МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

С. В. БІЛОДІДЕНКО, Г. М. БІЛІЧЕНКО, В. І. ГАНУШ

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ПО ДИСЦИПЛІНІ ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА МЕТАЛУРГІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ

«ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПЕРІОДІВ ІНСПЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ»

Дніпро НМетАУ 2017

Завдання №1

Визначити оптимальний період відновлювальних заходів (ремонт, інспектування, тощо) ΔT та оптимальну стратегію ТОР (суворо періодичну чи блокову ППР) механічної системи, наробіток на відмову якої підкорюється розподілу Вейбулла з параметрами масштабу θ (годин) та форми β. Відновлення системи після позапланової відмови збільшується в c_r рази відносно профілактичного обслуговування.

№варіанта	c_r	θ	β	№варіанта	c_r	θ	β
1	5	2000	2.5	9	12	2500	2.5
2	10	2000	2.5	10	20	2500	2.5
3	5	4000	2.5	11	12	5000	2.5
4	10	4000	2.5	12	20	5000	2.5
5	5	2000	4	13	12	2500	4
6	10	2000	4	14	20	2500	4
7	5	4000	4	15	12	5000	4
8	10	4000	4	16	20	5000	4

Завдання №2

Визначити оптимальний період інспектування δ (**в місяцях**) приводу баштового вагоноперекидача, який містить дві силові лінії, що працюють одночасно. Для правильного функціонування достатньо однієї лінії, для якої шляхом випробувань під номінальним навантаженням отримано середній наробіток на відмову T_i *годин*, який має експонентний розподіл. Темп розвантажування – 2 хвилини на вагон, що вміщує *m тон*. Виробництво потребує *G тисяч тон* сипкого матеріалу на добу. Відновлення приводу після позапланової відмови збільшується в c_r рази відносно профілактичного обслуговування. Як кількісно збільшиться термін експлуатації за умов оптимального обслуговування у порівнянні з приводом, що не контролюється. Який рівень надійності забезпечується при оптимальному обслуговуванні.

№ варіанта	T_i	m	G	c_r
1	1000	50	10	10
2	2000	50	10	10
3	1000	100	10	10
4	2000	100	10	10
5	1000	50	20	10
6	2000	50	20	10
7	1000	100	20	10
8	2000	100	20	10
9	1000	50	10	20
10	2000	50	10	20
11	1000	100	10	20
12	2000	100	10	20
13	1000	50	20	20
14	2000	50	20	20
15	1000	100	20	20
16	2000	100	20	20

Завдання №3

Визначити оптимальний період інспектування привідної станції трубчастої печі для випалу окотишів, яка складається з основного привода та резервного, що починає працювати від команди з перемикаючого пристрою по виходу з ладу основного. При номінальних умовах експлуатації середній наробіток на відмову основного приводу складає T_1 *годин*, а резервного приводу T_2 *годин*, які підкорюються експонентним розподілам. Середній ресурс основного приводу складає T_3 *годин*, а надійність перемикача – $P_n=0.98$. Відновлення приводу після позапланової відмови збільшується в c_r рази відносно профілактичного обслуговування. Як зміняться показники режиму інспектування, якщо не враховувати вплив перемикача.

№ варіанта	T_1	T_2	T_3	c_r
1	1000	50	1000	10
2	2000	50	1000	10
3	1000	100	1000	10
4	2000	100	1000	10
5	1000	50	2000	10
6	2000	50	2000	10
7	1000	100	2000	10
8	2000	100	2000	10
9	1000	50	1000	20
10	2000	50	1000	20
11	1000	100	1000	20
12	2000	100	1000	20
13	1000	50	2000	20
14	2000	50	2000	20
15	1000	100	2000	20
16	2000	100	2000	20

Рекомендації до виконання завдань

1. Взаємозв’язок між експлуатаційними періодами T^1, що вимірюються у календарних одиницях (доба, місяць, рік), та довговічнісними результатами випробувань на надійність T , які вимірюються у годинах або циклах, здійснюється шляхом визначення кількості годин роботи або циклів за цей календарний період. Наприклад, для завдання №2 при часі циклу t=2 хв. можна скористатися залежністю:

$$T^1=T[(G/m)(t/60)30]^{-1}\ [міс.].$$

2. Оптимальний поміжінспекційний інтервал δ_{opt} визначається в загальному випадку побудовою графіка інтенсивність витрат на відновлення c від періоду відновлювальних заходів (ремонт, діагностування) δ. Мінімум на графіці c – δ відповідає оптимальному режиму.

