

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичної і самостійної роботи з дисципліни
«Надійність технічних систем»
для студентів спеціальності «Двигуни внутрішнього згорання»
за напрямом підготовки 133 – галузеве машинобудування
усіх форм навчання

2018

Методичні вказівки для практичної і самостійної роботи з дисципліни «Надійність технічних систем» для студентів спеціальності «Двигуни внутрішнього згорання» за напрямом підготовки 133 – галузеве машинобудування усіх форм навчання /Укл. Мазін В.О. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 10 с.

Укладачі: Мазін В.О., доцент.

Рецензент: Слюсаров О.С., канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний за випуск: Мазін В.О., доцент.

Затверджено
на засіданні кафедри ДВЗ.
Протокол № 4 від 22.11.17 р.

Рекомендовано до видання
НМК транспортного факультету
Протокол № 37 від 08.12.2017 р.

ЗМІСТ

	стор.
Програма курсу	4
Теми для самостійного вивчення	4
1 Практична робота № 1. Визначення статистичної імовірності безвідмовної роботи й відмови	5
2 Практична робота № 2. Розрахунок середнього напрацювання до відмови	4
3 Практична робота № 3. Розрахунок інтенсивності відмов	7
4 Практична робота № 4. Розрахунок імовірності безвідмовної роботи системи	10
Література	10

ПРОГРАМА КУРСУ

1. Поняття і складові надійності. Класифікація відмов.
2. Показники безвідмовності: поняття й відомості з теорії ймовірності.
3. Вірогідність безвідмовної роботи, щільність і інтенсивність відмов.
4. Рівняння зв'язку показників надійності. Числові характеристики безвідмовності.
5. Математичні моделі теорії надійності. Статистична обробка результатів випробувань.
6. Нормальний закон розподілу напрацювання до відмови.
7. Закони розподілу напрацювання до відмови: експоненціальний, логарифмічно-нормальний, гама-розподіл.
8. Надійність систем: загальні поняття й визначення.
9. Надійність головної системи.
10. Надійність систем з навантаженим резервуванням.
11. Надійність систем з ненавантаженим резервуванням.
12. Надійність систем з полегшеним й слизьким резервом.
13. Надійність відновлюваних систем.
14. Надійність відновлюваних об'єктів.
15. Надійність об'єктів при поступових відмовах. Розрахункові моделі.
16. Надійність об'єктів при поступових відмовах: визначення часу збереження працездатності.

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

1. Відомості про математичні моделі розрахунку у теорії ймовірності.
2. Математичне чекання і дисперсія випадкової величини.
3. Статистична обробка і алгоритм обробки результатів випробувань.
4. Логарифмічне нормальне й гамма розподілення.
5. Надійність систем з обмеженням за навантаженням.
6. Рівняння Колмогорова-Чепмена.

1 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Визначення статистичної імовірності безвідмовної роботи й відмови

Для партії паливних форсунок автомобільних дизелів $N = 800$ шт. накопичена статистична інформація щодо напрацювання до відмови $T \cdot 10^{-3} = 11, 9, 12, 16, 7, 8, 10, 11, 15, 8, 12, 14, 6, 10, 9, 10, 16, 11, 10, 13, 15, 11, 13, 12, 9, 11, 13, 12, 13, 11, 12, 8, 10, 15, 16, 8, 10, 7, 12, 14, 5, 16, 13, 13, 9, 6, 11, 9, 6, 11, 9, 12, 14$ (год.). Треба: 1) визначити

статистичні імовірності їх безвідмовної роботи й відмови $p(t)$, $q(t)$ для часу $t = 12.5 \cdot 10^3$ год., 2) розрахувати імовірність їх безвідмовної роботи за першими 20-ма з наведених значень напрацювання до відмови, 3) розрахувати математичне сподівання кількості працездатних форсунок $M(t)$ з загальної їх кількості.

Рішення. Напрацювання паливних форсунок до відмови є безперервна випадкова величина T . Статистична імовірність безвідмовної роботи для напрацювання t

$$p(t) = \frac{N_{п}(t)}{N(t)} ;$$

$N_{п}(t)$ – кількість працездатних форсунок на момент часу t : форсунок, для яких $T > t$.

