

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Експлуатаційна надійність технологічних систем паливозабезпечення»
вибіркових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти

**272 Авіаційний транспорт
Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

**за темою № 3 - Система показників надійності машин та обладнання,
розрахунок надійності на стадії проектування**

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник:

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, викладач-спеціаліст Самохліб Олександр Олександрович

Рецензенти:

- 1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.*
- 2. Викладач циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.*

План лекції

1. Поняття надійності.
2. Показники надійності.
3. Показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та ін.
4. Визначення показників надійності систем.
5. Метод структурних схем надійності.
6. Порядок розрахунку системи на надійність.
7. Визначення оптимальної надійності машин.

Рекомендована література

Основна:

1. Надійність гідромашин і гідроприводів : конспект лекцій / укладач В. Ф. Герман. Суми : Сумський державний університет, 2014. 84 с.

Допоміжна:

2. ДСТУ 2861-94 Основні положення аналізу надійності.
3. ДСТУ 2862-94 Методи розрахунку показників надійності.
4. ДСТУ 3433-96 Моделі відмов.
5. Нечипоренко О. М. Основи надійності літальних апаратів: навч. посіб. К.:НТУУ «КПІ», 2010. 240 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. https://library.kr.ua/wpcontent/elib/chabannyi/Chabannyi_Pal_mast_Mater_kn1.pdf
2. https://lad.vnau.com.ua/storage/metod_vkazivkb.pdf

Текст лекції

1. Поняття надійності

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

Надійність, стисло, – 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. 1).

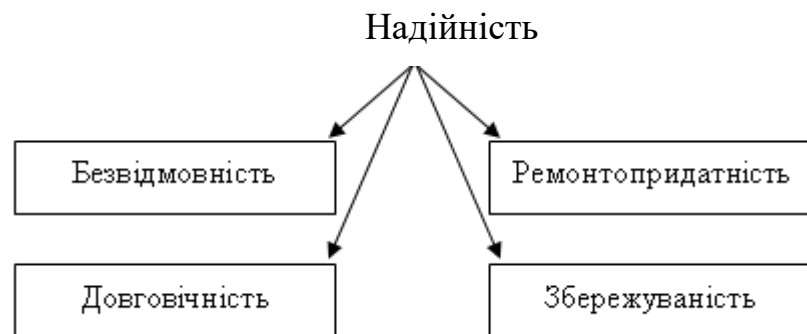


Рис. 1 – Складові надійності

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

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

В основному безвідмовність розглядають стосовно використання машини за призначенням.

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

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

Кількісно ремонтпридатність визначають затратами часу, праці та засобів. До найпростіших властивостей, які 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 імовірні 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 збережуваності.

2. Показники надійності

Розглянемо кількісні показники надійності (рис. 2).

