99
-0,7	0,7580	-2,409	0,992
-0,8	0,7881	-2,5	0,9938
-0,842	0,80	-2,576	0,995
-0,9	0,8159	-2,6	0,9953
-1,0	0,8413	-2,652	0,996
-1,036	0,85	-2,7	0,9965
-1,1	0,8643	-2,748	0,996
-1,2	0,8849	-2,8	0,9974
-1,282	0,90	-2,878	0,998
-1,3	0,9032	-2,9	0,9981
-1,4	0,9192	-3,0	0,9986
-1,5	0,9332	-3,090	0,999
-1,6	0,9452	-3,291	0,9995
-1,645	0,95	-3,5	0,9998
		-3,719	0,9999

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МАШИНИ

5.1 Гідравлічна машина як система. Визначення показників надійності систем

Надійність більшості машин у техніці визначають при розгляді їх як систем. Складні системи поділяють на підсистеми.

Для розрахунку показників надійності систем необхідно провести аналіз умов експлуатації та конструкції машини. Під час аналізу визначають фактори, що є причиною відмови машини.

Розглянемо їх на прикладі *насоса*.

Аналіз конструкції насоса полягає в розгляді працездатності його елементів і проводиться одночасно з аналізом умов експлуатації. Під час аналізу визначають елементи, що лімітують надійність насоса.

Елементи, що лімітують надійність, – це елементи, відмова яких може спричинити відмову насоса: робоче колесо, ущільнення, гідроп'ята, підшипники та ін.

До елементів, що *лімітують надійність*, можна віднести й елементи, відмова яких виникає в результаті процесу старіння, зносу, корозії й утомленості матеріалів у межах заданого напрацювання насоса. Прикладом таких відмов можуть бути відмови пар тертя, виробів із графіту, гуми та ін.

Усі елементи розглядають як незалежні і кожен із них повинен бути врахований.

Визначені в результаті аналізу елементи, що лімітують надійність, вносять до *структурної схеми надійності*.

Структурна схема надійності визначає взаємозв'язок ймовірностей безвідмовної роботи всіх внесених до неї елементів. У структурній схемі кожен i -й елемент характеризується значенням $P(t)$ – імовірністю його безвідмовної роботи. Згідно зі структурною схемою визначають *математичну модель* розрахунку надійності.

Структурна схема надійності передбачає такі види взаємозв'язку елементів: *послідовне, паралельне та змішане.*

Структурне з'єднання елементів у схемі не завжди збігається з монтажним (рис. 5.1).

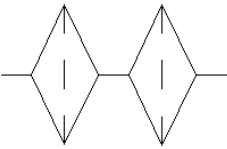
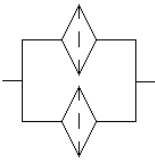
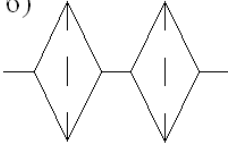
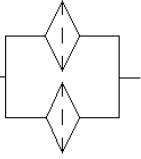
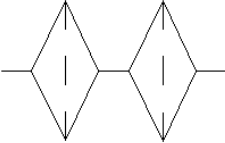
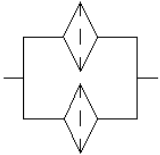
Монтажне з'єднання	Структурна схема	
	Розривання сітки	Засмічення сітки
1) 	а) 	б) 
2) 		

Рисунок 5.1 – Монтажне і структурне з'єднання елементів

Розглянемо з'єднання 2 елементів (фільтрів) і занесення їх до монтажною схемі.

1 Монтажне з'єднання послідовне:

а) структурне – паралельне, оскільки при розриванні однієї із сіток фільтра очищення відбувається іншим фільтром;

б) структурне – послідовне, оскільки при засміченні 1-ї або 2-ї сітки не відбувається очищення масла, і система відмовляє.

2 Монтажне з'єднання паралельне: структурна схема при цьому обернена.

5.2 Метод структурних схем надійності

Розподіл системи на елементи і вплив їх відмови на надійність визначаються відповідною структурною схемою

надійності. Розглянемо основні види з'єднань елементів у структурних схемах на прикладі насоса.

1 Послідовне з'єднання

При послідовному з'єднанні відмова одного з елементів призводить до відмови всього насоса, й імовірність безвідмовної роботи визначається добутком безвідмовної роботи всіх елементів:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (5.1)$$

де $P_i(t)$ – імовірність безвідмовної роботи i -го елемента;

n – кількість елементів.

Схематично послідовне з'єднання наведено на рис. 5.2.

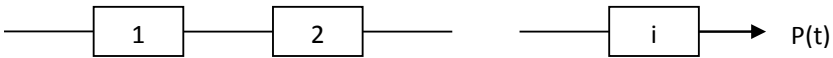


Рисунок 5.2 – Схема послідовного з'єднання елементів

2 Паралельне з'єднання

Схематично паралельне з'єднання наведено на рис. 5.3.

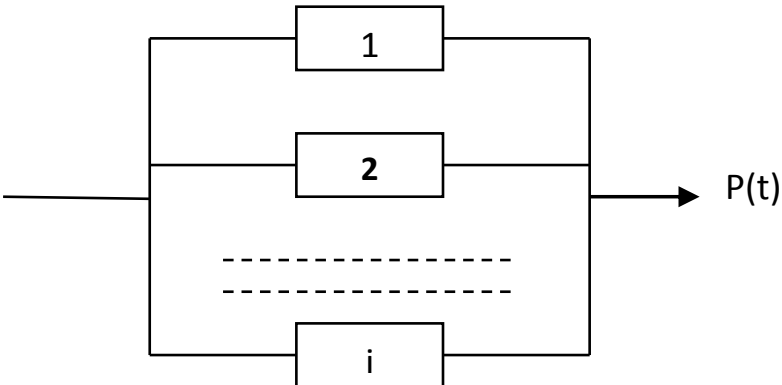


Рисунок 5.3 – Паралельне з'єднання елементів

При паралельному з'єднанні відмова одного елемента не приводить до відмови усього насоса. Це досягається застосуванням дублюючих елементів, що виконують роль резерву.

Імовірність безвідмовної роботи машини в цьому випадку визначається за формулою

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)], \quad (5.2)$$

або

$$P(t) = 1 - \left(1 - P_1\right) \left(1 - P_2\right) \dots \left(1 - P_n\right). \quad (5.3)$$

3 Змішане з'єднання

У гідравлічних машинах можливе застосування змішаного з'єднання, що забезпечує вмикання резервного елемента у випадку виходу з ладу основного. При цьому структурна схема складається з послідовних і паралельних з'єднань.

Імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(t) = \prod_{j=1}^n \left[1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_i(t)] \right]. \quad (5.4)$$

5.3 Порядок розрахунку системи на надійність

Розрахунок системи на *надійність* необхідно проводити в такому порядку:

1 Провести аналіз конструкції машини і визначити склад елементів, що впливають на її надійність (лімітувальні елементи).

2 Установити взаємозв'язок елементів у структурній схемі.

3 Визначити імовірність безвідмовної роботи кожного елемента.

4 Побудувати структурну схему надійності.

5 Скласти математичну модель розрахунку (залежність $P(t)$).

6 Розрахувати кількісні характеристики надійності: імовірність безвідмовної роботи $P(t)$; середнє напрацювання на відмову $T_{сер}^6$; інтенсивність відмов $\lambda(t)$ та ін.

Середнє напрацювання можна визначити, застосувавши інтеграл

$$T_{сер}^6 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (5.5)$$

5.4 Визначення оптимальної надійності машин

Надійність є головним фактором, що визначає розмір витрат на експлуатацію машин. Чим вища надійність, тим менші загальні експлуатаційні витрати.

З іншого боку, для збільшення надійності в ряді випадків необхідно збільшувати кошти на проектування та виробництво, випробування і доводку нових машин. Отже, підвищувати надійність з економічної точки зору доцільно до деякого рівня, при якому сумарні витрати на підвищення надійності машин та їх експлуатацію будуть мінімальними. Цей оптимальний рівень надійності називають *нормою надійності*.

Норму надійності встановлюють для кожного виробу залежно від техніко-економічного аналізу.

Для деякого обладнання, відмови якого належать до 1-ї і частково до 2-ї груп (це машини для атомних і теплових станцій), головним є забезпечення максимальної безпеки обслуговуючого персоналу та його безвідмовність.

Якщо відмови машин загрожують *безпеці* обслуговуючого персоналу або призводять до значних матеріальних втрат, то їх надійність обмежують *найбільш можливою* імовірністю безвідмовної роботи під час усієї експлуатації. А якщо відмови призводять лише до простоїв і дострокової заміни машин або їх вузлів та деталей, тоді

необхідні показники надійності $P(t)$ вибирають, виходячи з економічної доцільності.

Оптимальними показниками безвідмовності необхідно вважати такі, які визначені з умови мінімальних затрат Z_{\min} на розроблення C_p , виготовлення C_v та експлуатацію C_e машини:

$$Z_{\min} = C_p + C_v + C_e . \quad (5.6)$$

Контрольні питання та задачі до розділу 5

- 1 Розгляньте конструкцію консольного насоса як систему.
- 2 Поясніть поняття «елемент, що лімітує надійність машини».
- 3 Наведіть приклади елементів насоса, що лімітують його надійність.
- 4 Які дані потрібні для розрахунку надійності машини?
- 5 Сутність методу структурних схем надійності.
- 6 Поясніть, як складається структурна схема надійності машини.
- 7 Що визначає структурна схема надійності?
- 8 Основні види взаємозв'язку елементів у структурній схемі надійності.
- 9 Які деталі у структурній схемі надійності підключають послідовно, а які - паралельно?
- 10 Послідовне з'єднання елементів у структурній схемі надійності.
- 11 Паралельне з'єднання елементів у структурній схемі надійності.
- 12 Змішане з'єднання елементів у структурній схемі надійності.
- 13 Порядок розрахунку системи на надійність.
- 14 До якого рівня доцільно підвищувати надійність машин?
- 15 Що таке норма надійності?

Задача 5.1

Визначити ймовірність безвідмовної роботи машини згідно із заданою структурною схемою (рис. 5.4), якщо ймовірність безвідмовної роботи її елементів становить: 1 – 0,95; 2 – 0,9; 3 – 0,9; 4 – 0,9; 5 – 0,9; 6 – 0,9; 7 – 0,95; 8 – 0,95.

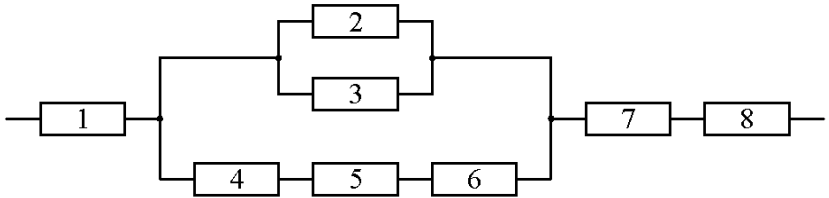


Рисунок 5.4 – Структурна схема системи

Розв'язання

$$P = P_1 \cdot P_{2-6} \cdot P_7 \cdot P_8 ;$$

$$P_{2-3} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3) = 1 - (1 - 0,9)(1 - 0,9) = 0,99 ;$$

$$P_{4-6} = P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 = 0,9^3 = 0,729 ;$$

$$P_{2-6} = 1 - (1 - P_{2-3})(1 - P_{4-6}) = 1 - (1 - 0,99)(1 - 0,729) = 0,99729 ;$$

$$P = 0,99 \cdot 0,99729 \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 0,891.$$

РОЗДІЛ 6

ОСНОВНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН

6.1 Основні напрями підвищення надійності машин

До основних *напрямів* підвищення надійності належать:

1 Підвищення опору машин зовнішньому впливу

Це створення міцних зносостійких деталей і вузлів за рахунок використання матеріалів високої міцності, зносостійкості, антикорозійності та інших властивостей, а також розроблення раціональної конструкції машини. Цей напрям об'єднує всі найновіші досягнення в конструюванні і технології виготовлення машин. Але можливості цього методу мають певні межі, оскільки зовсім незношуваних матеріалів не існує.

2 Ізоляція машин від шкідливого впливу зовнішніх факторів

Це встановлення машин на фундаменти для віброізоляції, захист їх від пилу, вологи, змін температури та ін. Сюди належать і раціональні методи ремонту та обслуговування машин. Ізоляція машин від зовнішнього впливу підвищує їх працездатність, але залишаються внутрішні фактори, повна ізоляція від яких неможлива.

3 Застосування принципу саморегулювання

При цьому машина за допомогою спеціальних пристроїв автоматично відновлює свої функції. Цей напрям має практично необмежені можливості підвищення надійності й довговічності машин і базується на принципах кібернетики. Технічно реалізувати його дуже складно.

6.2 Конструкційні, технологічні та експлуатаційні способи підвищення надійності

Розглянемо окрему гідравлічну машину (насос) і визначимо способи підвищення її надійності.

1 Конструкційні способи

Надійність машини закладається на стадії конструювання і визначається головним чином її конструкцією. З позиції надійності *оптимальною* є така конструкція машини та її елементів, коли з найменшими затратами коштів досягається потрібна тривалість роботи окремих вузлів, механізмів та машин у цілому при заданій безвідмовності та довговічності й регламентованих затратах на технічне обслуговування й ремонт.

Для підвищення надійності необхідно:

а) проводити конструювання з урахуванням аналізу кращих вітчизняних і закордонних аналогів (вибирати найбільш прогресивну конструкцію);

б) використовувати стандартизовані та уніфіковані вузли і деталі (при цьому зменшуються номенклатура деталей і вартість машини, спрощується її ремонт);

в) враховувати зовнішні умови (передбачати захист від вібрації, ударних навантажень, пилу, вологості та ін.);

г) використовувати високоміцні та зносостійкі матеріали (при цьому зменшується маса деталей і збільшується термін служби машини).

2 Технологічні способи

Машину необхідно виготовляти з урахуванням сучасних прогресивних технологій. До основних напрямів підвищення надійності належать:

а) вибір раціональних способів обробки і режимів різання (при цьому забезпечуються невелика шорсткість і достатня мікротвердість поверхневого шару);

б) правильний вибір послідовності технологічних операцій;

в) забезпечення раціональних способів складання машин.

3 Експлуатаційні способи

Експлуатаційні способи впливають на термін служби машин. Для його збільшення необхідно:

а) забезпечити обкатку машин і визначити причини раптових відмов та спосіб їх усунення;

- б) добре організувати технічне обслуговування машин (своєчасне змащування, заміну деталей, регулювання тощо);
- в) експлуатувати машини лише на режимах, зазначених у технічній документації.

6.3 Підвищення надійності методом резервування. Класифікація резервування

Резервування – метод підвищення надійності машин введенням у систему резервних (запасних) елементів. Тобто поряд з основними елементами передбачаються надлишкові, які не є функціонально необхідними. Резервування дозволяє зменшити імовірність відмов на декілька порядків. Найбільш широко його використовують у радіоелектроніці. В машинобудуванні застосовують у випадках, коли є небезпека аварії.

Приклади. Автомобілі та інші транспортні машини мають 2-гу або 3-тю систему гальмування, вантажні машини – подвійні «шини» на задніх колесах. У пасажирських літаках використовують 3–4 двигуни (вихід із ладу одного або декількох двигунів, окрім останнього, не призводить до аварії літака), на морських суднах застосовують по 2 двигуни. У насосах це подвійна система змащування, подвійні ущільнення (манжетне і щілинне) та ін.

Резервування можна поділити на декілька видів:

- а) **роздільне резервування** – резервуються лише окремі, найменш надійні елементи;
- б) **загальне резервування** – резервується вся машина в цілому;
- в) **постійне резервування** – основний елемент (система) і всі резервні працюють одночасно;
- г) **резервування із заміщенням** – резервні елементи (системи) діють лише після відмови основних.

Класифікація резервування наведена на рис. 6.1.

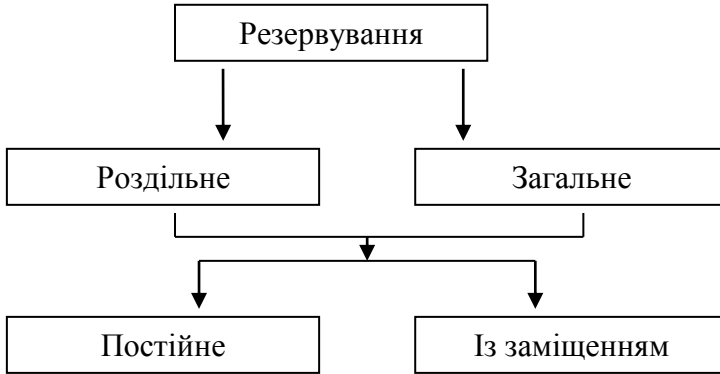


Рисунок 6.1 – Види резервування

6.3.1 Роздільне резервування

При *роздільному* резервуванні елементи підключають паралельно основним. Припускають, що основні та резервні елементи однакові й мають рівну ймовірність відмови. При відмові одного елемента навантаження на ті, що залишилися, збільшується. Це зменшує ймовірність їх безвідмовної роботи. Схема резервування наведена на рис. 6.2.

