

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсової роботи з дисципліни
«Якість машин»

для студентів механічного факультету навчання та ЦОП
спеціальності 133 Галузеве машинобудування освітньої програми
«Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і
обладнання»

Затверджено радою
механічного факультету,
протокол № 2 від 14.10.2022

Харків
ХНАДУ
2022

Укладачі: Пімонов І.Г.

Кафедра будівельних і дорожніх машин імені А.М. Холодова

для студентів механічного факультету навчання та ЦОП спеціальності 133 Галузеве машинобудування освітньої програми «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання»

Навчальним планом-графіком та освітньою програмою: «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» для студентів механічного факультету навчання та ЦОП передбачено вивчення дисципліни «Якість машин». Під час вивчення теоретичних основ дисципліни передбачено виконання курсової роботи. Вивчення дисципліни завершується екзаменом.

Здобувачі мають змогу вивчати дисципліну самостійно. Для успішної роботи спочатку необхідно ознайомитись з програмою курсу, а потім детально ознайомитись з теоретичними питаннями, що входять в програму дисципліни.

З найбільш складних положень курсу передбачено читання лекцій.

При необхідності студенти можуть отримати групові та індивідуальні консультації відповідно до розкладу деканату.

Разом з читанням лекцій передбачається проведення практичних занять за тематикою:

1. Методи оцінки якості машин.
2. Визначення показників якості машин.
3. Забезпечення показників якості в експлуатації.
4. Прогнозування показників якості.

Курсова робота повинна бути акуратно оформлена та підписана студентом. У роботі слід привести перелік посилань. Титульний аркуш курсової роботи приведено в додатку А.

Виконану курсову роботу необхідно відправити лектору на курс-ресурс на перевірку не пізніше, ніж за 2 тижні до екзаменаційної сесії. З результатами перевірки студенти можуть ознайомитись у деканаті.

Мета даних методичних вказівок – полегшити студентам освоєння дисципліни «Якість машин», надати їм знання і необхідні практичні навички за оцінкою якості машин і визначенню основних параметрів, що формують якість машин, а також за основними методами забезпечення якості в експлуатації.

Курсова робота складається з 11 завдань, які виконуються за варіантом. Варіант визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки або за останньою цифрою номеру залікової книжки і передостанньою цифрами (парна і непарна цифри). Кожне завдання має приклад рішення і данні, необхідні для виконання студентом свого варіанту.

ЗМІСТ ПРОГРАМИ КУРСУ

Розділ 1. Методи оцінки якості машин

Введення в дисципліну «Якість машин». Мета і задача вивчення дисципліни. Основні терміни, визначення якості. Формування якості на етапах життєвого циклу машин. Оцінка якості. Основні методи. Кваліметрія. Процедура формалізації або нормалізації. Оцінка якості по узагальненому показнику групи властивостей продукції. Оцінка якості продукції по її найважливішому показнику. Диференціальний метод. Метод інтегральної оцінки рівня якості. Експертне оцінювання ранжируванням. Метод попарного зіставлення об'єктів – метод переваг. Метод експертної оцінки показників якості і властивостей продукції «в балах».

Розділ 2. Визначення і забезпечення показників якості

Основні показники якості. Організаційні та технічні засоби по підтриманню якості машин. Загальні правила забезпечення показників якості за проектуванням, виготовленні та експлуатації. Визначення показників якості і надійності машин за наслідками випробувань. Статичне прогнозування надійності деталей, що зношуються. Резервування. Види. Забезпечення якості. Розрахунок кількості резервних елементів. Забезпечення показників якості резервуванням заміщенням. Забезпечення показників якості в експлуатації навантаженим резервуванням. Забезпечення показників якості в експлуатації централізованим постачання запасних частин та профілактичною заміною з діагностикою.

ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота з дисципліни «Якість машин» має наступний зміст:

ВСТУП

1. Методи оцінки якості машин

1.1 Оцінка якості машини за її найважливішим або узагальненим показником властивостей

1.2 Диференціальний метод оцінки якості продукції

1.3 Метод інтегральної оцінки рівня якості

1.4 Експертне оцінювання ранжируванням

1.5 Метод попарного зіставлення об'єктів – метод переваг

1.6 Метод експертного оцінювання в балах

2. Визначення і забезпечення показників якості

2.1 Визначення показників якості шляхом повних випробувань

2.2 Прогнозування показників якості

2.3 Забезпечення показників якості резервуванням заміщенням

2.4 Розрахунок резервних елементів за профілактичною заміною з діагностикою

2.5 Навантажене резервування

ВИСНОВОК

Література

ВСТУП

Якість є найважливішим показником, що характеризує відповідність об'єкта своєму призначенню. Суспільно-виробничі системи та людина, невіддільною частиною яких вона є, взаємно впливають на якісні показники в будь-який історичний період. У свою чергу якість будівельно-дорожніх машин знаходиться у взаємозв'язку зі структурою системи та її кількісними показниками [1, 2].