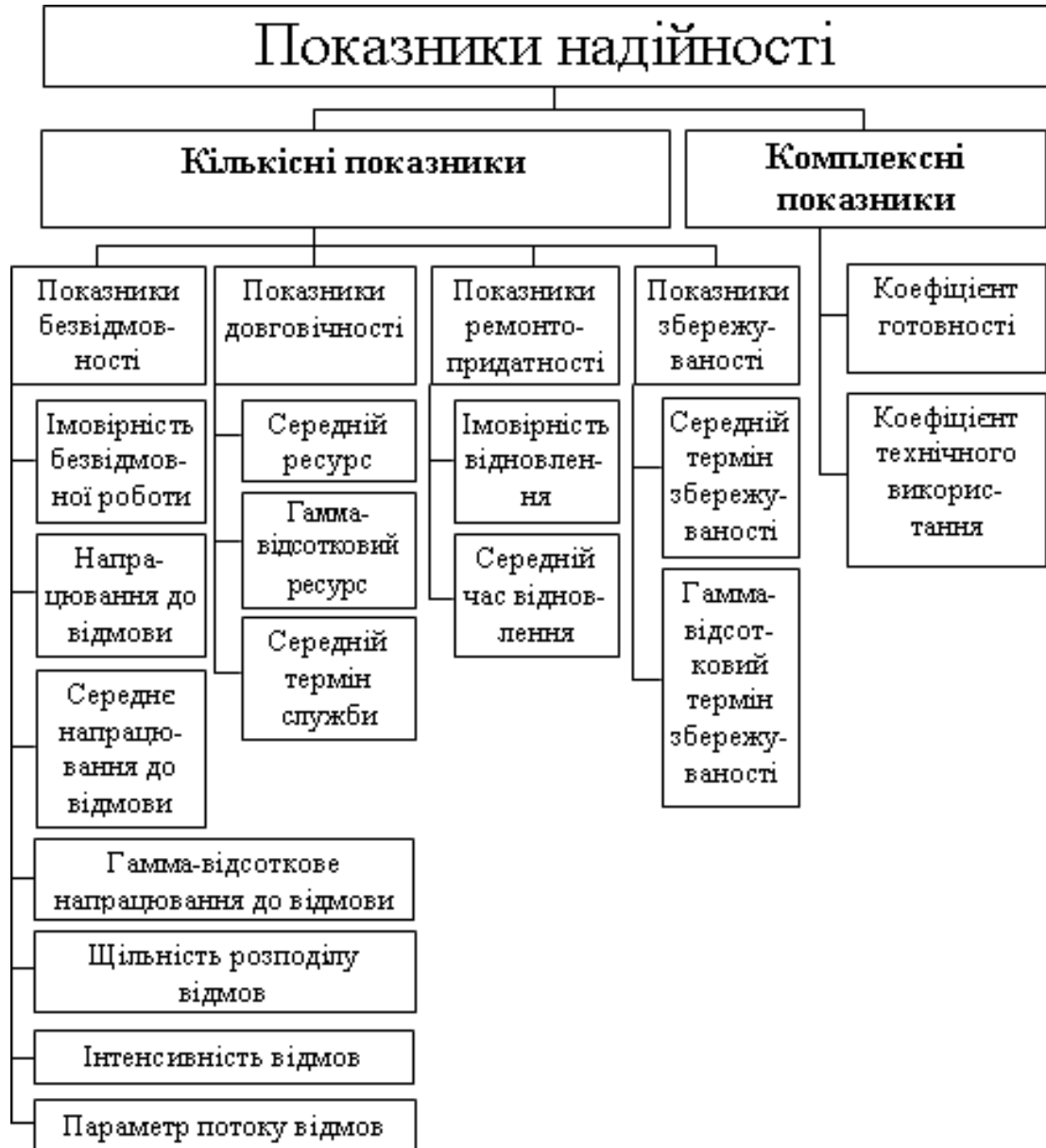


Рис. 2 – Показники надійності

3. Показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та ін.

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

$$P(t) = \frac{NP}{N}$$

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

2 Напрацювання до відмови – тривалість роботи машини до

першої відмови.

3 Середнє напрацювання до відмови

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$$

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

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

Приклад. Якщо ймовірність безвідмовної роботи впродовж часу $t = 1000$ год дорівнює $P(t) = 0,95$, то цей час є 95 % напрацюванням до відмови.

5 Щільність розподілу відмов

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

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

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

де N_p – кількість працездатних машин або

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

Практично для всіх систем інтенсивність відмов залежить від часу і має характеристику у вигляді «ванни» (рис. 3).

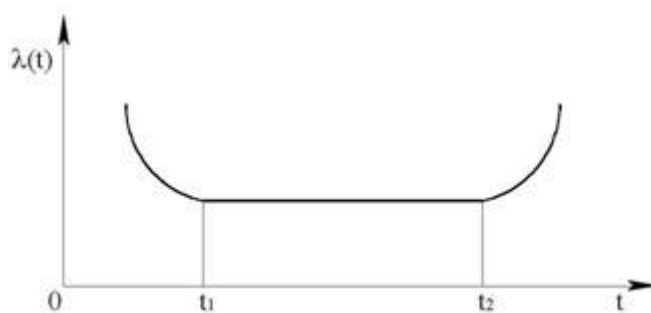


Рис. 3 – Зміна інтенсивності відмов машини:

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 обкатку на стенді або в реальних умовах. Під час обкатки 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 показує незмінність показника $l(t)$.

На ділянці t_1-t_2 (це період нормальної експлуатації) інтенсивність відмов стає приблизно постійною ($l(t) \gg const$) і визначається випадковими факторами.

З моменту $t > t_2$ інтенсивність відмов збільшується внаслідок процесів старіння і зміни хіміко-фізичних властивостей елементів машини, пов'язаних з її довготривалою експлуатацією. Механізм відмов на цій ділянці пояснюється моделями зношування, старіння і утомлюваності.

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

$$\omega(t) = \frac{n}{\sum t_i}$$

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 до відмови, для ремонтваних – включає і тривалість роботи після ремонту до граничного стану:

$$T_{p.cnp} = R_{cnp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N R_i$$

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: $R_g = 90\%$ – для підшипників; $R_g = 95\%$ і більше – для відповідальних машин.

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

$$T_{cl.cnp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_{cl.i}$$

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

Таким чином, термін служби від ресурсу відрізняється лише розмірністю.

Показники ремонтпридатності

1 Імовірність відновлення – імовірність того, що час відновлення машинине перебільшить заданого (аналогія з імовірністю відмов).

2 Середній час відновлення, год:

$$T_{od.cnp} = \frac{\sum t_{od.i}}{N}$$

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

Показники збережуваності

1 Середній термін збережуваності

$$T_{з.ср} = \frac{\sum t_{з. i}}{N}$$

де $t_{з. i}$ – період збережуваності i -ї машини; N – кількість машин.

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

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.

Стосовно 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 ремонтпридатність:

$$K_r = \frac{T_r}{T_r + T_{від}}$$

де T_r – напрацювання на відмову; $T_{від}$ – середній період відновлення.

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

2 Коефіцієнт технічного використання Характеризує фактичний термін роботи машини:

$$K_{тв} = \frac{T_o}{T_o + T_{об} + T_{тв}}$$

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

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

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

Для невідновлювальних виробів необхідно розрахувати:

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

- щільність розподілу відмов $f(t)$.