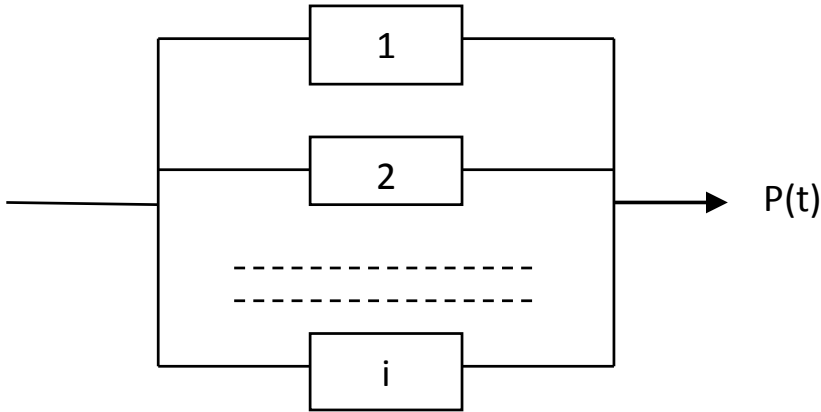


Рисунок 6.2 – Схема роздільного резервування

Імовірність відмови всіх елементів системи (основних і резервних) визначається за *теоремою множення імовірностей*

$$Q_c(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot Q_3(t) \cdot \dots \cdot Q_n(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t), \quad (6.1)$$

де $Q(t)$ – імовірність відмови елемента i .

Імовірність безвідмовної роботи системи

$$P(t) = 1 - Q(t). \quad (6.2)$$

Якщо елементи однакові, то

$$Q(t) = Q_1^n(t), \quad (6.3)$$

а

$$P(t) = 1 - Q_1^n(t). \quad (6.4)$$

Роздільне резервування доцільно застосовувати для елементів, що мають невелику ймовірність безвідмовної роботи.

Резервні елементи конструктивно повинні бути сумісними з основними. До елементів, які можна роздільно резервувати, належать: підшипники, фільтри, ущільнення, елементи живлення та ін.

6.3.2 Загальне резервування

При *загальному* резервуванні основна і резервна системи під'єднані паралельно (рис. 6.3). Система виконує свої функції, якщо працездатні основна або одна з резервних систем.

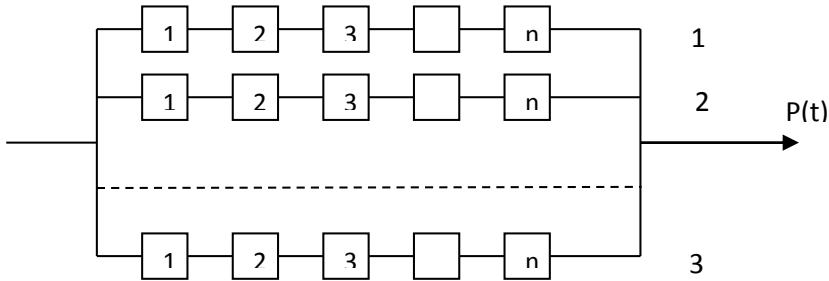


Рисунок 6.3 – Схема загального резервування

Усі елементи основної і резервної систем мають загальний вихід. Можливі відмови типу короткого замикання, обриву, втрати герметичності та ін. Необхідно мати перемикач і систему контролю працездатності.

Імовірність безвідмовної роботи системи визначають за формулою

$$P_c(t) = 1 - Q_c^m(t). \quad (6.5)$$

6.4 Постійне резервування і резервування із заміщенням

6.4.1 Постійне резервування

При *постійному* резервуванні елементи і системи під'єднують паралельно до основних.

Імовірність відмови всіх елементів визначається за теоремою множення

$$Q_c(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot Q_3(t) \cdot \dots \cdot Q_n(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t). \quad (6.6)$$

Примітка. У системах із паралельним з'єднанням перемножуються імовірності відмов Q , у системах із послідовним з'єднанням – імовірності безвідмовної роботи P .

6.4.2 Резервування із заміщенням

У цьому випадку резервні елементи вмикають лише за відмови основних. Це ввімкнення виконується автоматично або вручну.

При високій надійності елементів імовірність відмови системи дорівнює

$$Q_c(t) = \frac{\prod_{i=1}^n Q_i(t)}{n!}. \quad (6.7)$$

Формула справедлива за умови, що переключення є абсолютно надійним. При цьому ймовірність відмови в $n!$ разів менша, ніж при постійному резервуванні. (При ненадійному переключенні можна легко втратити цю перевагу).

Переключення відбувається оператором вручну або за допомогою автоматизованої системи.

Контрольні питання та задачі до розділу 6

- 1 Наведіть основні напрями підвищення надійності машин.
- 2 У чому сутність конструктивних, технологічних та експлуатаційних способів підвищення надійності машин?
- 3 Що таке конструктивні способи підвищення надійності машин?
- 4 Наведіть експлуатаційні способи підвищення надійності машин.
- 5 Як підвищити надійність машини під час її виготовлення?
- 6 Наведіть класифікацію резервування.
- 7 Сутність роздільного резервування.
- 8 Загальне резервування.
- 9 Постійне резервування і резервування із заміщенням.
- 10 У чому полягає відмінність роздільного і загального резервування?
- 11 В яких випадках доцільно застосовувати роздільне резервування? Покажіть на схемі.
- 12 Поясніть аналітично і схематично загальне резервування.
- 13 Поясніть аналітично зміну імовірності безвідмовної роботи системи при її дублюванні та подвійному резервуванні.
- 14 При якому резервуванні основна і резервна системи працюють одночасно? Покажіть на схемі.
- 15 При яких способах резервування окремі елементи або основна і резервна системи підключаються паралельно?
- 16 Поясніть аналітично і схематично, при якому способі підключення елементів збільшується імовірність безвідмовної роботи системи?

Задача 6.1

Імовірність відмови елемента $Q_1 = 0,01$, кількість їх – $n = 2$ (відбувається дублювання). Визначити імовірність безвідмовної роботи системи.

Розв'язання

$$P(t) = 1 - Q_1^n(t) = 1 - 0,01^2 = 0,9999.$$

Якщо $Q = 0,01$ і $n = 3$ (подвійне резервування), то імовірність безвідмовної роботи системи

$$P(t) = 1 - Q_1^n(t) = 1 - 0,01^3 = 0,999999.$$

Резервування дозволяє створювати систему великої імовірності. Наприклад, елемент має $P_i = 0,7$, система – $n = 4$. Тоді імовірність безвідмовної роботи системи

$$P(t) = 1 - (1 - P_i)^n = 1 - (1 - 0,7)^4 = 0,992.$$

Задача 6.2

Система складається з 4 послідовно з'єднаних елементів. Імовірність безвідмовної роботи кожного елемента $P_i = 0,9$. Для підвищення надійності до неї під'єднана ще одна паралельна система (рис. 6.4). Визначити імовірність безвідмовної роботи системи.

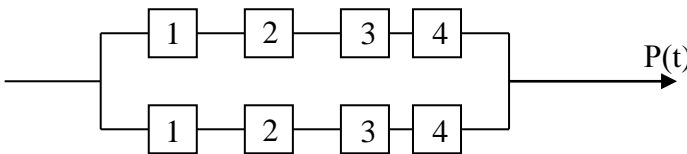


Рисунок 6.4 – Паралельне з'єднання систем

Розв'язання

Імовірність безвідмовної роботи системи визначаємо за формулами:

$$P(t) = P_i^4 = 0,9^4 = 0,65;$$

$$Q_c(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,65 = 0,35;$$

$$P_c(t) = 1 - Q_c^2(t) = 1 - 0,35^2 = 0,88.$$

РОЗДІЛ 7

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ НА СТАДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНИ

7.1 Загальні положення статистичної обробки інформації про надійність

Для розв'язання практичних задач теорії надійності виникає необхідність встановлення виду теоретичного закону розподілу. Це дозволяє визначати показники надійності та ресурс, планувати технічне обслуговування і ремонт. У більшості випадків теоретичний закон визначається на основі дослідних даних із використанням апарату *математичної статистики*.

Математична статистика - це раціональні способи систематизації та аналізу емпіричних даних спостережень і встановлення статистичних закономірностей.

Статистична оцінка дається сукупності виробів або явищ.

Генеральна сукупність – сукупність усіх об'єктів, над якими проводяться спостереження.

Вибірка – визначена кількість об'єктів, відібраних із генеральної сукупності.

Статистична інформація, яку збирають, повинна містити:

- а) загальні відомості про машину;
- б) відомості про режими її роботи;
- в) відомості про відмови;
- г) техніко-економічні показники.

До такої інформації належать:

- назва, марка, типорозмір машини;
- назва підприємства-виробника;
- заводський номер і дата виготовлення або дата проведення капітального ремонту;
- назва підприємства-споживача;
- час використання машини від дня експлуатації або капітального ремонту;

- інформація про температуру , вологість, запиленість повітря тощо;
- назва елемента, що відмовив;
- дата з'явлення відмови;
- опис характеру відмови: зовнішнє виявлення, ступінь пошкодження та інформацію щодо небезпеки відмови;
- причина відмови: природна, порушення норм експлуатації, неякісне виготовлення, ремонт тощо;
- спосіб та час усунення відмови;
- трудомісткість усунення відмови;
- вартість ТО та непланового або планового ремонту.

Збирання статистичної інформації виконує персонал служби надійності підприємства-виробника або спеціалізованої організації (НДІ, КБ, лабораторії ВНЗ та ін.).

Інженерами-інформаторами повинні працювати фахівці, які вивчили конструктивні особливості машини та специфіку її експлуатації.

Вихідні дані, що підлягають статистичній обробці, є повною або скороченою вибіркою. Експлуатаційні спостереження, за яких машини доводять до граничного стану (наприклад, при оцінюванні довговічності – до втрати ресурсу), називають завершеними, а вибірку - повною. Отже, в цьому випадку до повної вибірки входять лише дані спрацювання машин до граничного стану.

У випадку, коли не всі машини доводять до граничного стану, спостереження називають незавершеними, або скороченими, а їх результати утворюють скорочену вибірку.

Результати спостережень, як правило, є рядом неупорядкованих чисел. На першому етапі одержані дані необхідно розмістити за збільшенням значень показника, тобто скласти варіаційний ряд.

Перед цим необхідно провести контроль даних і вилучити ті, які особливо відрізняються або були одержані у результаті помилок при спостереженнях або при грубих порушеннях правил експлуатації машини.

Під час обробки інформації доводиться поєднувати дані з різних джерел. Тому в цьому разі повинна бути перевірена однорідність умов та режимів експлуатації машин. Дані, що були отримані в істотно різних умовах, не можна поєднувати та обробляти сумісно.

Обробка результатів експериментальних спостережень проводиться в такій послідовності:

- а) за дослідними даними будують емпіричну криву експериментального розподілу;
- б) обчислюють характеристики емпіричного розподілу;
- в) висувають гіпотезу щодо функції щільності розподілу випадкової величини;
- г) вирівнюють емпіричну криву щодо теоретичної;
- д) вирівняну криву (і теоретичну) порівнюють за одним із критеріїв згоди;
- е) з урахуванням найоптимальнішого критерію згоди вибирають теоретичний закон для даного розподілу.

7.2 Методика визначення закону розподілу показників надійності

Опрацювання експериментальних даних і розрахунків показників надійності виконуються в такій послідовності.

1 Поставимо перед собою завдання вивчити випадкову величину T , закон розподілу якої невідомий. Для його визначення проведемо серію спостережень над величиною T . При цьому T набуде низку конкретних значень, що являють собою статистичний матеріал.

Якщо кількість даних перевищує 25, то для спрощення подальших розрахунків складають статистичний ряд. Для побудови статистичного ряду визначають зону розсіювання досліджуваної величини за формулою

$$R = t_{\max} - t_{\min}, \quad (7.1)$$

де t_{\max} і t_{\min} – відповідно максимальне і мінімальне значення величини.

Потім визначають кількість інтервалів

$$n = 1 + 3,3 \ln N, \quad (7.2)$$

де N – кількість дослідних даних (відмовлених виробів).

У практиці розрахунків рекомендується розглядати 7 – 20 інтервалів. Тому кількість інтервалів можна не розраховувати за формулою (7.2), а взяти в рекомендованих межах.

Знаючи зону розсіювання і число інтервалів, розраховують ширину (величину) інтервалу

$$\Delta t = \frac{R}{n}. \quad (7.3)$$

Ширину інтервалів округлюють до цілих парних значень. Усі інтервали повинні бути однаковими, прилягати один до одного і не мати розривів.

Початок першого інтервалу визначається так, щоб мінімальне значення величини розміщувалося приблизно на його середині. Останній інтервал вибирається таким, щоб максимальне значення величини потрапляло в цей інтервал.

Потім підраховують частоту m_i відмов випадкової величини у кожному інтервалі, накопичену частоту $\sum m_i$, частість (дослідну ймовірність) m_i/N і накопичену частість $\sum m_i/N$ кожного інтервалу.

При підрахунку частоти m_i значення, що потрапляють на межу інтервалів, ділять порівну на обидва інтервали.

Накопичені частота $\sum m_i$ і частість $\sum m_i/N$ для кожного інтервалу визначаються як сума частот чи частостей усіх попередніх інтервалів. Для останнього інтервалу $\sum m_i = N$ і $\sum m_i/N = 1$.

Далі для наочної характеристики експериментального розподілу відмов будують гістограму і полігон (рис. 7.1).

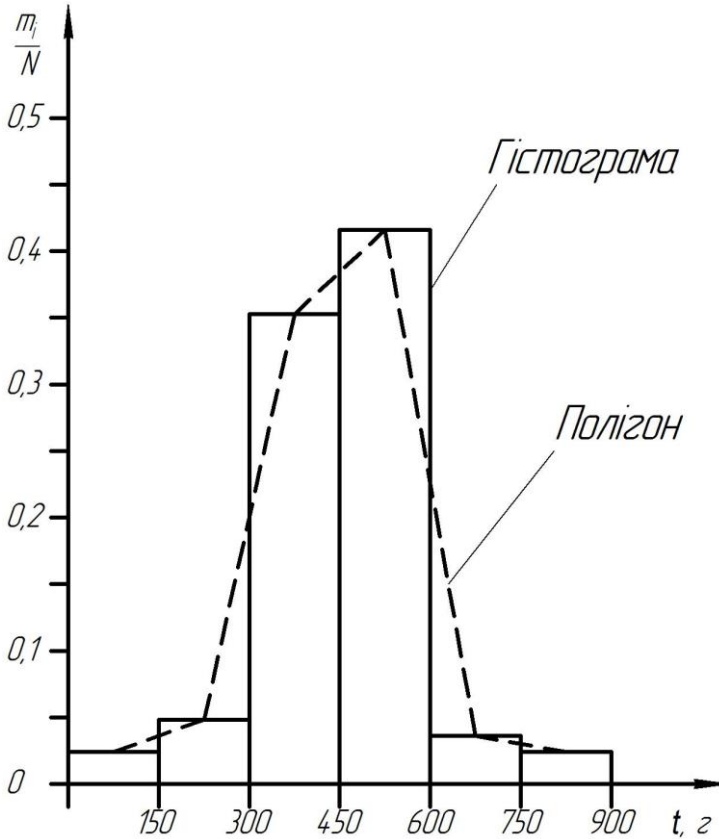


Рисунок 7.1 – Графічне оформлення статистичного ряду (гістограма і полігон)

2 Обчислюють статистичні характеристики розподілу випадкової величини за формулами:

а) середнє арифметичне

$$t_{\text{сеп}} = \frac{\sum m_i t_{i \text{ сеп}}}{N}, \quad (7.4)$$

де $t_{i \text{ сеп}}$ – середнє значення інтервалу;

б) середнє квадратичне відхилення

$$S = \sqrt{\frac{\sum m_i (t_{i,cep} - t_{cep})^2}{N-1}} \quad \text{при } N < 25, \quad (7.5)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum m_i (t_{i,cep} - t_{cep})^2}{N}} \quad \text{при } N \geq 25, \quad (7.6)$$

- в) дисперсія дорівнює S^2 ;
 г) коефіцієнт варіації

$$\nu = \frac{S}{t_{cep}}. \quad (7.7)$$

3 Наступним етапом опрацювання дослідних даних є вибір теоретичного закону розподілу за коефіцієнтом варіації. Якщо $\nu = 0-0,30$, то вибирають нормальний закон розподілу, якщо $\nu = 0,30-0,80$, – закон Вейбулла, і якщо $\nu = 0,80-1,30$, – експоненціальний закон.