3. У найбільш поширеному випадку стан технічної системи описується двома фазами: превентивного ремонту, де питомі витрати c_p і коригуючого ремонту, з питомими витратами c_c, в яких відображені і наслідки відмов. У порівнянні зі схемою моделі для превентивного обслуговування, в даному випадку фази G (справний стан) і PM (профілактики) об'єднані. Тому для них величиною $P_p\ (t_j)$ є ймовірність безвідмовної роботи системи $P(t)$, а ймовірність перебування в фазі коригуючого ремонту $P_c(t_j)$ відповідає ймовірності відмови, тобто $P_c\,(t_j) = 1 - P\ (t)$. Тоді функція витрат буде виглядати як:

$$C(t)=C_p(t)+C_c(t)=P(t)\cdot C_p+\left[1-P(t)\right]\cdot C_c\ . \qquad (3.1)$$

Якщо скористатися відносними вимірами вартісних витрат у вигляді $c_r=C_c/C_p>1$, то вищенаведену формулу можна трансформувати як:

$$C(t)=C_p\left[P(t)+\left[1-P(t)c_r\right]\right]. \qquad (3.2)$$

В такому випадку планові ремонтні витрати C_p відіграють роль масштабу, а графік змін витрат буде характеризуватися функцією $C(t)/C_p$, яка набуває рис універсальності.

Щоб отримати потрібну для оптимізації функцію інтенсивності витрат, слід це вираз розділити на середнє значення напрацювання на відмову на інтервалі від 0 до максимального встановленого часу експлуатації T_0, якості якого для даного завдання вибирається міжремонтний (міжінспекційний) інтервал δ:

$$c(t)=c_p(t)+c_c(t)=\frac{P(t)\cdot C_p+\left[1-P(t)\right]\cdot C_c}{\int_0^{\delta}P(t)dt}. \qquad (3.3)$$

Допустимо в багатьох випадках у якості рішення інтегралу, що у знаменнику, використовувати його верхню межу (δ або ΔT).

Якщо в інтегралі (3.3) не обмежувати верхню межу, то через нього можна знайти середній ресурс T_0,, який реалізується для системи, що не обслуговується:

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t)dt. \qquad (3.4)$$

Якщо система періодично обслуговується з інтервалом δ, її ресурс зростає відповідно до вираження:

$$T_{0\,p} = \frac{\int_0^{\delta} P(t)dt}{1 - P(\delta)} \quad . \qquad (3.5)$$

У знаменнику цього виразу знаходиться ймовірність відмови системи до кінця поміжінспекційного інтервалу. Чим вона менша, тим ресурс регулярно відновлюваної системи вище.

4. Приклад для завдання №2. Розглянемо систему з двох паралельно і одночасно працюючих елементів, з яких одного досить для функціонування об'єкта. Інтенсивність потоку відмов становить $\lambda = 0.1 років^{-1}$, відносна вартість позапланового ремонту - c_r = 20. Функція надійності для системи такої конфігурації буде:

$$P(t) = 2\exp(-\lambda t) - \exp(-2\lambda t) \quad . \qquad (4.1)$$

Апроксимація інтеграла в чисельнику (3.5) або знаменнику (3.3) дає середній наробіток на відмову за експлуатаційний цикл (до кінця інтервалу δ), яка виглядає як:

$$T_{\delta} = \int_0^{\delta} P(t)dt = \frac{3}{2\lambda} - \frac{2}{\lambda}\exp(-\lambda\delta) + \frac{1}{2\lambda}\exp(-2\lambda\delta). \qquad (4.2)$$

Тоді для необслуговуємих систем $T_0 = 3/(2\lambda)$ (це апроксимація інтегралу (3.4)).