Якість, як характеристика об'єкта, завжди мала велике практичне значення у всіх галузях людської діяльності від виробництва до побуту. Виробники ще у старовину, для кращого збуту своєї продукції, маркірували її спеціальним знаком, як

свідчення високої якості. І сьогодні використовуються фірмові та інші знаки. З найдавніших часів і до наших днів дійшли такі методи експертної оцінки якості, як дегустація вин та харчових продуктів. Для кількісної оцінки декількох властивостей продукції почали використовувати методи оцінки якості продукції за допомогою балів або коефіцієнтів, а з першої половини минулого століття з'явилися різні емпіричні і статистичні засоби оцінки якості різної продукції [2].

Якість прийнято вважати найбільш важливою та універсальною характеристикою будь-якої машини або технічної системи. Якістю машини або технічної системи вважаємо ступінь їх пристосованості до виконання заданих функцій.

Цей ступінь пристосованості машини до виконання заданих функцій визначається її показниками або параметрами. Основні з них є продуктивність, надійність; вартість розробки, виготовлення і експлуатація; якість функціонування; потужність приводу; маса; габарити; умови нормального функціонування; ергономічні та екологічні показники тощо.

1. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МАШИН

Під час оцінки рівня якості однорідних виробів рекомендовано використовувати диференціальний, комплексний, змішаний, а також інтегральний методи, або метод експертних оцінок якості [1].

Встановлено, що для адекватності оцінки якості продукції або іншого об'єкта, необхідно врахувати, за можливістю, всі її властивості. Зазвичай продукція має безліч властивостей. При цьому характеристики властивостей різні за своєю суттю, відрізняються величиною й розмірністю, а також за їх важливістю і, отже, за внеском (впливом) на підсумковий показник якості, тобто на підсумковий показник рівня якості оцінюваного продукту.

Наявні дані щодо різних властивостей оцінюваного й базового (еталонного) об'єктів необхідно привести до зіставних величин, тобто до таких величин, оперуючи якими можна набути шуканого значення рівня якості досліджуваного об'єкта.

Приведення різних за суттю (фізичних, хімічних, технічних, екологічних, економічних тощо) показників властивостей об'єктів до безрозмірних відносних величин є математичною процедурою формалізації або нормалізації.

Найбільше поширення має природна нормалізація, що дозволяє нормувати значення різних параметрів на основі приведення їх не тільки до загальної безрозмірної шкали, але і до загального інтервального діапазону від нуля до одиниці.

У загальному випадку нормовані, порівнянні значення показників різних властивостей деякої безлічі об'єктів знаходять за формулою [2]:

$$Y_i^j = \frac{P_i^j - \min P_i^j}{\max P_i^j - \min P_i^j}, \quad i=1,2,\dots, n, \quad j=1,2,\dots, J, \quad (1.1)$$

де Y_i^j – приведені значення i -ї властивості j -го об'єкта з множини J ;

P_i^j – кількісне значення i -ї властивості j -го об'єкта;

$\min P_i^j$ – мінімальне значення i -ї властивості j -го об'єкта зі всієї початкової множини J показників цієї властивості;

$\max P_i^j$ – максимальне кількісне значення i -ї властивості j -го об'єкта зі всієї початкової множини J ;

n – кількість властивостей, що враховуються;

J – кількість аналізованих об'єктів.

Набутих таким чином нормованих значень властивостей об'єктів (машин), що зіставляються, виражають в безрозмірній формі, частку або відносний рівень (Y) i -ї властивості за відношенням до найбільшого значення цієї властивості відповідного об'єкта j .

Щоб обчислити конкретний формалізований (наведений) елемент системи зіставних даних, використовують математичні формули. За умови $\min P_i = 0$ використовують спрощені формули для розрахунку наведених значень показників властивостей, що зіставляються

$$Y_i = \frac{P_{i\text{оц}}}{P_{i\text{баз}}} \text{ або } Y_i = \frac{P_{i\text{баз}}}{P_{i\text{оц}}}, \quad (1.2)$$

де Y_i – відносний рівень i -ї властивості, рівень показників, що зіставляються, або рівень конкретного показника властивості за відношенням до показника відповідної властивості базового (еталонного) об’єкта (зразка);

$P_{i\text{оц}}$ – показник i -ї властивості оцінюваного об’єкта;

$P_{i\text{баз}}$ – показник i -ї властивості базового або еталонного зразка;

$i=1, 2, 3 \dots n$, а n – кількість властивостей, що враховуються під час оцінки рівнів властивостей.

1.1 Оцінка якості машини за її найважливішим або узагальненим показником властивостей

Досить часто якість технічної продукції оцінюють за одним, але основним, визначаючим показником, що характеризує її корисність. Так, наприклад, якість пневмоколесних шин оцінюють в основному за кількістю пройдених кілометрів до певного зносу, якість пального для двигунів внутрішнього згорання – за октановим або цитановим числом, якість багатьох гідроагрегатів за коефіцієнтом корисної дії, що визначається за певними умовами тощо. При цьому рівень якості, що визначається, його чисельний показник, є відношення величини основного або визначаючого (найважливішого) показника, що характеризує оцінюваний об’єкт до відповідної базової величини, тобто

$$Y_k = \frac{P_{\text{оц}}}{P_{\text{баз}}}, \quad (1.3)$$

де Y_k – рівень визначального (основного) показника продукції, що приймається за показник якості;

$P_{\text{оц}}$ – значення оцінного (основного, визначаючого) показника одиниці оцінюваної продукції;

$P_{\text{баз}}$ – базове значення того ж головного (визначаючого) показника.