4 «**Вирівнювання**» емпіричного розподілу згідно з вибраним теоретичним законом полягає у визначенні теоретичних значень частот, частостей і накопичених частот чи частостей.

Вирівнювання за законом нормального розподілу

Диференціальна функція (щільність імовірності) нормального розподілу має вигляд

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_{i,cep} - t_{cep})^2}{2S^2}}. \quad (7.8)$$

Величини S і $t_{i\text{cep}}$ є параметрами розподілу, тобто закон двопараметричний.

Теоретичні частоти визначають за формулою

$$m_t = \frac{N\Delta t}{S} f_0(x), \quad (7.9)$$

де $f_0(x)$ – центрована і нормована функція нормального розподілу:

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, \quad (7.10)$$

$$x = \frac{t_{i\text{cep}} - t_{\text{cep}}}{S} = u_p, \quad (7.11)$$

де u_p – квантиль нормального розподілу.

Для визначення квантиля u_p при нормальному законі розподілу використовують дані літератури [13].

Значення x обчислюється для кожного інтервалу, а далі визначається $f_0(x)$ [13, 15].

Теоретичні частоти визначають за формулою

$$\frac{m_t}{N} = \frac{\Delta t}{S} f_0(x). \quad (7.12)$$

Вирівнювання за законом Вейбулла

Диференціальна функція (щільність імовірності) розподілу Вейбулла має вигляд

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a} \right)^b}, \quad (7.13)$$

де a і b – параметри розподілу Вейбулла.

При $b = 1$ розподіл Вейбулла збігається з експоненціальним.

Параметр b визначають залежно від величини коефіцієнта варіації v [13].

Параметр a розраховують за формулою

$$a = \frac{S}{C_b}, \quad (7.14)$$

де C_b – коефіцієнт, визначений за таблицею [13, 15].

Визначивши параметри a і b , знаходять функцію розподілу Вейбулла.

Теоретичні частоти визначають за залежністю

$$m_t = N \Delta t f(t). \quad (7.15)$$

Теоретичні частоти обчислюють за формулою

$$\frac{m_t}{N} = \Delta t f(t). \quad (7.16)$$

Вирівнювання за експоненціальним законом

Диференціальна функція експоненціального розподілу має вигляд

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (7.17)$$

де λ – стала величина.

Теоретичні частоти і частоти визначають відповідно за формулами (7.15) і (7.16).

5 Оцінка відповідності вибраного теоретичного закону експериментальним даним статистичного ряду розподілу виконується за допомогою критерію згоди. У теорії надійності найчастіше застосовується критерій згоди Колмогорова.

Критерій згоди Колмогорова визначають за виразом

$$\lambda = D_{\max} \sqrt{N}, \quad (7.18)$$

$$D_{\max} = \frac{(\sum m_i - \sum m_{ii})_{\max}}{N}, \quad (7.19)$$

де $\sum m_i$ і $\sum m_{ii}$ – накопичені експериментальні і теоретичні частоти.

Визначивши значення λ , за таблицею [13] знаходять імовірність згоди $P(\lambda)$ теоретичного й емпіричного розподілів. Згода вважається достатньою, якщо $\lambda \leq 1$ і $P(\lambda) \geq 0,3$.

При порівнянні декількох законів розподілу вибирають той закон, за яким можлива найбільша імовірність згоди.

6 Після визначення закону розподілу обчислюють основні характеристики надійності $f(t)$, $P(t)$, $\lambda(t)$.

Залежності щільності розподілу відмов $f(t)$ для кожного закону показані вище.

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ обчислюють у такий спосіб.

Нормальний закон розподілу

$$P(t) = 1 - F_0(x), \quad (7.20)$$

де $F_0(x)$ – центрована функція, її значення наведені в [13, 15].

При від'ємних значеннях x варто скористатися формулою

$$F_0(-x) = 1 - F_0(x), \quad (7.21)$$

Закон розподілу Вейбулла

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}. \quad (7.22)$$

Параметр розподілу b наведено в таблиці [13, 15], а параметр a визначають за формулою (5.14).

Експоненціальний закон розподілу

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (7.23)$$

при цьому $t_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}$.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ в усіх випадках визначають за виразом

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (7.24)$$

Контрольні питання та задачі до розділу 7

- 1 Загальні положення статистичної обробки інформації про надійність.
- 2 Яка основна мета збирання інформації про роботу існуючих машин?
- 3 Поясніть послідовність обробки статистичної інформації.
- 4 Що являє собою статистичний матеріал?
- 5 Що таке попередня підготовка інформації?
- 6 Який математичний апарат застосовують для обробки статистичної інформації?
- 7 Яким чином складають статистичний ряд?
- 8 Як визначають кількість необхідних інтервалів?
- 9 Що таке величина інтервалу і як його знайти?
- 10 Що таке частота і частість відмов?
- 11 Що таке коефіцієнт варіації і як його знайти?
- 12 Наведіть основні закони розподілу випадкових величин.
- 13 Що таке гістограма і як її побудувати?
- 14 Що таке полігон і як його побудувати?
- 15 Які статистичні характеристики розподілу випадкової величини визначають для знаходження її теоретичного закону?
- 16 Які значення коефіцієнта варіації відповідають нормальному закону розподілу?
- 17 Що таке критерій згоди Колмогорова?
- 18 Що означає термін «вирівнювання емпіричного розподілу»?
- 19 Яким чином аналітично обчислюють імовірність безвідмовної роботи при нормальному законі, при розподілі Вейбулла і еспоненціальному законі розподілу випадкової величини?

Задача 7.1

Протягом t годин проводилося спостереження за роботою N виробів. За час спостережень відмовили всі вироби. Результати спостережень: кількість виробів $N = 50$; інтервал напрацювання $t = 0 - 1000$ год. Кількість відмов m_i виробів у кожному з послідовно розміщених від початку $n = 10$ інтервалах спостережень становить: 2; 3; 5; 8; 14; 6; 4; 3; 3; 2. Побудувати гістограму і полігон розподілу інтервального статистичного ряду.

Розв'язання

1 Задаємо значення кількості виробів $N = 50$.

2 Задаємо значення інтервалу напрацювання $t = 0 - 1\ 000$ год.

3 Задаємо значення кількості інтервалів $n = 10$.

4 Задаємо значення кількості відмов m_i виробів у кожному інтервалі: 2; 3; 5; 8; 14; 6; 4; 3; 3.

5 Складаємо таблицю 1 інтервального статистичного ряду.

Таблиця 1

Інтервал, год	Частота відмов m_i
0–100	2
100–200	3
200–300	5
300–400	8
400–500	4
500–600	6
600–700	4
700–800	3
800–900	3
900–1 000	2

6 Визначаємо частоти відмов $\frac{m_i}{N}$ для кожного інтервалу спостережень. Розрахунок виконуємо у табличній формі і результати заносимо до таблиці 2.

Таблиця 2

Інтервал, год	Частота відмов m_i	Частість відмов $\frac{m_i}{N}$
0–100	2	0,040
100–200	3	0,060
200–300	5	0,100
300–400	8	0,160
400–500	4	0,280
500–600	6	0,120
600–700	4	0,080
700–800	3	0,060
800–900	3	0,060
900–1 000	2	0,040

Примітка. Сума частот $\sum m_i$ за всіма інтервалами дорівнює $N = 50$, а сума накопичених частостей $\frac{\sum m_i}{N} = 1$

7 За даними табл. 2 будуємо гістограму інтервального статистичного ряду (рис. 7.2).

8 На гістограмі (рис. 7.2) з'єднуємо прямими лініями середини верхніх сторін прямокутників і одержуємо полігон інтервального статистичного ряду.

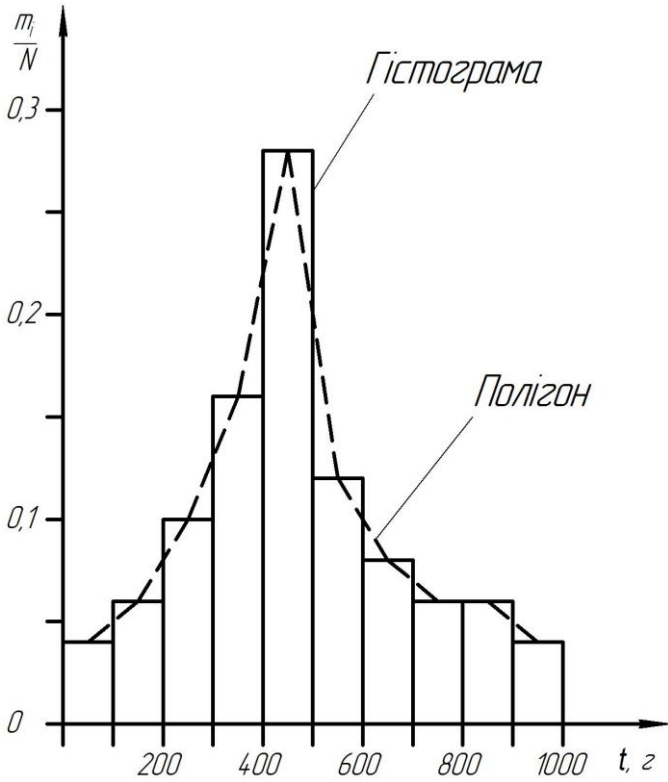


Рисунок 7.2 – Гістограма і полігон статистичного ряду

РОЗДІЛ 8 ВИПРОБУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

8.1 Види випробувань насосів на надійність

Розрахункові методи оцінювання надійності розроблені ще не для всіх машин та деталей і не за всіма критеріями. Тому надійність машини в цілому, особливо насосів, оцінюють за результатами випробувань.

За результатами випробувань для *невідновлювальних* виробів визначають імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, для відновлювальних – середнє напрацювання на відмову $T_{в. сер}$ і середній час відновлення $T_{від. сер}$ або $\lambda(t)$.

Випробування на надійність насосів проводять стосовно ГОСТу 6134-2007 «Насосы динамические. Методы испытаний».

Згідно з державним стандартом випробування на надійність поділяють на декілька видів: *контрольні* (насосів та елементів), *означальні* (насосів та елементів) і *дослідні*.

Контрольні випробування відповідають на запитання: «Задовольняють вибрані показники надійності чи не задовольняють?»

Означальні випробування оцінюють дійсні значення показників надійності.

Дослідні випробування оцінюють якість матеріалу або конструкції, вплив умов експлуатації на роботу машини, допустиму температуру та ін.

Основні режими при випробуваннях елементів і насосів на надійність – це *експлуатаційні*. *Форсовані* випробування насосів у цілому неможливі.

Розглянемо **основні етапи робіт** під час проведення випробувань на надійність (рис. 8.1).

1 Аналіз конструкції. Визначають елементи машини, що можуть бути причиною відмов (це робоче колесо, ущільнення, пружні елементи та ін.).

2 Аналіз умов роботи. Визначають фактори, що призводять до руйнування елементів насоса. До них відносять природні фактори: температуру довкілля, температуру перекачуваної рідини, вібрацію та ін.

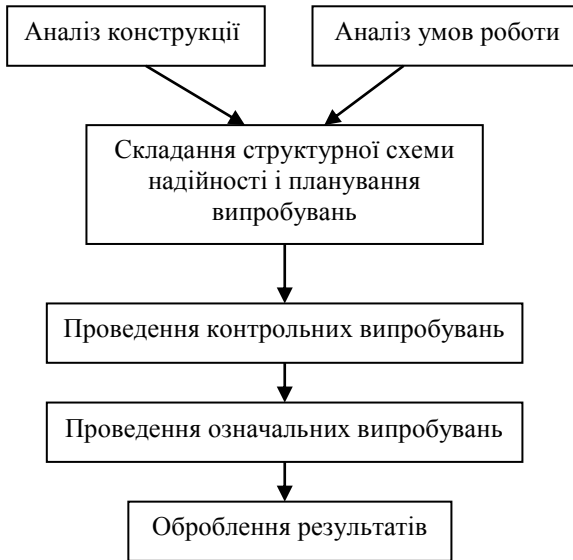


Рисунок 8.1 – Основні етапи робіт під час випробувань на надійність

3 Складання розрахункової схеми надійності. При цьому вважають, що відмова одного елемента спричиняє відмову всієї машини (в схемі беруть послідовне з'єднання елементів).

Імовірність безвідмовної роботи визначають за формулою

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (8.1)$$

Середнє напрацювання на відмову

$$T_{в.сер} = \int_0^{\infty} P_i(t) dt. \quad (8.2)$$

4 Проведення випробувань і одержання кількісних характеристик надійності. Кількісні характеристики надійності можна одержати як при випробуваннях окремих елементів, так і насоса в цілому. Результати поелементних випробувань використовують для визначення ресурсу елементів та оцінювання результатів контрольних випробувань. Кількість зразків для випробувань визначають групою надійності.

8.2 Контрольні випробування на надійність

Ці випробування проводять для перевірки того, що показники надійності насосів та елементів не нижчі від тих, які зазначені в технічній документації.

Контрольним випробуванням підлягають:

- а) дослідні насоси, насоси індивідуального виробництва при попередніх заводських або приймальних випробуваннях;
- б) насоси серійного виробництва при внесенні змін у конструкцію або технологію виготовлення;
- в) елементи насосів відповідно до програми випробувань.

8.2.1 Експериментальні стенди

Контрольні випробування проводять на місці експлуатації (підконтрольна експлуатація) або на стендах заводів-виробників.

Експериментальні стенди виготовляють згідно з ГОСТом 6134-2007. Стенди повинні імітувати умови експлуатації.

Випробування проводять на *натурних рідинах* або на *воді*, якщо встановлено, що процеси руйнування або зношення

не залежать від властивостей рідини і причина відмови насосів не є наслідком впливу на нього перекачуваної рідини.

Елементи насосів можуть випробовувати як у самому насосі, так на спеціальних стендах.

Експериментальні стенди повинні бути обладнані засобами контролю параметрів.

Тривалість і режим випробувань установлюють *програмою*.

8.2.2 Програма випробувань

Програма випробувань повинна мати такі складові: обміри, складання і технічну експертизу перед їх початком, обкатку, попередню перевірку працездатності, випробування упродовж установленого напрацювання, технічну експертизу машини після закінчення випробувань, оцінювання результатів випробувань.

Під час випробувань фіксуються *відмови* насосів:

а) за *параметричними* ознаками: зміни подачі, номінального напору, к. к. д. та ін.

б) за *функціональними* ознаками: збільшення зношення, вібрації, витоків, зміна зазорів та ін.

Розглянемо основні складові програми випробувань.

1 Обміри. Обмірам підлягають розміри, зміна яких спричиняє поступову або раптову відмову. Це втулки сальника, захисні кільця ущільнення робочого колеса, поршневі кільця, плунжери, штоки, пари тертя та ін. При цьому фіксується стан поверхонь деталей (їх чистота, наявність мікротріщин та ін.).

Вимірюється також маса зношуваних деталей (робочого колеса, кілець ущільнення).

Усі вимірювання є складовими технічної експертизи.

2 Обкатка. Перевіряється робота насосів у робочому інтервалі подачі. Період їх обкатки визначають відповідно до державного стандарту залежно від потужності насоса (від 0,25 години до 2 годин). Дві години обкатують насоси, якщо потужність їх більша за 400 кВт.

3 Попередня перевірка працездатності. Після обкатки повинно бути встановлено, що на режимах експлуатації не відбуваються процеси, які призводять до швидкого зношення насоса.

4 Випробування. Випробування проводять при режимах найбільших навантажень. При цьому фіксуються такі параметри: зовнішні витоки (через ущільнення, по штоку плунжера та ін.), напірні та енергетичні характеристики, рівні шуму та вібрації, температура рідини і підшипників та інші параметри, передбачені програмою.

Контроль параметрів проводять від 5 до 8 разів за весь період випробувань.

5 Технічна експертиза. Після закінчення випробувань необхідно провести розбирання насоса і визначити розміри та температуру, які вимірювалися до випробувань.

6 Оцінка результатів. Тривалість і режим випробувань встановлюють такими, щоб з урахуванням наявної інформації про працездатність елементів насоса можна було оцінити його середнє напрацювання на відмову в цілому.