У загальному вигляді мінімум визначається графічно побудовою функції $c(t)$ або у відносному вимірі побудовою графіка ($C(t)/C_p - t$).Отриманий таким робом для розглянутого прикладу оптимальний інтервал становить приблизно δ_{opt} = 3 роки (табл.). При цьому ймовірність безвідмовної роботи буде P_p = 0.929, ресурс системи, яка не обслуговується, складе T_0 = 15 років, а при обслуговуванні з оптимальним інтервалом - T_{0p} =3,05/0,071= 43 роки. Отже, відносний оптимальний інтервал становить δ^r_{opt} = 3/15 = 0.2, що відповідає наведеним вище рекомендацій. Якщо збільшити δ до 8 років, то інтенсивність витрат зросте в 1,24 рази, а ресурс системи при такому обслуговуванні знизиться до $T_{0p}=7,02/0,3$ = 23,4 років. Таким чином, оптимальна стратегія ТОіР дає не тільки скорочення витрат на них, а й сприяє продовженню терміну експлуатації системи, що ще більш вигідно.

Таблиця до прикладу №2

δ	P_p (по ф.4.1)	$P_c=1-P_p$	T_δ (по ф.4.2)	$C(t)/C_p$
1,0	0.99	0.009	0.997	1.18
1,7	0.976	0.024	1.68	0.87
2,4	-	-	-	0.79
3,1	0.929	0.071	3.05	0.77
3,8				0.79
4,5				0.81
5,2	0.836	0.164	4.88	0.85
5,9				0.88
6,6				0.91
7,3				0.94
8,0	0.7	0.3	7.02	0.96

5. Визначення інтенсивності (питомих) витрат на ТОР залежіть від прийнятої стратегії ТОР. Для превентивної стратегії можливі декілька варіантів. Як

відомо, періодично заплановані профілактики РМ «розчиняються» випадковими коригуючими ремонтами СМ як реагування на позапланові відмови. Суворо періодична стратегія (age strategy- обслуговування за віком) характеризується тим, що попередньо встановлений інтервал відновлення ΔT відлічується від дати останнього СМ-ремонта (рис.1,а).

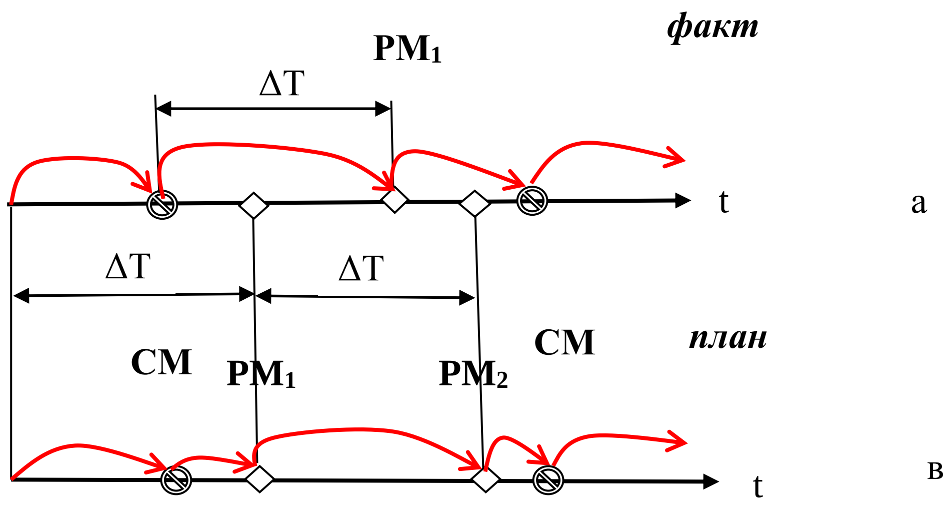

Рис.1. Схема обслуговування за суворо періодичною стратегією (а) та за блоковою стратегією (в).

Блокова стратегія характеризується тим, що РМ-ремонти відбуваються у запланований час, не зважаючи на проведення коригуючих ремонтів. До такої стратегії належіть планова-попередня система ремонтів, яка популярна в металургії. Періодична стратегія більш притаманна для коштовних систем, а блокова стратегія властива для менш коштовних об’єктів, які можуть замінюватись блоками.