Визначальним є найважливіший показник властивості, за якою ухвалюють рішення щодо якості продукції.

Узагальненим називається показник, що є функцією декількох одиничних показників властивостей об'єкта [2].

У багатьох випадках декілька показників властивостей взаємозумовлені, тобто мають функціональну залежність. Якщо відома ця залежність $Q = f(P)$, то якість об'єкта оцінюють за таким узагальненим показником

$$Y_k = \frac{Q_{\text{оц}}}{Q_{\text{баз}}}. \quad (1.4)$$

В відповідності до свого варіанту, використовуючи наведені нижче приклади формул, здійснити розрахунок узагальнених показників властивостей і рівнів якості бурової установки і конвеєра.

Завдання 1.1. (Приклад 1) Головний показник якості бурової установки, що характеризується довжиною проходки (L) за термін служби в метрах

$$L = \frac{v T_{\text{сер}} T_0}{T_0 + T_{\text{в}} + T_0 K_{\text{проф}}}, \quad (1.5)$$

де $T_{\text{сер}}$ – загальний термін служби, год;

T_0 – напрацювання на відмову, год;

$T_{\hat{a}}$ – середній час простою за одну відмову, год;

$K_{\text{проф}}$ – коефіцієнт, що характеризує частку часу, що йде на профілактику на одну годину роботи установки;

v – середня швидкість буріння, м/год.

Рівень якості знаходять за формулою

$$Y_{\dot{y}} = \frac{L_{1\ddot{o}}}{L_{\dot{a}\ddot{a}\dot{c}}}. \quad (1.6)$$

Таблиця 1.1 - Варіанти завдання 1.1 (Приклад 1)

Позн. парам.	Значення параметрів по варіантам									
	непарна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
v	9	14	5	10	16	11	8	12	9	13
$K_{\text{проф}}$	0.95	0.8	0.75	0.9	0.95	0.8	0.7	0.85	0.75	0.9
$T_{\text{в}}$	100	200	180	150	110	100	190	200	140	150
T_0	2000	1500	2100	3000	1600	1900	2000	2200	1600	1500
$T_{\text{сер}}$	35000	29000	38550	35100	32300	35200	35900	32025	35280	33000
$L_{\dot{a}\ddot{a}\dot{c}}$	15* *10 ⁴	175* *10 ³	7* *10 ⁴	15* *10 ⁴	256* *10 ³	19* *10 ⁴	128* *10 ³	165* *10 ³	16* *10 ⁴	195* *10 ³
$L_{1\ddot{o}}$										
$Y_{\dot{y}}$										
	парна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	v	8	11	16	13	8	14	9	11	10
$K_{\text{проф}}$	0.75	0.9	0.7	0.85	0.95	0.75	0.8	0.9	0.7	0.85
$T_{\text{в}}$	140	200	190	100	180	130	150	200	110	120
T_0	2100	1600	1500	2000	1600	3000	2000	1500	2200	1900
$T_{\text{сер}}$	30520	35640	32880	30400	33000	32280	33750	30500	30800	36350
$L_{\dot{a}\ddot{a}\dot{c}}$	107* *10 ³	176* *10 ³	24* *10 ⁴	208* *10 ³	128* *10 ³	168* *10 ³	1296* *10 ²	11* *10 ⁴	1408* *10 ²	19* *10 ⁴
$L_{1\ddot{o}}$										
$Y_{\dot{y}}$										

Завдання 1.1 (Приклад 2)

Головний показник якості конвеєра, що характеризується його річною продуктивністю (W_n), м³

$$W_n = T_n v_e r_i \gamma_b 365 \alpha_n, \quad (1.7)$$

де T_n – середня тривалість роботи конвеєра за зміну, год;

v_e – технічна продуктивність конвеєра, м³/год;

γ_b – коефіцієнт розпушення ґрунту;

r_i – кількість змін в добі;

α_n – коефіцієнт використання конвеєра за часом.

У цьому випадку рівень якості конвеєра розраховують за формулою

$$Y_{\dot{y}} = \frac{W_{\dot{i} \hat{i} \ddot{o}}}{W_{\dot{i} \hat{a} \grave{a} \grave{c}}}. \quad (1.8)$$

Таблиця 1.2 - Варіанти до завдання 1.1 (Приклад 2)

Позн. парам.	Значення параметрів по варіантам									
	непарна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
α_n	0.75	0.8	0.7	0.75	0.8	0.7	0.8	0.7	0.75	0.8
γ_b	1.2	1.25	1	1.2	1.3	1.25	1	1.4	1.2	1.25
v_e	3	1	4	2	3	2	3	4	2	2
T_n	8.0	6.0	8.0	7.0	5.0	8.0	7.0	5.0	8.0	6.0
r_i	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$W_{\dot{i} \hat{a} \grave{a} \grave{c}}$	9855	1825	5840	6570	7592	5110	4380	10220	6570	5840
$W_{\dot{i} \hat{i} \ddot{o}}$	7884	2190	8176	4599	5694	5110	6132	7154	5256	4380
$Y_{\dot{y}}$	0.8	1.2	1.4	0.7	0.75	1	1.4	0.7	0.8	0.75