Імовірність відмови за напрацювання t

$$q(t) = \frac{N_{нн}(t)}{N} ;$$

$N_{нн}(t)$ – кількість непрацездатних форсунок на момент часу t : форсунок, для яких $T < t$.

Правильність розрахунків можна перевірити:

$$N_{нн}(t) + N_{п}(t) = N.$$

За наведеною методикою розраховується статистична імовірність безвідмовної роботи для напрацювання t при $N = 20$ (для порівняння) і робиться висновок «від чого залежить величина $p(t)$ ».

Вважаємо, що умови досліду з 50 спостережень дозволили визначити імовірність безвідмовної роботи форсунок $p(t) = 1 - F(t)$; $F(t)$ – функція розподілу випадкової величини «напрацювання до відмови», що визначає імовірність події $T \leq t$ при $N \rightarrow \infty$.

Математичне сподівання кількості форсунок, працездатних до напрацювання t

$$M(t) = p(t) \cdot N;$$

N – розмір партії форсунок.

2 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Розрахунок середнього напрацювання до відмови

Для досліджуваних форсунок розрахувати середнє напрацювання до відмови. Спочатку обчислення виконати за вибірковими значеннями T , а потім з використанням статистичного ряду.

Рішення. Середнє значення T випадкової величини T за її вибірковими значеннями t_1, t_2, \dots, t_n

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i ; \quad (2.1)$$

N – кількість значень величини T .

Розрахунки можна спростити й пришвидшити шляхом групування результатів спостережень (значень t_i) у статистичний ряд. Для цього усі спостереження розділяють на m інтервалів і підраховують кількість значень n_i для кожного з них. Зазвичай: розміри інтервалів беруть однаковими, $n_i \leq 10$, усі дії виконують у вигляді таблиці.

Перетворення значень напрацювання до відмови у статистичний ряд

Інтервал		Кількість значень у інтервалі	Статистична імовірність
№	Границі, 10^3 год.		
1	8.5 – 11.5	////////// $n_1 = 15$	$q_1 = 0.15$
2	11.5 – 14.5	//////////////////// $n_2 = 35$	$q_2 = 0.35$
3	14.5 – 17.5	//////////////////// $n_3 = 30$	$q_3 = 0.30$
4	17.5 – 20.5	////////// $n_4 = 20$	$q_4 = 0.20$

Риски – відмітки щодо попадання значення t_i у відповідний інтервал

Обчислення виконані вірно, якщо

$$\sum_{i=1}^m n_i = N.$$

Задля наглядності статистичний ряд показують у вигляді графіка (рис. 1).

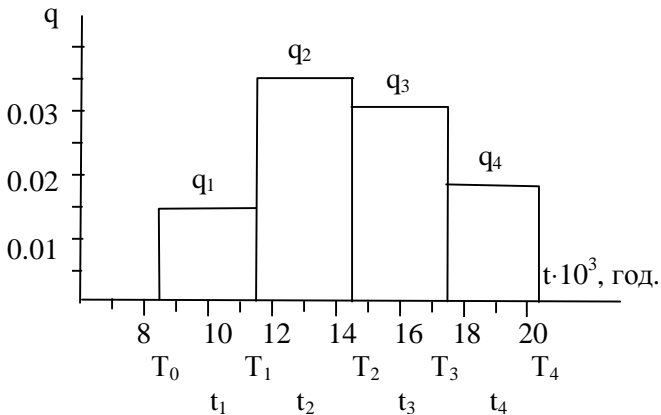


Рисунок 2.1 - Статистичний ряд

Статистична імовірність q_i знаходження випадкової величини на відповідному інтервалі

$$q_i = \frac{n_i}{N}.$$

Підрахунки виконано вірно, якщо

$$\sum_{i=1}^m q_i = 1.$$

Середнє напрацювання до відмови на відповідному інтервалі

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^m \bar{t}_i \cdot q_i; \quad (2.2)$$

\bar{t}_i – середнє значення випадкової величини на відповідному інтервалі; приймають середину інтервалу.