За умов суворо періодичної стратегії питомі витрати на ТОР визначаються:

$$c_A = \frac{C_C(1-P(\Delta T)) + C_P P(\Delta T)}{\Delta T}.$$

За умов блокової стратегії питомі витрати на ТОР визначаються так:

$$c_B = \frac{C_C}{\int_0^{\Delta T} P(t)dt} + \frac{C_P}{\Delta T} = \frac{C_C(1-P(\Delta T) + C_P}{\Delta T}.$$

6. Приклад до завдання №1. Вихідні дані: $c_r=8$, $\beta=2.5$, $\theta=4000$ *годин.* Ймовірність безвідмовної роботи буде:

$$P(\Delta T) = \exp[-\left(\frac{\Delta T}{\theta}\right)^{\beta}].$$

Таблиця до завдання №1

ΔT, годин	P(ΔT)	c_A/C_p	c_B/C_p
1000	0.969	0.00123	0.00125
1200		0.00113	0.00116
1600		0.00108	0.00111
1800		0.00109	0.00113
2400		0.0012	0.00125
3000		0.0014	0.00141

З розрахунків випливає, що оптимальний інтервал відновлення становить приблизно 1600 годин для періодичної стратегії як оптимальної.

7. Для підвищення надійності системи використовується метод резервування (дублювання) підсистем. Існує активне резервування (active redundancy), яке ще зветься гаряче резервування або навантажений резерв, а також є холодне резервування, коли ненавантажений резерв знаходиться в режимі очікування (standby redundancy). При активному резервуванні декілька n ідентичних елементів працюють паралельно. Якщо для функціонування системи достатньо лише одного елемента, то мова йде про повне активне (full active) резервування, а якщо необхідно залишити гідними m елементів, то це частково (partial) активне резервування (рис.2).

Зазвичай, фахівцям відомі показники надійності окремого елемента (це наробіток на відмову $T_i=1/\lambda_i$), що отримані при номінальному навантаженні. При паралельній роботі навантаження на елемент зменшується в (n/m) рази. Тоді можна вважати, що довговічність збільшиться в $(n/m)^3$ рази. Показник ступеню 3 дорівнює нахилу кривої втоми у подвійних логарифмічних координатах за умов контактної взаємодії як найбільш консервативний випадок. Остаточно для розрахунків в (4.1-4.2)   треба брати :

$$\lambda=1/T=1/(T_i(n/m)^3)=\lambda_i(m/n)^3.$$

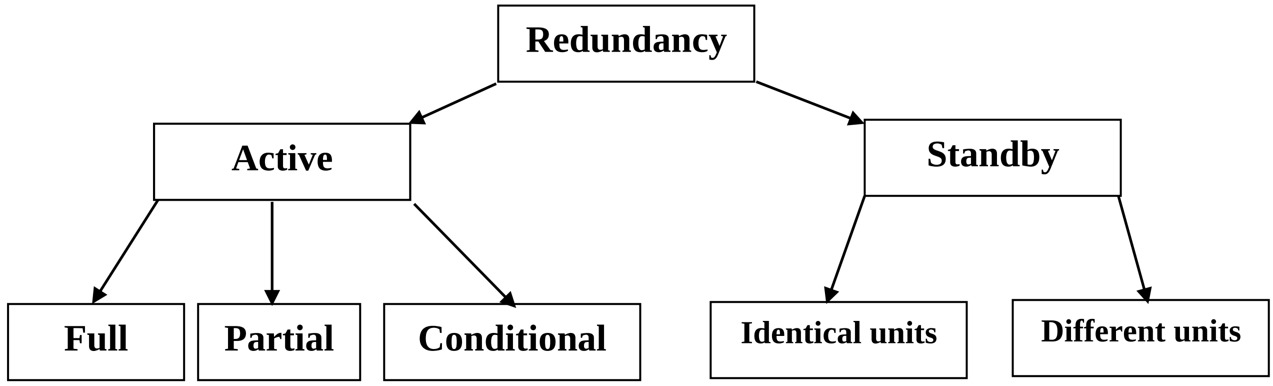

Рис.2. Різновиди резервування за Смітом.

В режимі очікувального резервування дублююча підсистема (елемент) в номінальних умовах роботи має зменшені показники надійності (λ_2) у порівнянні з основною підсистемою (λ_1) (рис.2,в). Якщо в системі наявно перемикаючий пристрій, то треба враховувати його надійність P_n, а також періодичність його спрацьовування $T_3=1/\lambda_3$ (рис.2,с).