Продовження таблиці 1.2

	парна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
α_n	0.75	0.8	0.75	0.8	0.75	0.8	0.75	0.8	0.75	0.75
γ_B	1.2	1.25	1.4	1.1	1.3	1.25	1.2	1.2	1.1	1.4
ν_e	4	3	2	4	3	3	1	3	4	4
T_n	7	6	8	5	8	7	6	5	8	6
r_i	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$W_{i.âç}$	13140	8760	5110	8030	9490	5110	2628	5840	8030	6570
$W_{i.îö}$										
$Y_{\ddot{y}}$										

1.2 Диференціальний метод оцінки якості продукції

Диференціальний метод оцінки якості продукції здійснюється шляхом зіставлення показників окремих властивостей оцінюваного зразка з відповідними показниками базового зразка. При цьому визначають, на скільки відповідає якість оцінюваного виробу якості базового зразка в цілому і які показники властивостей оцінюваного зразка перевершують або не відповідають показникам базового зразка.

При диференціальному методі оцінки якості враховуються найбільш значущі властивості об'єкта і умовно вважаються їх значущість однаковою. Кількість таких властивостей, що враховуються, обмежена. Це полегшує процес оцінювання рівня якості об'єктів.

За диференціальним методом оцінки якості продукції розраховують рівні одиничних і узагальнених показників властивостей за формулами

$$Y_i = \frac{P_{i\text{оц}} - P_{i\text{баз}}}{P_{i\text{баз}}} \quad \text{за } i=1, 2, \dots, n, \quad (1.9)$$

де $P_{i\text{оц}}$ – значення i -го одиничного або узагальненого показника властивостей оцінюваної продукції;

$P_{i\text{баз}}$ – значення i -го одиничного і узагальненого показника базового зразка;

n – кількість відповідних показників, прийнятих для оцінки якості.

Формулу (1.5) використовують, коли збільшенню абсолютного значення показника якості відповідає поліпшення якості виробів. Так, наприклад, відносні показники продуктивності, потужності, коефіцієнта корисної дії, терміну служби обчислюють за формулою (1.5), оскільки збільшення їх значень вказує на поліпшення якості виробу. За наслідками розрахунків відносних значень показників властивостей виробів, що зіставляються, та їх аналізу діють такі безумовні оцінки:

– рівень якості продукції вище або дорівнює рівню базового зразка, якщо всі значення відносних показників відповідно більше або рівні одиниці;

– рівень якості оцінюваної продукції нижчий за рівень базового зразка, якщо все або більшість значень відносних показників менше одиниці.

Завдання 1.2 Показники основних властивостей умовного трактора T , який використовується для створення на його основі бульдозера, і двох тракторів, прийнятих базовими (аналогами) для оцінки технічного рівня трактора T , наведені в таблицях 1.3 та 1.4 [2].

Таблиця 1.3 - Приклад рішення завдання 1.2 (порівняння з Комацу Д-155а-1 Японія, непарна передостання цифра номеру залікової книжки)

Показник	Значення показників трактора типу T та аналогів		Відхилення показників трактора типу T від аналогів, %
	трактор типу T	Комацу Д-155а-1 (Японія)	Комацу Д-155а-1 (Японія)
1. Номінальна потужність двигуна N , кВт	246	235	+4,5
2. Швидкість руху при номінальному тяговому зусиллі v , м/с	0,45	0,5	-11,1

Продовження таблиці 1.3

3. Напрацювання на відмову T , год	700	1840	-163
4. Ресурс до першого капітального ремонту R , Г	6000	10000	-66,7
5. Питома витрата палива q , г/кВтгод	258	238	-7,8
6. Питома сумарна оперативна трудомісткість технічного обслуговування, t_b чол./год	0,18	0,06	-66,7

Примітка. Знак «+» означає відхилення показника в кращу сторону, знак «-» в гіршу.

Таблиця 1.4- Варіанти завдання 1.2 (порівняння з Комацу Д-155а-1 Японія)

Позн. парам.	Значення параметрів по варіантам									
	непарна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N	246	242	250	230	240	246	242	250	230	240
v	0,45	0,8	0,6	0,45	0,7	0,9	0,3	0,45	0,8	0,4
T	700	1900	800	500	1000	1400	1100	1800	700	2000
R	6000	9000	7000	11000	8000	5000	9000	6000	8000	7000
q	258	230	260	255	245	265	250	235	240	270
t_b	0,18	0,08	0,1	0,12	0,2	0,05	0,16	0,04	0,11	0,15

Таблиця 1.5 - Приклад рішення завдання 1.2 (порівняння з Катерпіллер Д-9н США, парна передостання цифра номеру залікової книжки)