8.3 Означальні випробування

Означальні випробування проводять для одержання фактичних показників надійності (безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережаності), а також термінів і обсягів ремонтних робіт та визначення кількості запасних частин.

Цим випробуванням підлягають перші насоси серійного виробництва.

Під час проведення випробувань установлюють залежність параметрів, характеристик і працездатності від часу роботи машини.

Найбільш *раціональним* видом випробувань є *підконтрольна експлуатація*, при якій:

- а) проводять систематичний нагляд за зміною параметрів і зносом елементів насоса;
- б) виконують своєчасне відновлення працездатності;

в) фіксують відмови і всі дії, які проводять із насосом.

Кількість насосів, що підлягають випробуванням, визначають згідно з державним стандартом.

На підконтрольну експлуатацію встановлюють насос, який має найбільш навантажені елементи. Місце проведення повинно бути характерним для умов експлуатації насоса (відповідати перекачуваній рідині, режиму роботи та іншим показникам).

Випробувальний стенд повинен мати всі необхідні засоби *контролю* і виміру параметрів.

При випробуваннях мають місце 4 види контролю:

а) ***постійний*** – установлює момент відмови функціонування машини (його періодичність – 2 рази за зміну);

б) ***періодичний контроль за параметрами*** – вимірюють параметри на заданих режимах і заносять їх до журналу (не менше 5 вимірювань між відмовами);

в) ***періодичний контроль у період зупинок*** – контролюють параметри, які неможливо виміряти під час роботи насоса (це температура обмотки двигуна, люфт у муфті та ін.);

г) ***контроль під час розбирання*** – вимірюють зношення елементів насоса.

При означальних випробуваннях необхідно виконувати *профілактичні заходи*: змащування, підтягування сальників, поточні ремонти та ін.

Випробування проводять до *моменту* виникнення потреби у капітальному ремонті. У цьому разі насос демонтується, повністю розбирається і відновлюються його базові деталі (корпус, вал, робоче колесо та ін.).

Дослідні випробування на надійність – це випробування за спеціальною програмою різних варіантів елементів насоса, різних матеріалів, конструкцій вузлів (робочих коліс, гідроп'яти, вузлів ущільнення та ін.).

8.4 Оцінювання результатів випробувань

Результати для оцінювання одержують при опрацюванні журналів нагляду за N однаковими насосами. При цьому розраховують такі параметри:

– *дослідне середнє напрацювання на відмову*

$$T_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}, \quad (8.3)$$

де m – загальна кількість відмов;

t_i – напрацювання на чергову відмову, год;

– *дослідний середній ресурс*

$$R_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{N}, \quad (8.4)$$

де R_i – ресурс i -го насоса;

N – кількість насосів;

– *дослідні середньоквадратичні відхилення напрацювання і ресурсу:*

$$S_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (t_i - T_{\text{сер}})^2}{m-1}}, \quad (8.5)$$

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - R_{\text{сер}})^2}{N-1}}; \quad (8.6)$$

– дослідні коефіцієнти варіації напруцювання і ресурсу:

$$\nu_H = \frac{S_H}{T_{сер}}, \quad (8.7)$$

$$\nu_R = \frac{S_R}{R_{сер}}. \quad (8.8)$$

Подальші розрахунки показників надійності проводять залежно від коефіцієнта варіації ν : якщо $\nu \leq 0,35$, то беруть нормальний розподіл; якщо $\nu > 0,35$ – розподіл Вейбулла.

Далі розраховують імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, інтенсивність відмов $\lambda(t)$ та інші показники.

Контрольні питання до розділу 8

- 1 Види випробувань насосів на надійність.
- 2 Основні етапи робіт під час проведення випробувань на надійність.
- 3 Контрольні випробування на надійність.
- 4 Експериментальні стенди для проведення випробувань на надійність.
- 5 Основні складові програми випробувань на надійність.
- 6 Означальні випробування на надійність.
- 7 Оцінювання результатів випробувань.
- 8 Відповідно до якого ГОСТу проводять випробування на надійність насосів?
- 9 Які випробування розкривають зміст такого питання: «Задовольняють вибрані показники надійності чи не задовольняють»?
- 10 Які випробування оцінюють дійсні значення показників надійності? Їх коротка характеристика.
- 11 Сутність дослідних випробувань на надійність.
- 12 Які типи насосів підлягають контрольним випробуванням на надійність?
- 13 Що таке підконтрольна експлуатація?
- 14 Коли допускають контрольні випробування насосів на воді?
- 15 Навести основні складові програми випробувань на надійність.
- 16 Сутність обмірів перед контрольними випробуваннями на надійність.
- 17 Сутність процесу контрольних випробувань на надійність.
- 18 Як визначають місце проведення означальних випробувань на надійність?
- 19 Які види контролю застосовують при означальних випробуваннях на надійність?

20 До якого моменту проводять означальні випробування на надійність?

21 Сутність дослідних випробувань на надійність.

22 Як визначають закон розподілу випадкової величини для розрахунку показників надійності насоса?

РОЗДІЛ 9

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ГІДРОМАШИН І ГІДРОПРИВОДІВ

9.1 Підвищення експлуатаційної надійності насосів

Підвищення надійності і термінів служби машин є важливим чинником зменшення витрат на ремонт і простоювання обладнання у ремонті, зменшення кількості запасних частин і т. п. Це стосується і насосного обладнання.

На рисунку 9.1 наведено розподіл пошкоджень за елементами конструкції насосів.



Рисунок 9.1 – Діаграма розподілу пошкоджень за елементами насоса

Розглянемо деякі способи підвищення надійності насосів.

Надійність і довговічність роботи насосів значною мірою визначається роботою *кінцевих ущільнень*, зокрема *сальникових* (рис. 9.2).

Підвищення надійності сальникового ущільнення можна досягти за рахунок таких заходів:

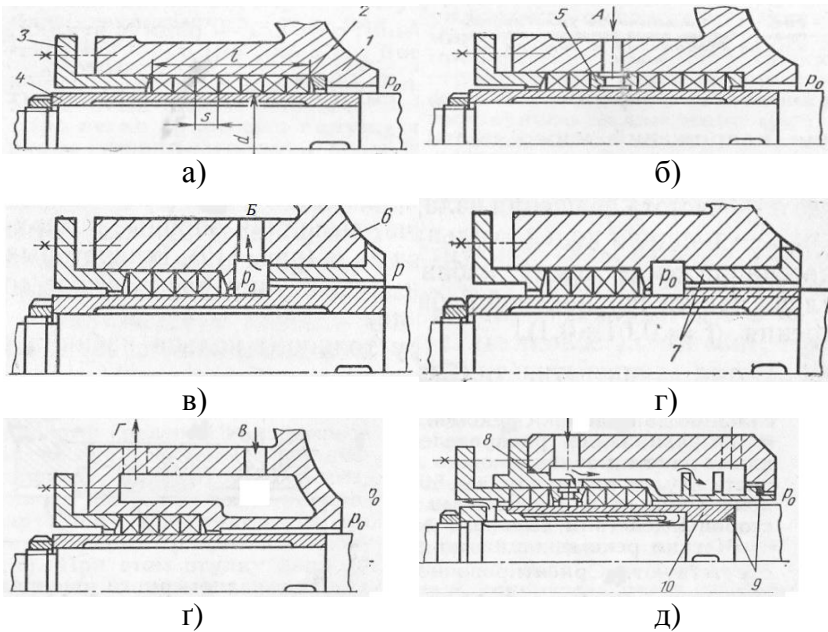


Рисунок 9.2 – Сальникові ущільнення:

- а) звичайне; б) із гідравлічним кільцем; в) із дрослювальною втулкою; г) із гвинтовим імпелером; ґ) із зовнішнім охолодженням; д) із комбінованим охолодженням;
- 1 – корпус сальника; 2 – кільця сальникової набивки;
 3 – натискна втулка; 4 – втулка вала; 5 – гідравлічне кільце;
 6 – дрослювальна втулка; 7 – гвинтовий імпелер;
 8 – ущільнювальні кільця із круглої гуми; 9 – кільця із спеціальної гуми; 10 – втулка вала;
- А, В – підведення води для охолодження; Б – відведення здросельованої води; Г – відведення охолоджувальної води

а) зменшення колової швидкості під сальниковою набивкою до значення не більше ніж 20 м/с;

б) зменшення величини тиску перед сальником шляхом виконання гвинтового імпелера, який «відганяє» рідину від

набивки, що дає можливість зменшити кількість кілець набивки до трьох – чотирьох;

в) інтенсивного охолодження сальникової набивки.

Крім того, на довговічність роботи ущільнення впливає *якість* набивки. Необхідно вибирати сальникову набивку відповідного розміру і марки, що наведені в технічній документації (паспорті) насоса.

У деяких випадках за допомогою простих ущільнювальних пристроїв неможливо розв'язати задачу герметизації, тому для відповідальних насосів (енергетичних, хімічних) необхідно застосовувати більш складні й надійні ущільнення: торцеві сальникові, лабіринтові, торцеві одинарні й подвійні та ін.

Неправильний вибір ущільнень або їх низька якість можуть призвести до відхилень показників роботи насосів і зменшення їх надійності.

Під час роботи *живильних* насосів (рис. 9.3) особливої уваги потребують ущільнення між внутрішнім і зовнішнім корпусом та зовнішнім корпусом і кришкою нагнітання.

Ці насоси можуть працювати при перепаді тиску близько 20 МПа і стан ущільнень у процесі роботи насосів контролювати практично неможливо. Перетікання рідини в ущільненнях виникають при змінній товщині прокладок та нерівномірному затягуванні їх по колу, тому перед установленням прокладок необхідно контролювати їх товщину. Допустима нерівномірність товщини прокладок не повинна перевищувати 0,2 мм.

Вузол *гідравлічної п'яти*, призначений для розвантаження осьового зусилля ротора багатоступеневих насосів, є джерелом додаткових втрат при їх роботі. Витікання рідини через п'яту живильних насосів становлять 4–6 % від подачі насоса. При цьому зменшується загальний к. к. д. насоса. Збільшення опору дроселювальних ущільнень і відповідно зменшення витоків можна досягти за рахунок виконання спеціальних кільцевих канавок на обертових деталях кільцевої і торцевої щілин гідравлічної п'яти.

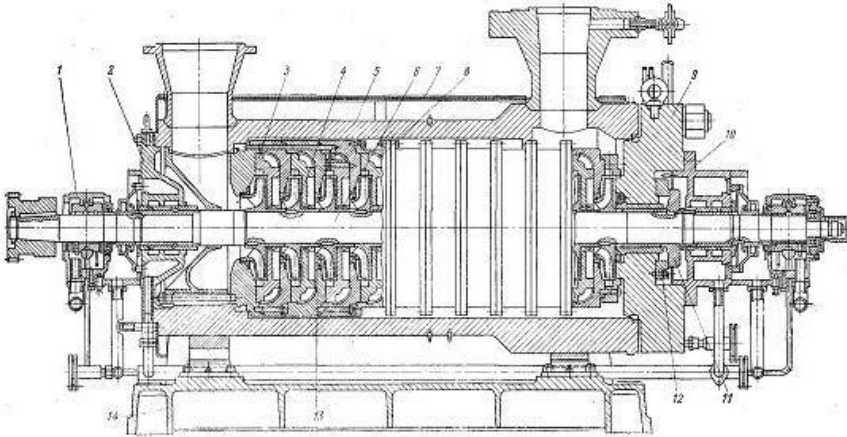


Рисунок 9.3 – Живильний насос:

1 – підшипник ковзання; 2 – кришка вхідна; 3 – переднє ущільнення колеса; 4 – робоче колесо; 5 – зовнішній корпус; 6 – вал; 7 – кожух; 8 – внутрішній корпус; 9 – кришка напірна; 10 – корпус ущільнення; 11 – диск розвантажувальний; 12 – подушка п'яти; 13 – ущільнення проміжного ступеня; 14 – плита

Для збільшення напору на 5–8 % у багатоступневих насосах необхідно виконувати спеціальне *підрізання* вихідних кромek лопатей робочого колеса з тильного боку (рис. 9.4).

При експлуатації насосів інколи доводиться виконувати цілу низку заходів, спрямованих на зміну деяких параметрів. Підвищення напору, а відповідно і к. к. д. насоса можна досягти за рахунок зменшення втрат на тертя у водопровідних каналах робочих коліс, напрямних апаратів, підводів, відводів. Для цього необхідно проводити *додаткову обробку* водопровідних каналів проточної частини насосів. Виконання цих робіт пов'язане з додатковими затратами, але вони повністю окупаються підвищенням к. к. д. насоса.

Однією з технологій, яка дозволяє підвищити надійність насосного агрегата, є метод модернізації поверхні проточних частин відцентрових насосів на основі модифікації поверхонь

робочих коліс. Зміна властивостей поверхонь проточної частини насоса забезпечує покращання експлуатаційних характеристик насосного агрегата за допомогою гідрофобних покриттів на основі використання тефлонів. Тефлонування поверхонь ефективно реалізується шляхом використання фторопласту-4, який має низку властивостей, що визначають його застосування у багатьох галузях промисловості. Фторопласт-4 має хімічну стійкість практично до усіх хімічних речовин. Нанесення гідрофобного фторопластового покриття на поверхні робочого колеса призводить до підвищення енергоефективності при забезпеченні збереження працездатності насоса. Таке покриття одночасно захищає поверхні від корозії та від утворення відкладень, що забезпечується відсутністю контакту перекачуваного середовища і металу, із якого виготовлена проточна частина.

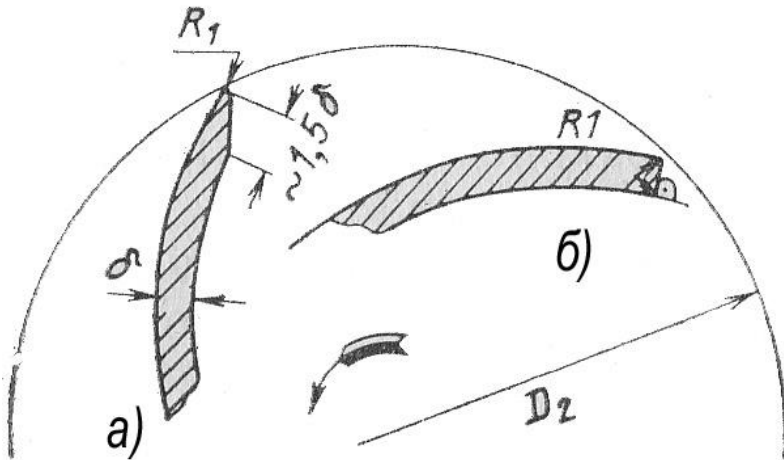


Рисунок 9.4 – Підрізання тильного боку лопаті робочого колеса:

- а) форма вихідної кромки лопаті після підрізання;*
- б) форма лопаті після підрізання по перпендикуляру*

Дуже важливим є підвищення надійності та довговічності насосів, які перекачують гідроабразивні суміші (грунтових,

піскових, шламових та ін.). Конструкція ґрунтового насоса наведена на рисунку 9.5.

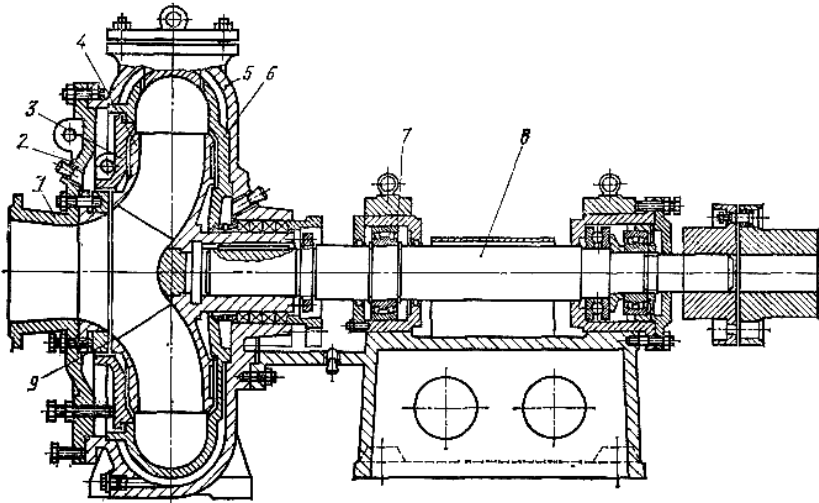


Рисунок 9.5 – Ґрунтовий насос:

- 1 – усмоктувальний патрубок; 2 – кришка; 3 – бронедиск із боку входу; 4 – робоче колесо; 5 – зовнішній корпус;
6 – внутрішній корпус; 7 – опорний вузол; 8 – ротор;
9 – ущільнювальне кільце

Основним експлуатаційним недоліком цих насосів є невеликий термін служби деталей проточної частини внаслідок їх гідроабразивного зношування.