Розрахунок за формулою (2.2) має деяку методичну похибку, відносно точного розрахунку по формулі (2.1) вона становить

$$d = \frac{\bar{T}(2) - \bar{T}(1)}{\bar{T}(1)} \cdot 100\%$$

3 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Розрахунок інтенсивності відмов

Розрахувати інтенсивність відмов $\lambda(t)$ для заданих значень t і Δt , а також середнє напрацювання до відмови блока з $k = 2$ послідовно з'єднаних форсунок T_B . Для подальших розрахунків прийняти припущення: інтенсивність відмов не змінюється на протязі усього терміну служби; усі форсунки мають однакову інтенсивність відмов – розраховану. Визначити інтенсивність відмов і середнє напрацювання підсистеми λ_{Π} , \bar{T}_{Π} , побудувати графіки імовірності безвідмовної роботи однієї форсунки і підсистеми $P_B(t)$, $P_{\Pi}(t)$ і з'ясувати їх значення до напрацювання $t = T_{\Pi}$.

Рішення. Інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{q(t, \Delta t)}{P(t) \Delta t};$$

$q(t, \Delta t)$ – статистична імовірність відмови на інтервалі $[t, t+\Delta t]$ (статистична імовірність попадання випадкової величини T на цей інтервал);

$P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи: розрахована на 1-ій практичній роботі;

$t, \Delta t = 3 \cdot 10^3$ год. – момент часу і одиничний проміжок часу: з попередніх практичних робіт.

Якщо імовірність відмов не змінюється на протязі терміну служби, тобто $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$, то напрацювання до відмови розподілене за експоненціальним законом. У такому випадку імовірність безвідмовної роботи і середнє напрацювання до відмови

$$P_B(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-\lambda t), \quad \bar{T}_B = \frac{1}{\lambda}.$$

При послідовному з'єднанні k форсунок інтенсивність відмов утвореної підсистеми

$$\lambda_{\Pi} = \sum_{i=1}^k \lambda_i. \quad (3.1)$$

Якщо інтенсивність відмов усіх форсунок однакова, тоді інтенсивність відмов і імовірність безвідмовної роботи цієї підсистеми

$$\lambda_{\Pi} = k \cdot \lambda, \quad (3.2)$$

$$P_{\Pi}(t) = \exp(-\lambda_{\Pi} t) = \exp(-k\lambda t).$$

З урахуванням (3.1, 3.2) середнє напрацювання цієї підсистеми до відмови

$$\bar{T}_{\Pi} = \frac{1}{\lambda_{\Pi}} = \frac{1}{k\lambda}.$$

Для побудови графіків залежностей $P_B(t)$, $P_{\Pi}(t)$ потрібні значення функції $\exp(-x)$, які наведені у табл. 3.1. При розрахунку значень $P_B(t)$, $P_{\Pi}(t)$ приміть інтервал для напрацювання $t = 400$ год. і максимальне значення $t = 5200$ год.

Залежності (3.1, 3.2) відповідають експоненціальному закону. Для різних розподілень напрацювання до відмови імовірність безвідмовної роботи підсистеми з k послідовно з'єднаних елементів пов'язана з імовірністю безвідмовної роботи цих елементів співвідношенням