Показник	Значення показників трактора типу T та аналогів		Відхилення показників трактора типу T від аналогів, %
	Трактор типу T	Катерпіллер Д-9н (США)	Катерпіллер Д-9н (США)
1. Номінальна потужність двигуна N , кВт	246	302	-22,8
2. Швидкість руху при номінальному тяговому зусиллі v , м/с	0,45	0,55	-22,2
3. Напрацювання на відмову T , год	70	355	-379
4. Ресурс до першого капітального ремонту R , год	6000	10000	-66,7
5. Питома витрата палива q , г/кВтгод	258	258	0
6. Питома сумарна оперативна трудомісткість технічного обслуговування, t_b чол./год	0,18	0,067	-62,8

Таблиця 1.6 - Варіанти завдання 1.2 (порівняння з Катерпіллер Д-9н США, парна передостання цифра номеру залікової книжки)

Позн. парам.	Значення параметрів по варіантам									
	непарна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N	246	240	238	255	320	200	280	300	245	262
v	0,45	0,6	0,56	0,4	0,65	0,5	0,44	0,6	0,5	0,45
T	700	1000	2200	1400	3000	2800	2450	3300	800	1500
R	6000	11000	9000	5000	8000	7000	6600	5500	9500	7400
q	258	240	256	260	242	250	248	260	254	262
t_b	0,18	0,06	0,1	0,15	0,2	0,066	0,12	0,16	0,11	0,05

Кваліфікаційна оцінка технічного рівня трактора T проведена за шістьма параметрами трьох груп: призначення (номінальна потужність і швидкість руху), надійність (напрацювання на відмову і ресурс до першого капітального ремонту), економії ресурсів (питома витрата палива і трудомісткість технічного обслуговування). Згідно з таблицею видно, що оцінюваний трактор T перевершує один аналог тільки за потужністю двигуна, а решта всіх показників поступається обом аналогам. Висновок: трактор типу T поступається (не відповідає) світовому рівню.

Для більш точної інформативної оцінки технічного рівня, що характеризує якість виробу, будують діаграму зіставлення показників якості (циклограму), на якій видно, за яким показником слід ухвалювати управлінські і технічні рішення.

Кількісно величину підсумкового показника якості, тобто рівень якості (Y_{κ}) можна розрахувати як визначення середнього арифметичного значення всіх рівнів властивостей, що враховуються (Y_i), зразків (об'єктів), що зіставляються (оцінюваного і базового), тобто як

$$Y_{\hat{\epsilon}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (1.10)$$

1.3 Метод інтегральної оцінки рівня якості

Інтегральний показник рівня якості оцінюваного виробу [2] знаходять як приватне від ділення значення інтегрального показника властивостей оцінюваного виробу на відповідне базове значення, тобто

$$Y_{\text{ін}} = \frac{P_{\text{ін.оц}}}{P_{\text{ін.баз}}}. \quad (1.11)$$

Інтегральним показником якості $P_{\text{ін}}$ називається показник, що характеризує в найбільш загальній формі ефективність роботи виробу.

Інтегральний показник якості $Y_{ін}$ приймають для розрахунку тоді, коли встановлений сумарний корисний ефект від експлуатації і сумарні витрати на створення і експлуатацію виробу. Інтегральний показник якості є комплексним показником у вигляді відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації до сумарних витрат на його створення, придбання, монтаж у споживача і наладку і тому подібне. Його розраховують або як відношення сумарного корисного ефекту, вираженого в натуральних одиницях вимірювання, від експлуатації виробу до витрат на його створення і експлуатацію за весь строк служби:

$$P_{ін} = \frac{W}{(K_c + Z_e)} \quad (1.12)$$

або як зворотне відношення цих витрат до корисного ефекту, тобто

$$P_{ін} = \frac{(K_c + Z_e)}{W} \quad (1.13)$$

де W – корисний ефект, тобто кількість одиниць продукції або виконаної машиною роботи за весь термін експлуатації її, наприклад, число проведених заготовок або деталей, тонн або кг переробленої сировини тощо.

K_c – сумарні капіталовкладення, що містять оптову ціну, а також витрати на установку, наладку та інші роботи;

Z_e – експлуатаційні витрати за весь строк служби виробу.

Очевидно, що в першому випадку інтегральний показник якості характеризується корисним ефектом, що доводиться на одну грошову одиницю сумарних витрат, а в другому – сумою витрат в грн (або в інших грошових одиницях), що доводяться на одиницю корисного ефекту.

Наведені вище формули придатні для визначення інтегрального показника якості виробу з терміном служби до одного року.

Завдання 1.3

Потрібно оцінити інтегральним методом рівень якості грохоту ГЦЛ, що вживається під час підготовки матеріалу для будівництва доріг.