Найбільш ефективним напрямом зменшення зношування, що дозволяє збільшити термін служби деталей ґрунтових насосів у десятки разів, є використання спеціальних *зносостійких* матеріалів (різних сплавів чавуну та сталі, спеціальної гуми та мінерально-полімерних композицій).

Іншим напрямом збільшення терміну служби деталей ґрунтових насосів є зменшення їх *частоти обертання*. При цьому значно зменшується зношення робочих коліс у результаті зменшення як швидкості течії рідини, так і концентрації твердих частинок у ній. Але при цьому може збільшуватися зношування відводу. Тому, враховуючи вищенаведене, під час

транспортування малоабразивних гідросумішей із *дрібними* твердими частинками необхідно *збільшувати* частоту обертання, а під час перекачування високоабразивних гідросумішей, особливо з *великими* твердими частинками, – *зменшувати* її.

Ще одним ефективним напрямом збільшення терміну служби ґрунтових насосів є проектування проточної частини на *велику пропускну здатність*. При цьому збільшуються розміри прохідних перерізів робочого колеса та відводу і зменшуються швидкості течії рідини.

Ґрунтові насоси повинні експлуатуватися на *раціональних* режимах, які забезпечують мінімально можливе зношування проточних каналів.

Заходів щодо збільшення надійності і довговічності різних типів насосів дуже багато. Тому при експлуатації відповідного типу насоса необхідно використовувати рекомендації, викладені в технічній документації та спеціальній літературі.

У насосних агрегатах великої потужності з'єднання валів насоса і двигуна виконують за допомогою зубчастої муфти. Це жорстке з'єднання потребує великої точності виготовлення муфти і центрування насоса з двигуном, допускає дуже малі радіальні зазори. Більшу надійність і довговічність забезпечують *пластинчасті* муфти, що складаються з двох пакетів пластин і проставки, з'єднаних із півмуфтами насоса та двигуна. Крім великого передавального моменту, ця муфта допускає радіальне та осьове зміщення валів, працює без шуму і має значно більший термін служби.

При експлуатації насосів на водопровідних насосних станціях основним чинником, що зменшує довговічність насосів, є абразивне зношування робочих коліс і відводів внаслідок наявності у перекачуваній воді мулу. Інтенсивність цього виду руйнування визначається концентрацією мулу, його гранулометричним складом та матеріалом, з якого виготовлені деталі.

Якщо одночасно з мулом діє кавітація, то зношування деталей насосів значно збільшується.

Для зменшення інтенсивності зношування елементів проточної частини цих насосів і збільшення їх довговічності необхідно проводити такі заходи:

а) визначити режими роботи насосів, які б виключали кавітаційно-абразивне зношування деталей;

б) зменшити робочу зону на характеристиці насоса до $(0,7-1,1) Q_{\text{опт}}$;

в) застосувати захисні полімерні покриття деталей;

г) виготовити деталі проточної частини насоса з легуваних сталей 2Х13, 20Х13НЛ, 30ГХ10 та ін.

9.2 Підвищення надійності гідроприводів

Гідропривод є *складовою частиною* машин та технологічного обладнання, тому від його надійності залежать ефективність роботи всієї машини, своєчасне виконання заданого обсягу роботи та втрати від простою і ремонтів.

Надійність привода закладається на етапі проектування, забезпечується в процесі виробництва і підтримується на заданому рівні під час експлуатації.

Основні технічні рішення щодо надійності, які були закладені на етапі проектування, безпосередньо впливають на експлуатаційні та економічні показники гідропривода.

Розглянемо *основні найважливіші проблеми*, що виникають під час експлуатації гідроприводів, та заходи щодо їх вирішення.

Широке використання гідроприводів у гірничих, металургійних, автотранспортних, будівельних, сільськогосподарських машинах, літальних апаратах, військових машинах та іншій техніці визначає проблему підвищення їх довговічності і надійності. Збільшення терміну служби гідравлічних пристроїв машин – один із основних *резервів* підвищення продуктивності праці і зменшення собівартості продукції.

Підвищення надійності гідрообладнання неможливе без вивчення зв'язку цього обладнання, як із параметрами, так і з робочою рідиною.

Робоча *рідина* є невід'ємною частиною будь-якої гідросистеми. Властивості рідини значною мірою впливають на працездатність гідравлічного обладнання. Правильний вибір робочої рідини дозволяє значно збільшити довговічність гідровузлів, у декілька разів зменшити трудові затрати на ремонт і технічне обслуговування.

Здебільшого у гідравлічних системах застосовують *мінеральні масла*. У них завжди у розчиненому стані є *вода*. Якщо кількість води вища від рівня насичення при даній температурі масла, то вода міститься у маслі у вигляді дрібних *крапель*. Ці краплі, з одного боку, зменшують змащувальну здатність, а з іншого – підвищують корозію.

Шкідливий вплив на роботу гідросистем чинить і наявність *повітря* в робочій рідині. При цьому погіршується робота гідросистеми за рахунок підвищення стиснення рідини при переході із зони низького в зону високого тиску. Крім того, наявність повітря зменшує продуктивність насоса та термін його служби.

Найбільш важливими параметрами, що характеризують робочу рідину, є в'язкість, хімічна та фізична стабільність, сумісність її з матеріалами гідравлічних вузлів, ущільнень і трубопроводів. *В'язкість* рідини необхідно вибирати в оптимальних межах тому, що дуже мала або дуже велика в'язкість призводить до зменшення к. к. д. системи. Крім того, вибір рідини залежить від типу насоса і робочого тиску в системі.

Дуже велике значення для підвищення працездатності гідровузлів має правильний вибір *режимів роботи* гідросистеми. Порушення порядку складання, регулювання, запускання в роботу машин, неправильне з'єднання трубопроводів може призвести до непередбачуваних наслідків. Тому особливого значення набуває *кваліфікована експлуатація та технічне обслуговування* всього обладнання гідросистеми.

Перехід на широке використання гідроприводів у промисловості неможливий без підвищення *якості* його *обслуговування*. Вузли гідросистеми дуже чутливі до неправильних дій персоналу. Враховуючи високу вартість гідровузлів і значні витрати виробництва, будь-яка несправність гідрообладнання призводить до значних економічних втрат.

Аналіз роботи вузлів гідропривода показав, що його надійність і довговічність значною мірою залежить від технічного обслуговування під час експлуатації.

Важливими складовими технічного обслуговування гідросистем є суворе дотримання *регламенту* профілактичних заходів, періодичного контролю стану машини і прийняття рішень про подальшу придатність машин до експлуатації.

Кожен із цих компонентів залежить від типу машини, інтенсивності роботи і навантаження та економічних втрат, пов'язаних з її відмовою і простоюванням.

Усі ці вимоги повинні бути викладені в *технічній документації* із зазначенням періодичності огляду фільтрів і їх заміни, визначенням рівня забрудненості робочої рідини та термінів її заміни. У документації повинні бути наведені межі аварійної забрудненості рідини.

Лише за рахунок неякісної *експлуатації* термін служби обладнання скорочується в декілька разів.

Гідросистема складається з великої кількості деталей різних за формою і матеріалом, що взаємодіють зі спряженими деталями та з робочою рідиною. Можна назвати дуже багато *факторів* (режими роботи, фізико-хімічні характеристики пар тертя, технологія виготовлення, тип робочих рідин і т. п.), що впливають на довговічність роботи гідравлічних систем.

Для гідропривода найбільші втрати відбуваються при *поступовій відмові*, тобто *зношуванні* деталей під час їх роботи. Як правило, зношування гідросистем пов'язане із забрудненням гідросистеми. Ці забруднення можуть бути у вигляді твердих, рідких або газових включень.

Забезпечення надійності гідропривода є *комплексною проблемою* і пов'язане з усіма етапами його проектування, виготовлення та експлуатації.

Контрольні питання до розділу 9

1 Основні способи підвищення експлуатаційної надійності насосів.

2 Які типи кінцевих ущільнень забезпечують надійність роботи насосів?

3 Назвіть заходи з підвищення надійності сальникового ущільнення.

4 Способи підвищення надійності роботи гідравлічної п'яти.

5 Яким чином можна підвищити напір та к. к. д. насоса під час його експлуатації?

6 Назвіть практичний спосіб забезпечення розрахункових параметрів насоса під час експлуатації.

7 Основні заходи щодо зменшення зношування деталей ґрунтових насосів.

8 Який тип муфти необхідно застосувати у насосних агрегатах великої потужності для збільшення надійності їх роботи?

9 Що є основним чинником зменшення надійності роботи насосів на водопровідних насосних станціях?

10 Які основні заходи з підвищення довговічності насосів, які працюють на водопровідних насосних станціях?

11 Назвіть основні проблеми, що виникають під час експлуатації гідроприводів і впливають на їх надійність.

12 Назвіть основні заходи з підвищення надійності гідроприводів.

13 Вплив робочої рідини на надійність роботи гідравлічних систем.

14 Які критерії вибору робочої рідини в системах гідропривода?

РОЗДІЛ 10

ЕКСПЛУАТАЦІЯ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

10.1 Технічна експлуатація машин. Основні поняття та визначення

Технічна експлуатація – це комплекс технічних, економічних, організаційних та інших заходів, що забезпечують підтримування машин у працездатному стані.

Технічна експлуатація складається з обкатки, технічного обслуговування, зберігання, технічних оглядів, діагностування машин та їх непланових ремонтів.

Машини, що експлуатуються на виробництві, повинні забезпечувати безупинний технологічний процес і відповідати вимогам надійності і безпеки.

Персонал, який обслуговує обладнання, повинен мати належну кваліфікацію, посвідчення на право обслуговування, знати і точно виконувати правила технічної експлуатації і техніки безпеки. Експлуатація обладнання повинна проводитися відповідно до інструкції або паспорта.

Розглянемо основні правила технічної експлуатації обладнання (витяг із «Типової системи планово-запобіжних ремонтів і раціональної експлуатації обладнання машинобудівних підприємств»).

Для одержання паспортної продуктивності обладнання необхідно забезпечити такі вимоги:

1 Запобігати можливості ушкодження обладнання при транспортуванні його до місця монтажу, а також при зберіганні та розпакуванні.

2 Монтаж виконувати відповідно до вимог заводу-виробника.

3 Будова фундаменту під обладнання повинна надійно захищати його від зовнішніх вібрацій.

4 Приміщення, в якому експлуатується обладнання, повинно захищати його від атмосферних опадів, зовнішнього

пилу і вологи; температура та освітлення повинні бути в межах установленої норми.

5 Обладнання повинно використовуватися лише за прямим технологічним призначенням.

6 Для виконання всіх перелічених вимог необхідно забезпечити постійний нагляд за обладнанням.

Розглянемо упорядкування приміщень.

Тривале утримання обладнанням (верстатами, насосами, турбінами, пресами та ін.) своїх технічних показників можливе лише в закритих опалювальних приміщеннях із відповідною вологістю і температурою.

Деякі вимоги до приміщень:

– для підтримання чистоти повітря приміщення необхідно обладнати вентиляцією з пилоочисним фільтром;

– опалення краще застосовувати повітряне (допустиме і водяне, але радіатори, що містяться ближче ніж 1 м до машин, необхідно закривати теплоізоляційним екраном);

– для освітлення краще використовувати підвісні лампи денного освітлення з додатковим місцевим освітленням кожного робочого місця.

10.2 Організація експлуатаційної служби

Надійність роботи насосної установки залежить від організації експлуатаційної служби. Вона забезпечується постійним утриманням усього обладнання, трубопроводів, арматури і приладів у робочому стані. Порядок і режим експлуатації насосної установки обумовлюються її призначенням.

Керівництво експлуатацією здійснює інженерно-технічний працівник відділу головного механіка або головного енергетика.

До обов'язків відповідальної особи відносять:

а) систематичний контроль за роботою обслуговуючого персоналу;

б) прийняття відповідальних рішень для зміни режимів роботи обладнання;

в) забезпечення безпечної експлуатації насосної установки.

У приміщенні насосної станції повинні бути вивішені інструкції з експлуатації обладнання і схема насосної установки.

В інструкціях повинні бути зазначені:

а) права й обов'язки обслуговуючого персоналу;

б) послідовність операцій під час пуску і зупинення;

в) режими роботи насосних агрегатів;

г) способи усунення характерних несправностей;

г) рекомендації щодо техніки безпеки і протипожежних заходів.

Особа, яка обслуговує насосну установку, повинна знати будову насосного агрегата, принцип його роботи, призначення і розміщення запірно-регулювальної апаратури та контрольно-вимірювальних приладів.

Персонал насосної станції повинен оперативно діяти у випадках виявлення несправностей у роботі насосної установки.

10.3 Основні вимоги до експлуатації насосів

Серед основних вимог можна зазначити такі:

1 Згідно із вказівками інструкції заводу-виробника щодо експлуатації і відповідно до місцевих умов необхідно розробити місцеві інструкції, в яких установити терміни проведення регулярних перевірок, ревізій, а також робіт із технічного обслуговування та ремонту.

2 Для кожного насоса необхідно завести журнал, за яким можна було б визначати стан насоса, необхідність проведення ревізії або ремонту.

3 Якщо насосні агрегати встановлюють на відкритому майданчику, необхідно звернути увагу на забезпечення постійного підігріву їх за низьких температур (морозів) під час зупинки, а також на своєчасне зливання рідини з насосів і трубопроводів.

4 Пуск насоса в холодному стані при перекачуванні рідини зі змінною в'язкістю не допускається, тому що це може призвести до його ушкодження.

5 При використанні торцевих ущільнень необхідно виконувати вимоги заводу-виробника.

6 Через визначені періоди необхідно перевіряти муфти, насамперед їх центрування. У пальцевих муфтах потрібно перевіряти стан гумових деталей.

7 Вали резервних насосів через визначений термін часу необхідно прокручувати вручну, щоб запобігти зчеплюванню їх в місцях сальника.

8 Необхідно постійно перевіряти робочий стан арматури на всмоктувальному та напірному трубопроводах.

9 Клапани поршневих насосів необхідно періодично розбирати і перевіряти їх придатність, а за необхідності шліфувати і притирати.

10 Роторні насоси не потребують особливого догляду, але необхідно стежити за тим, щоб рідина, яка перекачується, не мала твердих включень.

10.4 Експлуатаційна обкатка машин

Усі машини, що надходять на експлуатацію, повинні пройти експлуатаційну обкатку для припрацювання поверхонь тертя і створення умов мінімальної швидкості зношення.

Обкатка виявляє приховані дефекти виготовлення і монтажу машини, допомагає оцінити якість монтажних робіт у цілому, створює найоптимальніші умови для експлуатації. Під час обкатування необхідно дотримуватися такого правила: зростання навантажень на машину повинно бути поступовим: холостий хід; 25 % навантаження; 50 %; 75 %; 100 %. Обкатування триває для транспортних машин – 30–60 год., для насосів – 1–1,5 год. Після обкатування проводять технічний огляд. При цьому перевіряють болтові з'єднання (їх затягування), правильність регулювання робочих вузлів машини та ін.

10.5 Кліматичне виконання машин

Кліматичне виконання машин повинно відповідати вимогам ГОСТу 15150-69 «Машини, прилади та інші технічні вироби».

Цей стандарт поширюється на всі види машин. Відповідно до нього виготовляють машини для різних кліматичних районів земної кулі, крім Антарктиди. Умови експлуатації, зберігання та транспортування машин для різних районів визначають залежно від кліматичних чинників зовнішнього середовища. Машини повинні зберігати свої параметри під час впливу кліматичних чинників, тобто температури та вологості.

Кліматичні виконання машин залежно від районів:

- 1) із помірним кліматом – П;
- 2) із помірним і холодним – ПХЛ;
- 3) із вологим тропічним – ТВ;
- 4) із сухим тропічним – ТС;
- 5) як із сухим, так і з вологим тропічним – Т;
- 6) загальнокліматичне виконання – З;
- 7) із помірним холодним морським кліматом – М;
- 8) із тропічним морським – ТМ;
- 9) із помірно холодним і тропічним морським – ЗМ.

Розглянемо деякі мікрокліматичні райони:

а) із *помірним кліматом* – середній річний абсолютний максимум температури $\leq +40$ °С, мінімум ≥ -45 °С;

б) із *холодним кліматом* – абсолютний мінімум температури становить < -45 °С;

в) із *вологим тропічним кліматом* – температура $\geq +20$ °С, вологість ≥ 80 %;

г) із *сухим тропічним* – середня максимальна температура $> +40$ °С.