$$P_{\Pi}(t) = \prod_{i=1}^k P_i(t).$$

Якщо ж форсунки однаково надійні,

$$P_{\Pi}(t) = P_{\text{Б}}^k(t).$$

Таблиця 3.1 – Значення функції $\exp(-x)$

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.1	0.	–	9900	9802	9704	9608	9512	9418	9324	9231	9139
0.2	0.	9048	8958	8869	8781	8694	8607	8521	8437	8353	8270
0.3	0.	8187	8106	8025	7945	7866	7788	7711	7634	7558	7483
0.4	0.	7408	7334	7261	7189	7118	7047	6977	6907	6839	6771
0.5	0.	6703	6637	6570	6505	6440	6376	6313	6250	6188	6126
0.6	0.	5488	5434	5379	5326	5273	5220	5169	5117	5066	5016
0.7	0.	4966	4916	4868	4819	4771	4724	4677	4630	4584	4538
0.8	0.	4493	4449	4404	4360	4317	4274	4232	4190	4148	4107
0.9	0.	4066	4025	3985	3946	3906	3867	3829	3791	3753	3716
1.0	0.	3679	3642	3606	3570	3535	3499	3465	3430	3396	3362
1.1	0.	3329	3296	3263	3230	3198	3166	3135	3104	3073	3042
1.2	0.	3012	2982	2952	2923	2894	2865	2837	2808	2780	2753
1.3	0.	2725	2698	2671	2645	2618	2592	2567	2541	2516	2491
1.4	0.	2466	2441	2417	2393	2369	2346	2322	2299	2276	2254
1.5	0.	2231	2209	2187	2165	2144	2122	2101	2080	2060	2039
1.6	0.	2019	1999	1979	1959	1940	1920	1901	1882	1864	1845
1.7	0.	1827	1809	1791	1773	1755	1738	1720	1703	1686	1670
1.8	0.	1653	1637	1620	1604	1588	1572	1557	1541	1526	1511
1.9	0.	1486	1481	1466	1451	1437	1423	1409	1395	1381	1367
2.0	0.	1353	1340	1327	1313	1300	1287	1275	1262	1249	1237
2.1	0.	1225	1212	1200	1188	1177	1165	1153	1142	1130	1119
2.2	0.	1108	1097	1086	1075	1065	1054	1044	1033	1023	1013
2.3	0.	1003	0993	0983	0973	0963	0954	0944	0935	0926	0916
2.4	0.0	9072	8982	8892	8804	8716	8629	8543	8458	8374	8291
2.5	0.0	8208	8127	8046	7966	7887	7808	7730	7654	7577	7502
2.6	0.0	7427	7353	7280	7208	7136	7065	6995	6925	6856	6788
2.7	0.0	6721	6654	6587	6522	6457	6393	6329	6266	6204	6142
2.8	0.0	6081	6020	5961	5901	5843	5784	5727	5670	5613	5558
2.9	0.0	5502	5448	5393	5340	5287	5234	5182	5130	5079	5029
3.0	0.0	4979	4929	4880	4832	4783	4736	4689	4642	4596	4550

4. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Розрахунок імовірності безвідмовної роботи системи

Для напрацювання $t = \bar{T}_\Pi$ розрахувати імовірність безвідмовної роботи системи $P_C(\bar{T}_\Pi)$, складеної з двох підсистем, одна з яких є резервна.

Рішення.

Припущення: відмови кожної підсистеми незалежні, тобто відмова однієї з підсистем не порушує працездатності іншої.

Імовірності кожної підсистеми однакові і дорівнюють $P_\Pi(\bar{T}_\Pi)$. Тоді імовірність відмови однієї підсистеми

$$Q_\Pi(\bar{T}_\Pi) = 1 - P_\Pi(\bar{T}_\Pi).$$

Імовірності відмови усієї системи визначається з умови відмови обох підсистем, тобто

$$Q_C(\bar{T}_\Pi) = Q_\Pi(\bar{T}_\Pi) \cdot Q_\Pi(\bar{T}_\Pi) = Q_\Pi^2(\bar{T}_\Pi).$$

Звідси імовірність безвідмовної роботи системи

$$P_C(\bar{T}_\Pi) = 1 - Q_C(\bar{T}_\Pi) = 1 - [1 - P_\Pi(\bar{T}_\Pi)]^2$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Надёжность технических систем: Справочник /Ю.К. Беляев, В.А. Богатырёв, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
2. Надёжность в машиностроении: Справочник / Под ред. В.В. Шишкина, Г.П. Карзова; – СПб.: Политехника, 1992. – 719 с.
3. Калявин В.П. Надёжность и диагностика. – СПб.: «Элмор», 1998. – 230 с.
4. Дружинин Г.В. Надёжность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
5. Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М. Надёжность автоматизированных систем управления технологическими процессами. – Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.
6. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д. Математические методы в теории надёжности. – М.: Наука, 1965. – 564 с.
7. Бейхельт Ф., Франкен П., Надёжность и техническое обслуживание: Математический подход. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
8. Венцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1060. – 506 с.