Таблиця 1.7 - Приклад оцінки рівня якості грохоту інтегральним методом

№ з/п	Найменування одиничних показників, розмірність	Позначення	Значення одиничних показників		Відносні показники, q
			грохоту ГЦЛ	базового грохоту	
1	Продуктивність, т/год	N	630	700	0,90
2	Термін служби до першого капітального ремонту, місяць	$T_{сер}$	10,5	11,0	0,95
3	Напрацювання на відмову, год	T_0	550	500	1,10
4	Середній час відновлення, год	T_B	3,5	4,0	1,14
5	Коефіцієнт технічного використання	K_H	0,984	0,990	0,99
6	Оптова ціна, грн	C_1	3200	3500	1,13
7	Середня вартість однієї години експлуатації, грн	C_2	0,40	0,45	1,14
8	Середня вартість однієї години простою через ремонт, грн	C_3	500	560	1,12
9	Відношення площі просіючої поверхні до загальної площі грохоту	$K_{шп}$	0,9	0,8	1,12
10	Рівень шуму, дБ (припустимий рівень шуму $K_{ш,доп} = 90$ дБ)	$K_{ш}$	87	84	0,98
11	Інтегральний показник для базового зразка	$\tilde{N}_{if \text{ } \delta. \acute{a} \acute{a} \acute{c}}$			
12	Інтегральний показник для оцінюваного грохоту	$\tilde{N}_{if \text{ } \delta. \acute{a} \acute{b}}$			
13	Відносний інтегральний показник	Y_{if}			
14	Відносний показник площі просіючої поверхні	$Y_{\acute{e} \acute{r} \acute{e}}$			
15	Відносний показник рівня шуму	$Y_{\acute{e} \emptyset}$			

Наведені в таблиці перші вісім одиничних показників можуть бути об'єднані в інтегральний показник за формулою

$$P_{\text{ін}} = \frac{NT_{\text{сер}} K_i}{C_1 + C_2 K_i T_0 + C_3 T_B}. \quad (1.14)$$

Розрахунок згідно з цією формулою дає такі значення інтегральних показників:

– для оцінюваного грохоту

$$P_{\text{ін.г}} = 1,52 \text{ т/грн};$$

– для базового зразка

$$P_{\text{ін.г.баз}} = 1,28 \text{ т/грн.}$$

Для оцінки технічного рівня грохоту змішаним методом беруть тільки три відносні показники:

– відносний інтегральний показник

$$Y_{\text{ін}} = \frac{1,52}{1,28} = 1,19;$$

– відносний показник площі просіючої поверхні

$$Y_{\text{кпл}} = 1,12;$$

– відносний показник рівня шуму

$$Y_{\text{кш}} = 0,98;$$

Згідно отриманих результатів технічний рівень оцінюваного грохоту вище базового рівня, оскільки два з трьох значень відносних показників більше одиниці, а третє значення відносного показника більше (рівень шуму), хоча і декілька менше одиниці, але не перевищує припустимого значення.

Таблиця 1.8 - Варіанти завдання 1.3

Позн. парам.	Значення параметрів по варіантам									
	непарна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N	630	800	580	640	720	600	740	650	620	710
$T_{\text{сер}}$	10.5	9	10	8.5	11.5	10.2	10.8	11.4	9.6	11.2
T_o	550	600	520	640	480	510	490	610	525	495
T_B	3.5	4.3	3.2	4.1	4.4	3.3	4.2	4.5	5	3
K_H	0.984	0.991	0.982	0.98	0.992	0.982	0.985	0.994	0.995	0.986
C_1	3200	3400	3800	4000	3660	3210	3480	4200	3560	4280
C_2	0.40	0.46	0.38	0.42	0.44	0.36	0.48	0.39	0.41	0.43
C_3	500	580	600	520	480	550	495	562	498	540
$K_{\text{пл}}$	0.9	0.85	0.94	0.86	0.92	0.7	0.82	0.75	0.95	0.85
$K_{\text{щ}}$	87	80	82	85	88	86	89	81	83	86.4
$\tilde{N}_{\text{if } \delta. \acute{a} \grave{a} \grave{c}}$										
$\tilde{N}_{\text{if } \delta. \hat{i} \ddot{o}}$										
Y_{if}										
$Y_{\text{ei } \grave{e}}$										
$Y_{\text{e}\emptyset}$										
	парна передостання цифра номеру залікової книжки									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N	710	650	600	720	580	640	80	630	740	620
$T_{\text{сер}}$	9.8	10.2	11.5	10.8	9	11.4	10	10.8	10.5	11.2
T_o	490	600	495	510	490	525	640	610	550	520
T_B	3.2	4.4	3	4.1	5	3.3	4.5	4.2	3.5	4.3
K_H	0.982	0.992	0.984	0.995	0.991	0.982	0.994	0.985	0.986	0.98
C_1	4000	3400	3660	3200	4280	3560	3800	3210	4200	3480
C_2	0.38	0.4	0.42	0.46	0.39	0.48	0.41	0.44	0.43	0.39
C_3	580	540	600	500	480	520	562	495	550	498
$K_{\text{пл}}$	0.75	0.82	0.7	0.95	0.86	0.92	0.85	0.74	0.94	0.9

$K_{\text{ш}}$	82	85	86.4	80	89	83	86	81	88	87
$\tilde{N}_{if \text{ } \grave{o} . \acute{a} \acute{a} \acute{c}}$										
$\tilde{N}_{if \text{ } \grave{o} . \hat{i} \hat{o}}$										
Y_{if}										
$Y_{\acute{e}i \acute{e}}$										
$Y_{\acute{e}\phi}$										

1.4 Експертне оцінювання ранжируванням

Експертний метод - це метод вирішення завдань, заснований на використанні узагальненого досвіду та інтуїції фахівців-експертів. Експертний метод оцінки рівня якості продукції використовується в тих випадках, коли неможливо або дуже скрутно використовувати методи об'єктивного визначення значень властивостей такими методами, як інструментальний, емпіричний або розрахунковий [1].