У додатку до ГОСТу 15150-69 є перелік усіх країн із сухим і вологим тропічним кліматом.

Категорії розміщення машин поділяють на п'ять видів:

- «1» – експлуатація на відкритому повітрі;
- «2» – у приміщеннях, де коливання температури і вологості мало відрізняється від відкритого повітря (палатки, металеві гаражі, кузови);
- «3» – у закритих приміщеннях із природною вентиляцією без штучного регулювання кліматичних умов (кам'яні, бетонні та дерев'яні приміщення);
- «4» – у приміщеннях із штучним регулюванням клімату (закриті опалювальні приміщення з вентиляцією);
- «5» – у приміщеннях з підвищеною вологістю (шахти, підвали).

Умовні позначення в технічній документації:

насос ВВН 20/10 ПХЛ – 4 ; ПХЛ – 4 – позначення кліматичного виконання; ПХЛ – кліматичне виконання для районів із помірним і холодним кліматом; «4» – категорія розміщення – закрите опалювальне приміщення з вентиляцією.

10.6 Вплив умов експлуатації на технічний стан машин

На умови експлуатації машини впливають зовнішні та внутрішні чинники. До зовнішніх належать кліматичні умови, рівень технічного обслуговування та ремонту. До внутрішніх – конструктивні та технологічні чинники деталей, їх складових частин і складальних одиниць машини. Розглянемо зовнішні чинники.

Кліматичні умови. Це температура, вологість, забруднення повітря пилом, атмосферні опади, сонячна радіація, властивості ґрунту та ін.:

а) забруднення повітря пилом можливе у межах від $0,05 \text{ г/м}^3$ (легкі умови) до 1 г/м^3 і більше (складні умови). Пил потрапляє в мастило, при цьому збільшуються інтенсивність зношення поверхонь тертя;

б) при низьких (мінусових) температурах збільшується механічний опір та тертя і відповідно зношення. При збільшенні температури ($40 \text{ }^\circ\text{C}$ і вище) відбувається перегрівання робочих

рідин, зменшується в'язкість мастила і відповідно товщина змащувального шару, що призводить до збільшення тертя;

в) збільшення вологості повітря зумовлює збільшення корозії деталей машин;

г) сонячна радіація спричиняє хімічне руйнування матеріалів (гуми, пластмас, фарби та ін.);

г) хімічний склад ґрунту впливає на зношення ходових частин транспортних машин.

Рівень технічного обслуговування та ремонту.

Зовнішні чинники – це несвоєчасні регулювання з'єднань, заміни змащувальних матеріалів, заміни деталей та інше, що значно збільшують динамічні навантаження на складові машини. При цьому збільшуються зношення і вібрація, а ресурс зменшується в 2–3 рази. Аналогічний результат спостерігається і при неякісному виконанні ремонту.

До *внутрішніх чинників* відносять конструктивно-технологічні. Це такі, що впливають на умови експлуатації машин: рівень проектування машин і якість їх виготовлення. Від цих двох груп чинників в основному залежать показники надійності та ефективності роботи машин.

10.7 Техніка безпеки під час експлуатації

Розглянемо основні ***заходи безпеки***:

1 На місці експлуатації насосного агрегата необхідно розробити правила його безпечної експлуатації.

2 Вимоги правил охорони праці повинні передбачатися в проекті насосної станції, згідно з яким визначають розміщення обладнання і встановлюють проходи до агрегатів, вибирають освітлення, вентиляцію та ін.

3 Вмикання і вимикання насосних агрегатів повинно виконуватися з відома диспетчера або старшого зміни.

4 Якщо на агрегатах виконуються ремонтні роботи, необхідно вжити попереджувальних заходів щодо запобігання їх ввімкненню.

5 Джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів електронасосного обладнання є: незахищені рухомі елементи агрегата; підвищена і знижена температура поверхонь деталей насоса; підвищений рівень вібрації; небезпечний рівень напруги електричної мережі.

6 Стропування насосного агрегата необхідно проводити згідно із схемою креслення.

7 Під час експлуатації агрегат необхідно заземлити.

8 Під час роботи агрегата всі рухомі частини повинні бути огорожені.

9 Робота насосного агрегата без запірної арматури не допускається.

10 Під час проведення ремонтних робіт двигун повинен бути відімкнений від електричної мережі.

11 Під час роботи насоса необхідно регулярно контролювати витоки рідини через ущільнення. Якщо вони більші за норму, насосний агрегат необхідно зупинити і провести заміну набивки.

12 На робочих місцях у виробничих приміщеннях необхідно розробити заходи щодо зниження шуму і вібрації.

13 При нещасних випадках необхідно надати першу допомогу потерпілому, а потім повідомити особу, відповідальну за техніку безпеки.

14 У приміщенні насосної станції повинна бути аптечка з необхідними медикаментами для надання першої допомоги у разі нещасних випадків.

15 У приміщенні насосної станції повинні бути в робочому стані необхідні протипожежні засоби (ящик із піском, вогнегасник та ін.).

Контрольні питання до розділу 10

- 1 Комплекс яких заходів поєднує у собі технічна експлуатація насосних установок?
- 2 Які вимоги необхідно виконати для одержання паспортної продуктивності насосного обладнання?
- 3 Назвіть вимоги до приміщень, у яких знаходиться насосне обладнання.
- 4 Що є основною метою у роботі експлуатаційної служби насосної установки?
- 5 Хто здійснює керівництво експлуатаційною службою насосної станції?
- 6 Що входить до обов'язків відповідальної особи, яка керує експлуатацією насосної установки?
- 7 Назвіть основні вимоги до особи, яка обслуговує насосну установку.
- 8 Назвіть основні вимоги до експлуатації насосів.
- 9 Яким чином здійснюється обкатка машин?
- 10 Які встановлені види кліматичного виконання машин?
- 11 Яким чином кліматичні умови впливають на технічний стан машини під час експлуатації?
- 12 Які основні заходи безпеки під час експлуатації насосних агрегатів?

РОЗДІЛ 11

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ

11.1 Основні положення правил технічної експлуатації насосної станції

Порядок експлуатації насосних станцій встановлюють спеціальними правилами залежно від галузі народного господарства. Для комунальних систем, водопостачання і каналізації існують *«Правила технічної експлуатації водопроводів і каналізації»*, експлуатація насосних установок теплових електростанцій виконується відповідно до *«Правил технічної експлуатації електрообладнання»* та ін.

Технічна експлуатація насосних станцій повинна забезпечувати безперерйну та надійну роботу всіх агрегатів при високих техніко-економічних показниках.

Для цього необхідно забезпечити:

- 1) наявність висококваліфікованого технічного персоналу;
- 2) контроль і аналіз умов роботи обладнання;
- 3) організацію оптимальних режимів роботи насосних агрегатів;
- 4) максимальну автоматизацію виробничих процесів; виключення втрат води, невиробничих затрат електроенергії та мастильних матеріалів;
- 5) організацію своєчасного і високоякісного профілактичного огляду, планово-попереджувальних і капітальних ремонтів;
- 6) систематичну реєстрацію і вивчення причин порушень у роботі та аварій насосних агрегатів;
- 7) допуск до обслуговування насосних агрегатів осіб, які пройшли медичний огляд і мають свідоцтво машиніста з обслуговування насосних агрегатів з електроприводом;

8) заборону експлуатації насосних агрегатів при появі шуму, стуків, вібрації вала, підвищенні температури підшипників і обмоток двигуна вище припустимої;

9) експлуатацію вантажопідйомних механізмів відповідно до правил;

10) економічну витрату електроенергії при експлуатації насосів, їх оптимальний режим, не допускати роботу насосів із прикритими засувками.

11.2 Зношування обладнання насосних станцій

Наявність розвинених кавітаційних явищ у тих або інших елементах проточної частини насоса призводить до кавітаційного руйнування поверхні його деталей. Інтенсивність кавітаційної ерозії залежить від форми кавітації, ступеня її розвитку та тривалості роботи насоса у кавітаційному режимі. Наявність у воді, що перекачується насосом, твердих домішок викликає абразивне руйнування його робочих органів. Інтенсивність цього виду руйнування визначається концентрацією твердих домішок, їх гранулометричним та мінералогічним складом, формою частинок, матеріалом деталей насоса. При одночасній дії з кавітацією загальне зношування, як правило, збільшується.

Наслідки зношування насосів проявляються двома способами. По-перше, це погіршення енергетичних характеристик насосів (зниження напору та к. к. д.) та пов'язане з ним збільшення споживаної енергії. При цьому потрібно враховувати, що вартість електроенергії для насосних станцій досягає 90 % від загальних експлуатаційних витрат. По-друге, це значні витрати праці та матеріалів на ремонтні роботи з усунення наслідків зношування деталей проточної частини насосів.

Проведені дослідження та досвід експлуатації насосів різних типів дозволяють установити найбільш характерні елементи проточної частини насосів, що піддаються

кавітаційній ерозії, абразивному руйнуванню та спільному кавітаційно-абразивному зношуванню.

Робочим органом відцентрових насосів, що найбільше піддається зношуванню, є лопатеве колесо. На рисунку 2.4 *a* (див. розділ 2) наведені зони руйнування лопатей та зовнішнього диска робочого колеса відцентрового насоса консольного типу, викликані кавітаційною ерозією та абразивним впливом твердих домішок. На рисунку 2.4 *б, в* наведені зони руйнування елементів відцентрових насосів із робочими колесами відкритого типу та двостороннього входу.

Відводи відцентрових насосів піддаються лише абразивному зношуванню, при цьому максимальна інтенсивність зношування спостерігається у зоні розрахункового перерізу.

Характерні місця зношування робочих органів осьових насосів наведені на рис. 11.1. Найбільш сильному руйнуванню піддаються внутрішні поверхні камер робочих коліс. Унаслідок відриву потоку, що зумовлюється невідповідністю кута натікання потоку та кута встановлення лопатей, є можливим посилене руйнування лопаток випрямного апарата.

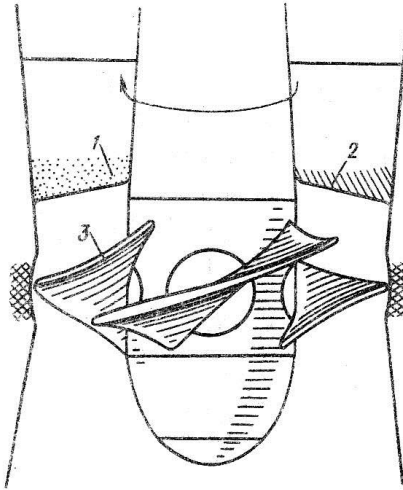


Рисунок 11.1 – Зони зношування робочих органів осьових насосів:

1 – область кавітаційної ерозії; 2 – область гідроабразивного зношування; 3 – область спільного кавітаційно-абразивного зношування

11.3 Насоси для гідросумішей

Насоси для гідросумішей розрізняють залежно від призначення, виду перекачуваної рідини та умов експлуатації: землесоси, ґрунтові, піскові, шламові, пульпові та ін. Назва насоса в основному визначає й область його застосування. З усієї групи відцентрових насосів для гідросумішей найбільш широко використовуються ґрунтові насоси (рис. 11.2).

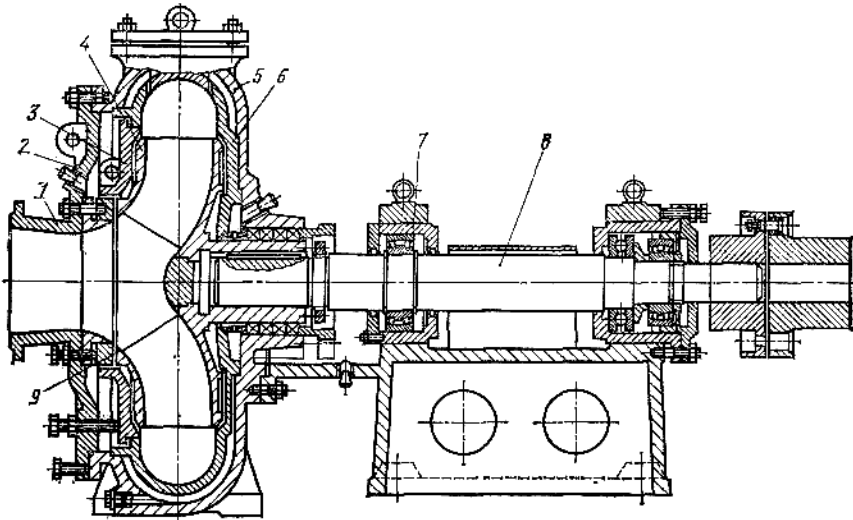


Рисунок 11.2 – Типова конструкція ґрунтових насосів:

1 – усмоктувальний патрубок; 2 – кришка; 3 – бронедиск із боку входу; 4 – робоче колесо; 5 – зовнішній корпус; 6 – внутрішній корпус; 7 – опорний вузол; 8 – ротор; 9 – ущільнювальне кільце

Ґрунтові насоси застосовують на підприємствах кольорової та чорної металургії (від видалення відходів збагачування руди до гідротранспорту всередині підприємства). Ґрунтові насоси перекачують різні мінерали, вугілля, породи. Їх використовують при наливних роботах, у гідротехнічному будівництві, на силікатних заводах тощо.

Шламові насоси використовують для перекачування різних гідросумішей, що містять відносно малі тверді частинки в цементній та вугільній промисловостях, чорній металургії, теплоенергетиці та ін.

Шлами менш абразивні, ніж піщано-гравійні суміші. Тому шламові насоси мають менші прохідні перерізи, ніж ґрунтові.

Велику групу насосів для абразивних гідросумішей складають відцентрові *піскові насоси* консольного типу з боковим усмоктувальним підводом. Ці насоси широко використовують у глиноземному виробництві, збагаченні руд тощо.

Останнім часом при розробленні корисних копалин і виконанні гідромеліоративних робіт застосовують землесоси – ґрунтові насоси, занурені під рівень води. При використанні занурюваних насосів внаслідок підпору води збільшується їх усмоктувальна здатність.

Основним експлуатаційним недоліком усіх насосів є низький термін придатності деталей проточної частини внаслідок гідроабразивного зношування.

Основною особливістю експлуатації насосів для абразивних гідросумішей є те, що вони перекачують неоднорідні рідини – гідросуміші (здебільшого це суміші твердих матеріалів із водою). Гідросуміші залежно від технології виробництва мають різну назву: суміш води з рудою, концентратами і хвостами збагачувальних фабрик називають пульпою; суміш глини з водою називають глиняними розчинами, аналогічно крейдяний, вапняний, цементний розчини.

Тверді фракції у складі гідросумішей мають різні розміри (від часток мм до сотень мм), різні фізико-хімічні властивості: твердість, абразивність, густину та ін. Окремо необхідно відмітити особливу групу гідросумішей – суспензії, в яких тверді фракції мають розмір мікрона. Суспензії мають властивості неньютонівських рідин, що впливає на робочий процес насоса.

Загальна особливість усіх цих насосів - це специфічні властивості перекачуваної рідини (абразивність і тверді включення). Перекачуючи такі рідини, насоси перебувають під руйнівною дією твердих частинок, що рухаються в потоці. Це призводить до інтенсивного зношення. Аналіз витрат на експлуатацію цих насосів показав, що основна їх частина пов'язана із заміною зношених деталей. Експлуатаційні витрати

внаслідок зношування деталей насосів складаються з вартості запасних запчастин, витрат на демонтаж насоса і витрат, пов'язаних із невикористаними простоями обладнання за відсутності резервних насосів (наприклад, землесосів).

Простої обладнання, додаткові затрати на складання і розбирання насосів пов'язані в основному із забиванням каналів твердими включеннями. Таким чином, при оцінюванні експлуатаційних якостей цих насосів першоступеневе значення мають такі показники, як надійність, зносостійкість, розміри прохідних перерізів. К. к. д., який у насосах для чистої води є одним із основних показників, у насосах для абразивних гідросумішей має менш важливе значення.

Насоси повинні пропускати тверді включення розміром до $(0,5-0,7) d_{вх}$. Це вимагає збільшення прохідних перерізів (каналів) підводу, робочого колеса, відводу і призводить до перерозширення проточної частини і, як наслідок, до зниження к. к. д. і всмоктувальної здатності насосів для абразивних гідросумішей. Тому к. к. д. і кавітаційні якості цих насосів нижчі, ніж у звичайних лопатевих насосів аналогічних розмірів.