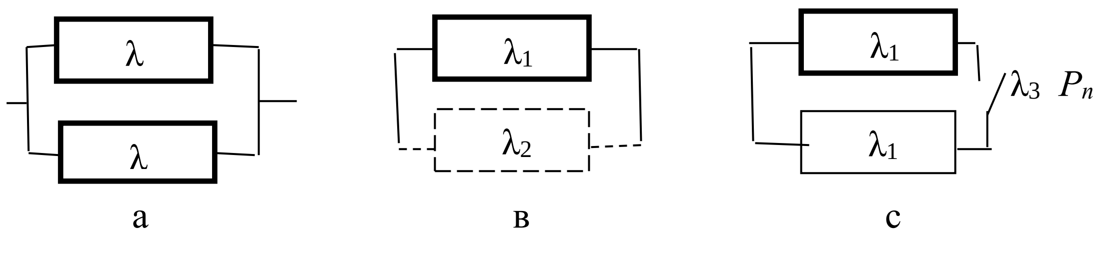

Рис.3. Схеми резервування.

Якщо перемикач налаштований на спрацьовування при будь якій відмові основної підсистеми (порушення справності), то періодичність його спрацьовування дорівнює її наробітку на відмову: $T_1=T_3$. Якщо перемикач спрацьовує тільки, коли основна підсистема стає непрацездатною, то його періодичність роботи дорівнює її середньому ресурсу, який більше, аніж значення T_1. Отож

$T_1 < T_3$. У випадку, коли перемикач спрацьовує при перенавантаженні основної підсистеми, то $T_1 > T_3$.

8. Алгоритм побудови функції $c/c_p(t)$ може мати наступний вигляд. Визначається за (3.4) наробіток T_0, після чого встановлюється крок $\Delta\delta=\delta_j-\delta_{j-1}=(0,1\text{-}0,2)T_0$. Слід отримати 8-10 значень δ_j, для яких вирахувати за функцією надійності значення P_p (напр., за (4.2)) при $t=\delta_j$. Окрім того, для обраних δ_j треба за (4.2) (для експонентного закону)) знайти величину T_δ. Насамкінець, за (3.2) розраховується відношення $C(t)/C_p$, яке відкладається по осі ординат для значення $t_j=\Sigma^j\Delta\,\delta$. Після побудови графіка означеної функції графічно знаходиться її мінімум, якому відповідає значення δ_{opt}.

9. Відомі деякі аналітичні рішення для інтегралів функцій надійності, по яких визначаються наробітки на відмову. Наприклад, для активного повного резервування з двох ідентичних елементів (рис.3.2) апроксимація функцій надійності експонентного типу та вирази для визначення величин T_0 і T_δ наведені в пунктах 3 та 4.

Для холодного резервування системи з двох елементів без врахування впливу перемикача (його абсолютна надійність) (рис.3,в):

$$P(t)=\exp(-\lambda_1 t)+A[\exp(-\lambda_1 t)-\exp(-\lambda_2 t)], \qquad (9.1)$$

де $A=\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}$.

$$T_\delta=\int_0^t P(t)dt=\frac{A-A\exp(-\lambda_1 t)}{\lambda_1}-\frac{\exp(-\lambda_1 t)-1}{\lambda_1}+\frac{A[\exp(-\lambda_2 t)-1]}{\lambda_2}, \qquad (9.2)$$

$$T_0=\int_0^\infty P(t)dt=\frac{A}{\lambda_1}-\frac{A}{\lambda_2}+\frac{1}{\lambda_1}. \qquad (9.3)$$

Для холодного резервування системи з двох елементів із врахуванням впливу перемикача (рис.3,с):

$$P(t)=\exp(-\lambda_1 t)+A\left[\exp(-(\lambda_1+\lambda_3)t)-\exp(-\lambda_2 t)\right], \qquad (9.4)$$

де $A=\dfrac{P_n\lambda_1}{\lambda_1-\lambda_1-\lambda_3}$.

$$T_\delta=\int_0^t P(t)dt=\frac{A-A\exp[-(\lambda_1+\lambda_3)t]}{\lambda_1+\lambda_3}-\frac{\exp(-\lambda_1 t)-1}{\lambda_1}+\frac{A[\exp(-\lambda_2 t)-1]}{\lambda_2}, \qquad (9.5)$$

$$T_0=\int_0^\infty P(t)dt=\frac{A}{\lambda_1+\lambda_3}-\frac{A}{\lambda_2}+\frac{1}{\lambda_1}. \qquad (9.6)$$