В багатьох випадках експертний метод оцінки показників властивостей продукції є єдино можливим, застосовується достатньо широко і для цього розроблені відповідні методики.

У випадку застосування для оцінювання якості продукції метода експертного ранжирування, результат оцінки якості експерти представляють у вигляді ранжируваного ряду. Чисельне визначення оцінок якостей відбувається наступним чином:

1.Всі об'єкти оцінювання (вироби, властивості) нумеруються довільно.

2.Експерти ранжирують об'єкти за шкалою порядку.

3.Ряди об'єктів, що ранжируються, зіставляються.

Завдання 1.4

Нехай п'ять експертів про сім об'єктів експертизи Q склали такі ранжирувані ряди за зростаючою шкалою порядку:

експерт № 1 – $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7$;

експерт № 2 – $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_6 < Q_4 < Q_1 < Q_7$;

експерт № 3 – $Q_3 < Q_2 < Q_5 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7$;

експерт № 4 – $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_4 < Q_6 < Q_7$;

експерт № 5 – $Q_5 < Q_3 < Q_1 < Q_2 < Q_6 < Q_4 < Q_7$.

Місце об'єкта в ранжируваному ряду називається його *рангом*. Чисельне значення рангу у ряді зростаючої шкали порядку збільшується від 1 до m (m – кількість оцінюваних об'єктів).

У цьому прикладі $m = 7$.

4. Визначаються суми рангів кожного з об'єктів експертної оцінки.

У цьому прикладі вони такі:

$$Q_1 - 4 + 6 + 4 + 4 + 3 = 21;$$

$$Q_2 - 3 + 3 + 2 + 3 + 4 = 15;$$

$$Q_3 - 2 + 2 + 1 + 2 + 2 = 9;$$

$$Q_4 - 6 + 5 + 6 + 5 + 6 = 28;$$

$$Q_5 - 1 + 1 + 3 + 1 + 1 = 7;$$

$$Q_6 - 5 + 4 + 5 + 6 + 5 = 25;$$

$$Q_7 - 7 + 7 + 7 + 7 + 7 = 35.$$

5. На підставі отриманих сум рангів будують узагальнений ранжируваний ряд.

Остаточний (узагальнений) ранжируваний ряд, отриманий в результаті роботи всієї експертної групи, має вигляд:

$$Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7. \quad (1.15)$$

Самостійно розрахуйте остаточний ранжируваний ряд для свого варіанту

Таблиця 1.9 - Варіанти завдання 1.4

№№ експертів	Варіант 1 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжирувані ряди						
1	Q_3	$<Q_2$	$<Q_5$	$<Q_4$	$<Q_6$	$<Q_7$	$<Q_1$
2	Q_3	$<Q_4$	$<Q_2$	$<Q_5$	$<Q_7$	$<Q_6$	$<Q_1$
3	Q_2	$<Q_3$	$<Q_5$	$<Q_4$	$<Q_6$	$<Q_1$	$<Q_7$
4	Q_3	$<Q_2$	$<Q_6$	$<Q_4$	$<Q_5$	$<Q_7$	$<Q_1$
5	Q_3	$<Q_4$	$<Q_2$	$<Q_5$	$<Q_6$	$<Q_7$	$<Q_1$

об'єкт експерти	ранги об'єктів					Суми рангів
	1	2	3	4	5	
Q_1	7	7	6	7	7	
Q_2	2	3	1	2	3	
Q_3	1	1	2	1	1	
Q_4	4	2	4	4	2	
Q_5	3	4	3	5	4	
Q_6	5	6	5	3	5	
Q_7	6	5	7	6	6	
Остаточний (узагальнений) ранжирований ряд						

№№ експертів	Варіант 2 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжировані ряди						
1	Q_1	$<Q_7$	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_2$	$<Q_6$	$<Q_4$
2	Q_1	$<Q_3$	$<Q_7$	$<Q_5$	$<Q_6$	$<Q_2$	$<Q_4$
3	Q_1	$<Q_3$	$<Q_5$	$<Q_7$	$<Q_4$	$<Q_6$	$<Q_2$
4	Q_1	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_7$	$<Q_2$	$<Q_6$	$<Q_4$
5	Q_1	$<Q_7$	$<Q_3$	$<Q_5$	$<Q_6$	$<Q_2$	$<Q_4$

об'єкт експерти	ранги об'єктів					Суми рангів
	1	2	3	4	5	
Q_1	1	1	1	1	1	
Q_2	5	6	7	5	6	
Q_3	4	2	2	3	3	
Q_4	7	7	6	7	7	
Q_5	3	4	3	2	4	
Q_6	6	5	6	6	5	
Q_7	2	3	4	4	2	
Остаточний (узагальнений) ранжирований ряд						

№№ експертів	Варіант 3 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжировані ряди						
1	Q_6	$<Q_3$	$<Q_7$	$<Q_5$	$<Q_4$	$<Q_2$	$<Q_1$
2	Q_6	$<Q_4$	$<Q_3$	$<Q_5$	$<Q_7$	$<Q_2$	$<Q_1$