У процесі роботи насоса відбувається поступове зношування деталей, внаслідок чого змінюються його характеристики.

Зношування різних елементів проточної частини насоса по-різному впливає на зміну характеристик насоса.

Під час роботи на гідросумішах із малими твердими домішками найбільш швидко зношуються щілинні ущільнення, розміщені з боку входу в робоче колесо, та робочі поверхні лопаті, особливо її вихідні ділянки. Зміна характеристик насоса у цьому випадку обумовлена перш за все зношуванням щілинного ущільнення. Із зростанням зношування цього ущільнення збільшується зазор, а отже, і витікання. Це означає, що при одних і тих самих значеннях напору та потужності подача насоса знижується на величину додаткових витікань. Витрата рідини через колесо при цьому не змінюється. Отже, із зростанням зношування ущільнення та збільшення витікань характеристики насоса зміщуються у бік менших подач (див.

рис. 11.3), тобто під час роботи на одну і ту саму мережу напір насоса знижується, а потужність зростає.

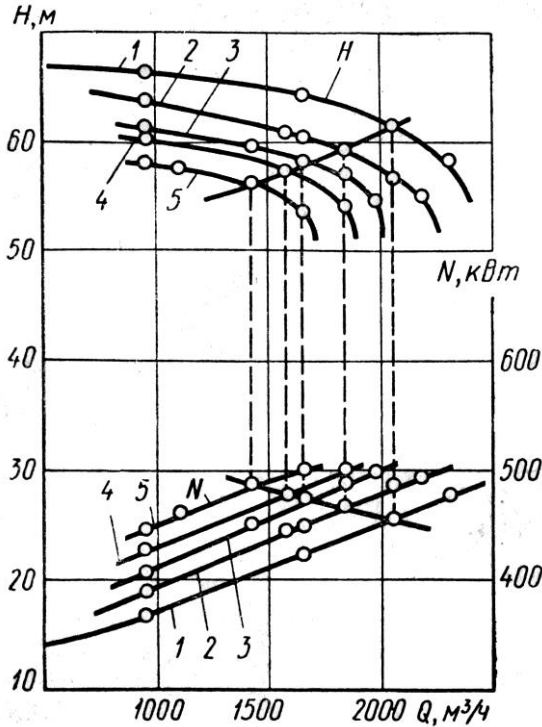


Рисунок 11.3 – Характеристика насоса:

1 – нового; 2, 3, 4, 5 – зі зношеними ущільненнями

Зношування робочих поверхонь лопатей, особливо у вихідній частині, впливає так. У початковий період експлуатації зношування призводить до деякої зміни кута виходу, що мало відображається на зміні характеристик. У подальшому із зростанням зношування вихідних ділянок лопаті зменшується діаметр робочого колеса, у результаті чого знижується напір та потужність. При великих кутах виходу лопатей зношування вихідних ділянок колеса, як було зазначено вище, відбувається досить інтенсивно, і вплив їх зношування на характеристики може виявитися більш істотним, ніж вплив зношування зазорів. Проте в сучасних конструкціях насосів для абразивних

гідросумішей кути виходу лопатей не перевищують, як правило, 20–22°, що різко знижує зношування вихідних кромок та вплив його на зміну характеристик. Таким чином, під час роботи насосів на гідросумішах із малими твердими домішками головний вплив на характеристики спричиняє зношування ущільнень.

Під час роботи на гідросумішах із великими твердими домішками найбільш інтенсивному зношуванню піддаються вхідні ділянки лопаті, при практичній відсутності зношування інших ділянок робочого колеса та ущільнень. Зношування вхідних елементів лопаті відображається у погіршенні всмоктувальної здатності та зниженні напору і мало впливає на потужність. При зношуванні вхідних ділянок лопаті вхідна кромка зміщується на більші діаметри, що призводить до зниження допустимої висоти всмоктування. Одночасно погіршуються умови обтікання лопатей, у результаті чого, крім погіршення кавітаційних якостей, виникають додаткові гідравлічні втрати у каналах колеса, останнє призводить до зниження напору.

Відводи насосів для гідросумішей зношуються менш інтенсивно, ніж робочі колеса, тому вплив їх зношування на характеристики машини менш помітний. Ураховуючи, що насамперед зношуються стінки відводу у зоні розрахункового перерізу, тобто дещо збільшуються розміри перерізу, у процесі експлуатації робоча точка може зсуватися у зону більших подач.

11.4 Експлуатація хімічних відцентрових насосів

Насоси, що застосовують для перекачування агресивних, токсичних і вибухових рідин, називаються хімічними. Основними вимогами до насосів є надійність їх конструкції, корозійна стійкість, герметичність, довговічність, простота обслуговування, мінімальна трудомісткість ремонтних робіт та їх безпека.

У хімічній промисловості використовують різні типи насосів: відцентрові, вихрові, об'ємні (поршневі, шестеренні,

гвинтові) та ін. Найбільшу групу складають відцентрові насоси. Зупинимося на їх властивостях.

Насоси типу X призначені для перекачування хімічно активних і нейтральних рідин (рис. 11.4). Це насоси з витратою рідини до 500 м³/год і напором до 240 м, з ущільненнями у вигляді м'якої сальникової набивки або торцевим. Ущільнення є взаємозамінними.

Насоси бувають горизонтальні і вертикальні, одно- і двоступінчасті, з приводом від електродвигуна через пружну муфту. На замовлення насоси поставляють у вибухо- і пожежебезпечному виконанні. Ці насоси мають меншу масу і впродовж декількох років не зазнають корозії, легко демонтуються.

При виготовленні хімічних насосів широко використовують пластичні маси, металокераміку і матеріали порошкової металургії. Деталі хімічних насосів, які перекачують кислоти, луги, агресивні та вибухонебезпечні рідини, виготовляють із різних *легованих* і *високолегованих* сталей, чавуну, бронзи і кольорових матеріалів. Це сталі: X28, X34, X18N9T та ін. При перекачуванні хлоридів, азотної кислоти використовують титан і сплави на його основі. При виготовленні хімічних насосів застосовують і пластмаси. Серед пластмас найширше використовують склопластик АГ-4 і його модифікації (з них виготовляють робочі колеса, кришки, фланці та підшипники). **Склопластик** використовують замість нержавіючої сталі, міді, нікелю та інших матеріалів. До недоліків склопластику відносять його високу вартість і розтріскування під навантаженням. Крім того, використовують й інші пластмаси на основі епоксидних і поліуретанових смол.

У хімічних насосах застосовують контактні ущільнення вала – *сальникові і торцеві*.

Сальникові ущільнення застосовують при перекачуванні нетоксичних, вибухонебезпечних рідин при порівняно низькому тиску. Але сальники працюють при деяких обов'язкових витіканнях рідини. Їх необхідно систематично підтягувати, що

ускладнює автоматизацію технологічних процесів і в деяких випадках не забезпечує необхідної надійності.

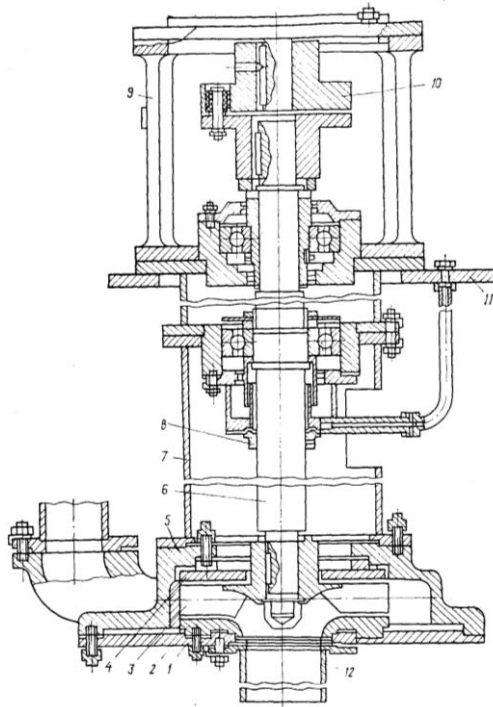


Рисунок 11.4 – Хімічний насос:

1 – кришка; 2 – нижній диск; 3 – робоче колесо; 4 – верхній диск; 5 – корпус; 6 – вал; 7 – корпус підшипника; 8 – відбійник рідини; 9 – опорна стійка; 10 – муфта; 11 – опорна плита; 12 – усмоктувальна труба

Торцеві ущільнення не потребують обслуговування і практично не мають витікань рідини. Ці ущільнення працюють в умовах агресивних і абразивних середовищ при тисках до 45 МПа, температурі від -200 до $+450$ °С, швидкості ковзання у парі тертя до 100 м/с.

Для ущільнень, що працюють на рідинах із твердими включеннями, подають чисту рідину (воду). Для підвищення довговічності пари тертя застосовують такі матеріали: графіт, графітофторопласт, кераміку, флубон та ін.

Розглянемо вплив властивостей рідини на вибір насоса. За хімічними властивостями перекачувані рідини можна поділити на нейтральні, корозійноактивні, горючі, отруйні та радіоактивні. Вибір матеріалу насоса обумовлюється хімічним складом рідини, її концентрацією і РН рідини.

Рідини можуть містити газові і тверді включення, що ускладнюють процес перекачування. Більшість насосів не можуть перекачувати рідини, що містять 5 % і більше газів. У деяких випадках частинки рідини можуть утворювати комки, відкладення, кристали та ін. Тому при виборі насоса, необхідно обов'язково проаналізувати властивості перекачуваної рідини.

Несамовсмоктувальні лопатеві насоси перед першим пуском необхідно залити рідиною. Можлива схема заливання з приймальним клапаном і повітряним краном у верхній частині корпусу наведена на рис. 11.5.

Ця схема застосовується рідко з таких причин:

- 1) не забезпечується надійна робота клапана при перекачуванні в'язких і забруднених рідин;
- 2) необхідно мати клапани з корозійностійких матеріалів;
- 3) приймальний клапан чинить великий опір рідині у всмоктувальній лінії, що зменшує висоту всмоктування.

Частіше застосовується схема з **уловлювачем** (рис. 11.6). Уловлювач на хімічних підприємствах є необхідним пристроєм кожного насоса.

Уловлювач – це вертикальний циліндричний стакан об'ємом 50–70 л із патрубками входу і виходу рідини і з внутрішнім перфорованим стаканом. Рідина потрапляє у стакан, проходить через отвори (при цьому відокремлюються домішки) і потім надходить до всмоктувального трубопроводу. Уловлювач запобігає забиванню насоса різними домішками, папером, ганчірками, трісками та ін. Його встановлюють перед

насосом. Оскільки вхідний штуцер уловлювача розміщений у верхній його частині, то після зупинення насоса більша частина уловлювача залита рідиною. При пуску насоса рідина відкачується із уловлювача, тиск у ньому зменшується і рідина з резервуара підіймається по всмоктувальному трубопроводу спочатку в уловлювач і далі в насос. Об'єм уловлювача повинен бути не меншим ніж 1,25–1,5 від об'єму всмоктувального трубопроводу.

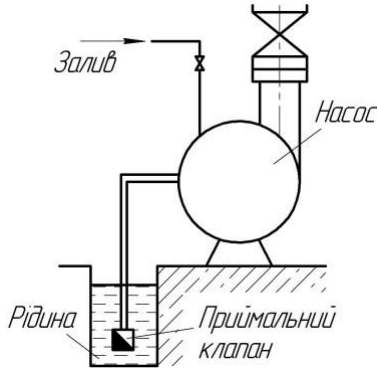


Рисунок 11.5 – Схема заливання насоса з приймальним клапаном

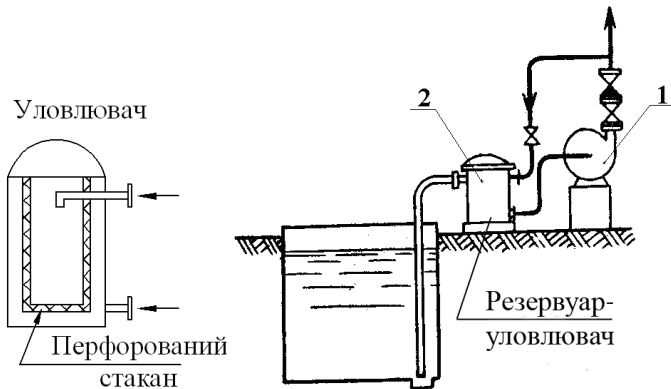


Рисунок 11.6 – Схема заливання з уловлювачем

Під час експлуатації хімічних насосів необхідно забезпечити постійний догляд і контроль за їх роботою. Дуже важливим є виконання інструкції заводу-виробника.

У перші 3 000 годин, як правило, необхідно проводити лише контроль і догляд за насосом. При цьому контролюють тиск на вході в насос, температуру рідини, рівень мастила в картері і підшипниках, температуру підшипників (нормальна – 45–60 °С, можлива – 80 °С). Крім того, необхідно стежити за роботою сальникового ущільнення, перевіряти вібрацію підшипників, постійно контролювати підведення і відведення рідини для прогрівання насосів, що обігріваються.

Під час експлуатації хімічних насосів необхідно пам'ятати про такі ознаки:

1 Засмічення всмоктувального трубопроводу, захисної сітки або робочого колеса приводить до зменшення напору і розриву суцільності потоку.

2 Підвищення максимальної геометричної висоти всмоктування може привести до розриву суцільності потоку і кавітації.

3 Збільшення температури рідини, що перекачується під час експлуатації, знижує максимальну висоту всмоктування $h_{вс}$, оскільки з підвищенням температури збільшується тиск насиченої пари $P_{н.п}$.

4 При високих значеннях $P_{н.п}$ необхідно передбачити підпір тиску на вході в насос.

5 Якщо відсутня можливість прокладання довгого трубопроводу, всмоктувальний трубопровід необхідно прокладати з постійним нахилом у бік насоса, щоб запобігти появі повітряних мішків.

6 Повітря або газ, що містяться в рідині, необхідно видалити за допомогою деаератора або вакуумного насоса.

7 При напорах, вищих ніж 10–15 м, необхідно встановлювати зворотний клапан.

8 Сальникову набивку необхідно замінювати через 2 000 год роботи. Сильне підтягування сальника приводить до сухого тертя і згоряння сальникової набивки.

9 Для нормальної роботи торцевого ущільнення необхідно забезпечити усталену роботу вала насоса.

10 Неякісне центрування насоса і двигуна приводить до підвищеного зношення сальників і підшипників.

Додаткові вимоги до обслуговуючого персоналу під час експлуатації хімічних насосів:

1 Оператори повинні бути додатково проінструктовані з техніки безпеки залежно від ступеня агресивності перекачуваного середовища.

2 Під час зливання з цистерн і резервуарів сірчаної і соляної кислот категорично забороняється перекачувати кислоту через нижні крани. Для перекачування кислоти із заглиблених резервуарів необхідно користуватися вакуум-насосом.

3 Кислотопроводи повинні бути розміщені у доступних місцях. Якщо вони прокладені горизонтально, під ними підвішують навіси, якщо вертикально – щитки для захисту обслуговуючого персоналу від розбризкування кислоти.

4 Категорично забороняється:

- виконувати роботи з кислотою без спецодягу;
- заливати воду в посудини з кислотою, тому що вода в кислоті викликає бурхливе кипіння і розбризкування.

Контрольні питання до розділу 11

- 1 Назвіть основні положення правил технічної експлуатації насосної станції.
- 2 Яким чином проявляються наслідки зношування насосів?
- 3 Назвіть основні зони зношування робочих органів відцентрових насосів.
- 4 Назвіть основні зони зношування робочих органів осьових насосів.
- 5 Назвіть основні експлуатаційні недоліки ґрунтових насосів.
- 6 Основні заходи щодо зменшення зношування деталей ґрунтових насосів.
- 7 Яким чином зношування ущільнень впливають на характеристику насоса?
- 8 Яким чином наявність абразивних частинок впливає на зношування робочих органів насоса?
- 9 У чому полягають особливості експлуатації хімічних насосів?
- 10 Які існують схеми заливання для хімічних насосів?
- 11 Які висуваються додаткові вимоги для персоналу під час обслуговування хімічних насосів?

РОЗДІЛ 12 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІДРОПРИВОДІВ

12.1 Технічне обслуговування гідроприводів

Гідроприводи є складовими частинами різних машин та технологічного обладнання, що експлуатуються відповідно до нормативної документації й прийнятої системи технічного обслуговування та ремонтів. Для того щоб технічне обслуговування проводилося кваліфіковано, необхідно знати будову та принцип дії привода, вміти читати гідравлічні схеми, аналізувати функціонування привода та його елементів, і на основі аналізу встановлювати та усувати різні несправності.