Для відновлювальних виробів розраховують:

- імовірність безвідмовної роботи $P(t)$;
- параметр потоку відмов $\omega(t)$;
- показники довговічності:

а) середній ресурс T_p сер (Rсер), год;

б) середній термін служби $T_{сл}$ сер, років; в) гамма-відсотковий ресурс T_γ , %.

1. 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, які є причиною відмови машини.

Розглянемо 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, гідроуп'яга, підшипники і т. п.

До елементів, що лімітують надійність, можна зарахувати і елементи, відмова яких виникає в результаті процесу старіння, зносу, корозії й утомлюваності матеріалів у межах заданого напруження 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. 1).

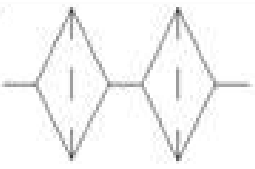
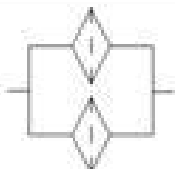
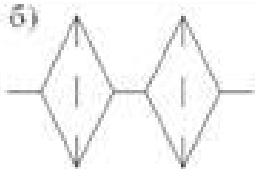
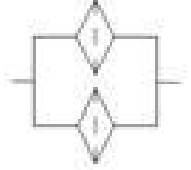
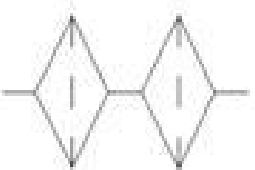
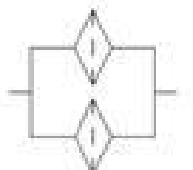
Монтажне з'єднання	Структурна схема	
	Розривання сітки	Засмічення сітки
1) 	а) 	б) 
2) 		

Рис. 1 – Монтажне і структурне з'єднання елементів

Розглянемо з'єднання 2 елементів (фільтрів) і занесення їх до монтажної схеми.

1 Монтажне з'єднання послідовне:

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

б) структурне – послідовне, тому що 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.

2. Метод структурних схем надійності

Розподіл системи на елементи і вплив їх відмови на надійність визначається 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 :

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

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

n – кількість елементів.

Схематично послідовне з'єднання наведене на рис. 2.

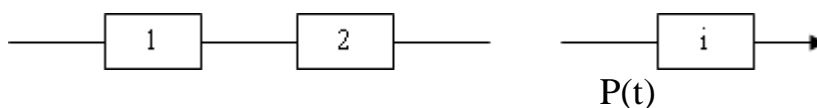


Рис. 2 – Схема послідовного з'єднання елементів

2 Паралельне з'єднання

Схематично паралельне з'єднання наведене на рис. 3.

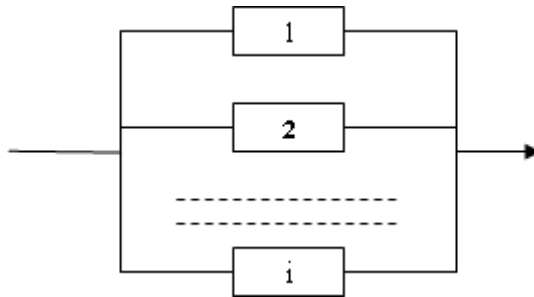


Рис. 3 – Схема паралельного з'єднання елементів

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

Імовірність безвідмовної роботи машини в цьому випадку визначається за формулою

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

або

$$P(t) = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n)$$

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

$$P(t) = \prod_{j=1}^n \left[1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_{ji}(t)] \right]$$

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 $T_{всеп}$; інтенсивність відмов $\lambda(t)$ та ін.

Середнє напрацювання можна визначити, застосувавши інтеграл

$$T_{всеп}^e = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

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

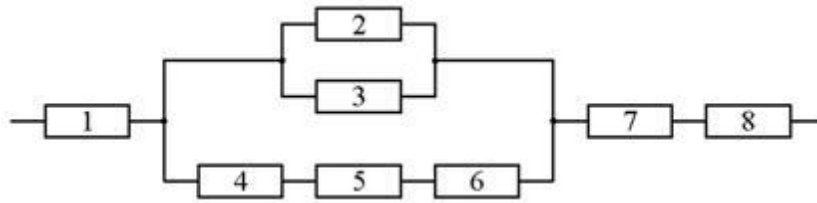


Рис. 4 – Структурна схема системи Розв'язання

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

$$P_{2-3} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3) = 1 - (1 - 0,9)(1 - 0,9) = 0,99 ; P_{4-6} = P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 = 0,93 = 0,729 ;$$

$$P_{2-6} = 1 - (1 - P_{2-3})(1 - P_{4-6}) = 1 - (1 - 0,99)(1 - 0,729) = 0,99729 ; P = 0,99 \cdot 0,99729 \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 0,891.$$

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 і 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 і його безвідмовність.

Якщо відмови машин загрожують безпеці обслуговуючого персоналу або призводять до значних матеріальних втрат, то їх надійність обмежують найбільш можливою ймовірністю 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 і експлуатацію C_e машини:

$$Z_{\min} = C_p + C_v + C_e$$