Незалежно від призначення та місця встановлення привода перед його запуском необхідно виконати такі операції: перевірити рівень рідини у гідробаках та за необхідності долити її, перевірити кріплення всіх агрегатів та елементів шляхом зовнішнього огляду, переконатись у відсутності витікання рідини у гідросистемі, перевірити роботу всіх гідромашин на холостому ході та наявність тиску в зливній магістралі.

У кінці робочої зміни необхідно очистити штоки гідроциліндрів від пилу, бруду і льоду та втягнути їх всередину циліндра, встановити в нейтральне положення важелі керування, оглянути гідросистему та підтягнути з'єднання у місцях підтікання рідини.

Технічне обслуговування гідропривода передбачає обслуговування гідробаків, гідроліній, насосів та гідродвигунів, гідроапаратури та робочої рідини.

Основне завдання обслуговування гідробаків – виключення потрапляння всередину бака пилу, атмосферних осадів та інших сторонніх тіл. Для цього гідробак повинен бути закритим кришкою з прокладками для герметизації.

Відповідно до нормативно-технічної документації повинна проводитися заміна робочої рідини. Перед зливанням робочої рідини необхідно протягом кількох хвилин увімкнути та вимкнути гідродвигуни для того, щоб привести забруднювальні

частинки у підвішений стан. Для заправлення гідробаків застосовуються лише штатні засоби. Під час експлуатації гідропривода, особливо у літній час, необхідно стежити за температурою рідини, що не повинна бути вищою ніж 80 °С.

Обслуговування гідроліній полягає у їх зовнішньому огляді, підтягуванні деталей, з'єднань та усуненні витікання рідини. При зовнішньому огляді переконуються також у відсутності на поверхні трубопроводів ризик, задирок, ум'ятин та інших механічних пошкоджень. Не допускається скручування та защемлення гумових шлангів. У мобільних машинах необхідно огорожувати трубопроводи, щоб вони не чіплялися за оточуючі предмети. Під час експлуатації гідропривода необхідно виключити виникнення у гідросистемі пікових тисків.

Необхідно регулярно здійснювати промивання гідроліній при заміні робочої рідини або після роботи насосів упродовж певного часу виконувати заміну фільтрів.

Обслуговування насосів полягає у підтриманні таких режимів та умов, які забезпечували б їх необхідні характеристики. З цією метою під час експлуатації не допускається перевищення тиску в напірній магістралі понад допустимий для цього насоса, перевищення температури рідини понад допустиму, робота при кавітаційних режимах та на забруднених рідинах. При першому запуску насоса необхідно спочатку послабити пружину напірного клапана, вручну перевірити вал насоса на декілька обертів, запустити двигун та переконатись у правильності напрямку обертання вала насоса. Починати роботу необхідно при низькому тиску, і, переконавшись у справності гідросистеми, налаштувати клапан на робочий тиск.

Під час роботи гідропривода стежать за плавністю обертання вала, відсутністю сторонніх шумів та витікання рідини крізь ущільнення, періодично перевіряють тиск у зливній лінії, а при тиску, вищому від допустимого, виконують заміну фільтрів. При всіх несправностях у насосі необхідно вимкнути його привід, від'єднати насос, злити рідину та встановити причини несправностей.

Обслуговування гідродвигунів полягає у регулярному зовнішньому огляді. При цьому звертають увагу на те, щоб штоки не мали забоїн та подряпин, на справність ущільнень, а за наявності несправностей своєчасно їх замінюють. Під час експлуатації у кінці роботи необхідно очищувати штоки від бруду, пилу, снігу та льоду, своєчасно підтягувати кріплення. У машинах, що працюють в умовах запиленого повітря, на штоки доцільно надягати захисні кожухи, що також захищають їх від механічних пошкоджень.

При довгій перерві у роботі гідроциліндри заповнюють рідиною для запобігання корозії.

Під час обслуговування гідродвигунів необхідно звертати увагу на плавність обертання вала, стан ущільнень та відсутність витоків і сторонніх шумів, на співвісність вала гідродвигуна та робочого органа, приєднаного до нього.

При першому запуску гідродвигуна потрібно переконатись у правильності приєднання до нього напірних, зливних та дренажних гідроліній.

Обслуговування гідроліній полягає у зовнішньому огляді та усуненні витоків рідини шляхом підтягування кріплень та заміни ущільнень.

Ущільнення замінюють за необхідності, й лише ті, що рекомендовані інструкціями.

Оператор, який обслуговує гідропривід, повинен знати робочий та максимальний тиски й під час експлуатації постійно стежити за показаннями манометрів.

Клапани та реле тиску регулюють за манометрами, розрахованими на тиск, що на 30–50 % перевищує максимальний тиск у гідросистемі. Для запобігання виходу з ладу манометрів їх необхідно під'єднувати через демпфувальні пристрої, запірні крани та вентилі.

Клапани регулюють лише при налагоджуванні гідросистем після виробництва або ремонту, по можливості уникаючи виконання цієї операції у процесі експлуатації. Коли тиск у гідросистемі перевищить установлене значення, вимикають привід насоса для з'ясування причин та усунення

несправностей. Якщо під час дросельного керування витрата рідини при фіксованому положенні дроселя зменшується, то це свідчить про засмічення його прохідних перерізів. Для усунення несправності необхідно декілька разів повністю відкрити та закрити дросель. Якщо засмічення не усувається, необхідно прочистити дросель.

Обслуговування фільтрів передбачає видалення відстою з корпусу, промивання фільтрувальних елементів (пластин, сіток, магнітів тощо) або заміну їх новими. Фільтрувальні елементи промивають чистим гасом або бензином із подальшим продуванням сухим повітрям. Паперові, картонні та тканинні фільтрувальні елементи при засміченні замінюють новими.

12.2 Технічне обслуговування робочих рідин

Робоча рідина у приводі передає енергію від джерела (насос, насосна станція) до споживача (гідродвигун, гідроциліндр), є змащувальним та протикорозійним середовищем, видаляє продукти зношення тертя, охолоджує гідросистему та виконує інші функції. Тому від її якості істотно залежить працездатність усіх агрегатів та елементів привода.

Вибір робочої рідини для гідропривода визначається діапазоном робочих температур, тиском у гідросистемі, швидкостями руху вихідних ланок гідродвигуна, конструкційними матеріалами та матеріалами ущільнень, особливістю експлуатації привода (кліматична зона, умови зберігання під час перерв у роботі, можливості заміни тощо). При цьому передусім ураховують умови роботи насосів.

Основні вихідні параметри для визначення типу робочої рідини:

- діапазон температур довкілля та характер змін температур у цьому діапазоні;
- максимальна можлива температура в сталому режимі роботи;
- тиск робочої рідини в гідроприводі;

- гранична тривалість експлуатації гідравлічної системи без заміни мастила;
- трудомісткість заміни мастила;
- властивість матеріалів, що застосовуються, зокрема в ущільненнях;
- вартість робочої рідини.

Мінімальну в'язкість робочої рідини, що відповідає максимальній температурі, встановлюють за допустимим зниженням об'ємного к. к. д. та за міцністю плівки рідини. Максимальну в'язкість, що відповідає мінімальній температурі, встановлюють за працездатністю насосів, що характеризується заповненням їх робочих об'ємів або лімітом прокачування рідини.

Робочий тиск у гідросистемі та швидкість руху вихідної ланки гідродвигуна також впливають на вибір робочої рідини. Рухомі деталі багатьох гідроагрегатів виготовляють без внутрішніх ущільнень, а їх герметичність забезпечується завдяки малим зазорам. Витоки робочої рідини у зазорах зростають із підвищенням тиску та зниженням в'язкості рідини. Вони знижують к. к. д. привода та збільшують нерівномірність руху вихідних ланок.

На сьогодні у гідроприводах застосовують різноманітні робочі рідини: на нафтовій основі (мінеральні оливи) з присадками для покращання фізичних властивостей (протиокиснювальні, в'язкісні, протизношувальні, протикорозійні тощо).

У гідроприводах, що працюють у пожежонебезпечних умовах, застосовують водомісткі рідини (водомасляні емульсії), які є сумішшю води та мінерального масла у співвідношеннях 100 : 1, 50 : 1. Як правило, для цього використовують емульсії, що складаються з 85 % мінерального масла І-20, 12 % олеїнової кислоти та 3 % розчину їдкого натру.

Для приводів, що працюють за високих температур, застосовують синтетичні рідини – рідини на кремнійорганічній основі (силікони). Вони негорючі, стійкі до окиснення, мають стабільну в'язкість у великому діапазоні температур, проте

мають й істотні недоліки: несумісність із матеріалами ущільнень, високу текучість, токсичність тощо.

Під час експлуатації робочої рідини необхідно створювати такі умови, за яких вона якомога довше зберігала б первинні фізичні властивості. Для цього необхідно таке:

- не допускати змішування робочої рідини з водою та технологічними рідинами;
- стежити, щоб до рідини не потрапляли пил, стружка та інші механічні домішки, для цього перед заправленням необхідно рідину фільтрувати;
- тримати рідину в щільно закритій тарі, не змішувати в одній тарі свіжу рідину та ту, що була в експлуатації;
- виконувати рекомендації заводу-постачальника щодо режимів роботи гідропривода.

Старіння робочих рідин – наслідок дії на робочу рідину ряду причин фізичного, хімічного й механічного характеру. До фізичних причин насамперед можна віднести проникнення в робочу рідину забруднень у твердому, рідинному і газоподібному станах, зміну кількісного складу присадок за рахунок їх деструкції та утворення на контактуючих поверхнях сорбційних плівок. Зміни хімічного характеру – це окиснення вуглеводнів базового масла та розкладання останнього під дією різних забруднень (особливо води та продуктів зношення, що виконують функцію каталізатора) й розкладання присадок до масла під дією тих самих забруднень. Каталізують процес частки забруднень, метал, фарба, пил тощо.

Із розчиненням у робочій рідині повітря, а ще гірше з появою пухирців повітря, прогресивно пришвидшується старіння робочих рідин. У першому випадку рідина, що потрапляє в лінію зниженого тиску, наприклад магістраль усмоктування, де є вакуум, виділяє повітря у вигляді пухирців. У другому випадку джерелом появи пухирців є негерметичність трубопроводів у всмоктувальних лініях, кавітаційні процеси в них, відсутність пробок, які випускають повітря при заповненні, та доливання робочої рідини або повітря, що залишилося в системі.

12.3 Основні причини несправностей агрегатів гідроприводів

Гідронасоси. Основним вузлом, що визначає працездатність насоса, є поршневий вузол. Його стан можна оцінити значенням зазорів у циліндро-поршневій групі та у шарнірних з'єднаннях, що утворюються внаслідок зношування. Найбільш інтенсивно зношування, особливо у парах із малими зазорами (в нових насосах), відбувається у початковий період роботи, що пояснюється наявністю у цей період у робочій рідині різних твердих домішок.

Зношування, а отже, і збільшення зазорів у поршневих парах насосів призводить до збільшення внутрішніх витоків та зниження к. к. д.

Крім зниження к. к. д., для насосів є характерними втрата герметичності ущільнень, зношення шліцьових з'єднань, збільшення люфтів та руйнування підшипників, перегрівання корпусів та руйнування конструктивних елементів унаслідок вібрації.

Розподільні пристрої. Основна частина відмов розподільних пристроїв відбувається внаслідок втрати герметичності. Втрата внутрішньої герметичності пов'язана зі зношуванням, а зовнішньої – зі старінням або руйнуванням гумових ущільнень унаслідок температурних деформацій та вібрації.

Істотно впливає на працездатність розподільних пристроїв забруднення робочої рідини. Підвищення забрудненості рідини збільшує зусилля, необхідне для переміщення регульовальних елементів, та призводить до заїдання золотникових пар. Потрапляння забруднювальних частинок у зазори золотникових пар або під сідла клапанів призводить до різкого збільшення внутрішніх витоків.

Гідродвигуни (гідроциліндри). Зниження працездатності гідродвигунів відбувається здебільшого внаслідок зовнішньої негерметичності ущільнювальних пристроїв штоків та збільшення зазорів в опорах та кінематичних парах.

Зазори в опорах та кінематичних парах, внутрішня негерметичність між порожнинами гідроциліндра впливають на усталеність роботи привода, несиметричність швидкісної характеристики та статичну і динамічну жорсткість.

Трубопроводи. Трубопроводи піддаються різним статичним та динамічним навантаженням, пульсаціям тиску, температурним деформаціям та вібраціям. Усе це разом призводить до їх руйнувань.

Ущільнювальні пристрої. У процесі експлуатації відбувається релаксація гумових ущільнень – поступове зменшення напружень при постійній деформації, різке погіршення пружних властивостей, втрата формовідновлення та погіршення фізико-хімічних властивостей під дією температури. На працездатність ущільнень впливає склад робочої рідини. Ущільнення набухає внаслідок просочення його рідиною або в результаті хімічної взаємодії, а також відбувається його усадка внаслідок вимивання пластифікатора.

Контрольні питання до розділу 12

1 Назвіть основні проблеми, що виникають під час експлуатації гідроприводів і впливають на їх надійність.

2 Як впливає рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу на надійність обладнання гідросистем при його експлуатації?

3 Назвіть основні фактори, що впливають на довговічність роботи гідравлічних систем.

4 Вплив робочої рідини на надійність роботи гідравлічних систем.

5 Критерії вибору робочої рідини в системах гідропривода.

6 У чому полягає важливість технічного обслуговування в підвищенні надійності роботи гідропривода?

Список літератури

1. Канарчук В. Є. Надійність машин : підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. – Київ : Либідь, 2003. – 424 с.
2. Надійність гідромашин і гідроприводів : конспект лекцій / укладач В. Ф. Герман. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 84 с.
3. Конспект лекцій по курсу «Надежность и эксплуатация гидро- и пневмомашин» / составитель В. Ф. Герман. – Суми : Изд-во СумГУ, 2005. – 64 с.
4. Монтаж, експлуатація та ремонт гідромашин і гідропневмоприводів : навч. посіб. / В. О. Панченко, О. Г. Гусак, А. А. Папченко, С. О. Хованський. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 151 с.
5. Експлуатація та обслуговування машин : конспект лекцій / укладач В. Ф. Герман. – Суми : Вид-во СумДУ, 2009. – 98 с.
6. Сырицын Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов : учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / Т. А. Сырицын. – Москва : Машиностроение, 1990. – 248 с.
7. Колев К. С. Надежность, ремонт и монтаж технологического оборудования заводов цветной металлургии / К. С. Колев, А. В. Ягулов, А. С. Выскребенец. – Москва : Металлургия, 1984. – 224 с.
8. Финкельштейн З. Л. Эксплуатация гидравлического оборудования : учебное пособие / З. Л. Финкельштейн. – Алчевск : ДонГТУ, 2008. – 123 с.
9. Малюшенко В. В. Насосное оборудование тепловых электростанций / В. В. Малюшенко, А. К. Михайлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергия, 1975. – 280 с.
10. Малюшенко В. В. Энергетические насосы : справочное пособие / В. В. Малюшенко, А. К. Михайлов. – Москва : Энерго-издат, 1981. – 200 с.

11. Карелин В. Я. Насосы и насосные станции : учебник для вузов / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1986. – 320 с.

12. Животовский Л. С. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы / Л. С. Животовский, Л. А. Смойловская. – Москва : Машиностроение, 1986. – 224 с.

13. Методичні вказівки до виконання домашнього завдання «Розрахунок показників надійності невідновлюваних виробів з курсу «Експлуатація та обслуговування машин» / укладач В. Ф. Герман. – Суми : Вид-во СумДУ, 2003. – 19 с.

14. Повышение эффективности работы центробежных насосов, находящихся в эксплуатации [Электронный ресурс] / А. В. Волков, А. Г. Парыгин, Г. П. Хованов, А. В. Наумов – Режим доступа :

http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2803.

15. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи з курсу «Надійність гідромашин і гідроприводів» для студ. спец. 7.05050205 «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика» усіх форм навчання / укладач В. Ф. Герман. – Суми : СумДУ, 2015. – 23 с.

Навчальне видання

**Герман Віктор Федорович,
Панченко Віталій Олександрович,
Гусак Олександр Григорович,
Папченко Андрій Анатолійович**

НАДІЙНІСТЬ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ГІДРОМАШИН І ГІДРОПРИВОДІВ

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки В. О. Панченка
Редактори: Н. З. Клочко, Н. В. Лисогуб, С. М. Симоненко
Комп'ютерне верстання В. О. Панченка

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 10,23. Обл.-вид. арк. 8,03 . Тираж 300 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.