3	Q_6	$<Q_4$	$<Q_7$	$<Q_3$	$<Q_5$	$<Q_1$	$<Q_2$
4	Q_6	$<Q_3$	$<Q_7$	$<Q_4$	$<Q_5$	$<Q_2$	$<Q_1$
5	Q_4	$<Q_6$	$<Q_3$	$<Q_5$	$<Q_2$	$<Q_7$	$<Q_1$
об'єкт експерти	ранги об'єктів					Суми рангів	
	1	2	3	4	5		
Q_1	7	7	6	7	7		
Q_2	6	6	7	6	5		
Q_3	2	3	4	2	3		
Q_4	5	2	2	4	6		
Q_5	4	4	5	5	4		
Q_6	1	1	1	1	2		
Q_7	3	6	3	3	6		
Остаточний (узагальнений) ранжирований ряд							

№№ експертів	Варіант 4 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжировані ряди						
1	Q_7	$<Q_2$	$<Q_4$	$<Q_1$	$<Q_3$	$<Q_6$	$<Q_5$
2	Q_2	$<Q_7$	$<Q_3$	$<Q_1$	$<Q_4$	$<Q_5$	$<Q_6$
3	Q_7	$<Q_2$	$<Q_4$	$<Q_3$	$<Q_1$	$<Q_6$	$<Q_5$
4	Q_7	$<Q_3$	$<Q_4$	$<Q_2$	$<Q_6$	$<Q_1$	$<Q_5$
5	Q_7	$<Q_2$	$<Q_4$	$<Q_1$	$<Q_3$	$<Q_6$	$<Q_5$
об'єкт експерти	ранги об'єктів					Суми рангів	
	1	2	3	4	5		
Q_1	4	4	5	6	4		
Q_2	2	1	2	4	2		
Q_3	5	3	4	2	5		
Q_4	3	5	3	3	3		
Q_5	7	6	7	7	7		
Q_6	6	7	6	5	6		
Q_7	1	2	1	1	1		
Остаточний (узагальнений) ранжирований ряд							

№№ експертів	Варіант 5 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)
-----------------	---

Ранжирувані ряди							
1	Q_7	$<Q_1$	$<Q_6$	$<Q_5$	$<Q_4$	$<Q_3$	$<Q_2$
2	Q_7	$<Q_1$	$<Q_6$	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_4$	$<Q_2$
3	Q_7	$<Q_6$	$<Q_1$	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_4$	$<Q_2$
4	Q_1	$<Q_7$	$<Q_5$	$<Q_6$	$<Q_3$	$<Q_4$	$<Q_2$
5	Q_7	$<Q_1$	$<Q_6$	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_4$	$<Q_2$
об'єкт							
експерти	ранги об'єктів					Суми рангів	
	1	2	3	4	5		
Q_1	2	2	3	1	2		
Q_2	7	7	7	7	7		
Q_3	6	5	5	5	5		
Q_4	5	6	6	6	6		
Q_5	4	4	4	3	4		
Q_6	3	3	2	4	3		
Q_7	1	1	1	2	1		
Остаточний (узагальнений) ранжируваний ряд							

№№ експертів	Варіант 6 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)							
	Ранжирувані ряди							
1	Q_2	$<Q_4$	$<Q_3$	$<Q_5$	$<Q_1$	$<Q_7$	$<Q_6$	
2	Q_2	$<Q_4$	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_7$	$<Q_1$	$<Q_6$	
3	Q_2	$<Q_4$	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_7$	$<Q_1$	$<Q_6$	
4	Q_2	$<Q_5$	$<Q_7$	$<Q_3$	$<Q_4$	$<Q_1$	$<Q_6$	
5	Q_2	$<Q_4$	$<Q_5$	$<Q_3$	$<Q_7$	$<Q_1$	$<Q_6$	
об'єкт								
експерти	ранги об'єктів					Суми рангів		
	1	2	3	4	5			
Q_1	5	6	6	6	6			
Q_2	1	1	1	1	1			
Q_3	3	4	4	4	4			
Q_4	2	2	2	5	2			
Q_5	4	3	3	2	2			
Q_6	7	7	7	7	7			
Q_7	6	5	5	3	5			
Остаточний (узагальнений) ранжируваний ряд								

№№ експертів	Варіант 7 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжирувані ряди						
1	Q_3	$\langle Q_5$	$\langle Q_4$	$\langle Q_2$	$\langle Q_7$	$\langle Q_6$	$\langle Q_1$
2	Q_3	$\langle Q_4$	$\langle Q_5$	$\langle Q_2$	$\langle Q_6$	$\langle Q_7$	$\langle Q_1$
3	Q_3	$\langle Q_5$	$\langle Q_4$	$\langle Q_7$	$\langle Q_2$	$\langle Q_6$	$\langle Q_1$
4	Q_5	$\langle Q_3$	$\langle Q_4$	$\langle Q_2$	$\langle Q_6$	$\langle Q_7$	$\langle Q_1$
5	Q_3	$\langle Q_5$	$\langle Q_4$	$\langle Q_2$	$\langle Q_7$	$\langle Q_6$	$\langle Q_1$
об'єкт експерти	ранги об'єктів					Суми рангів	
	1	2	3	4	5		
Q_1	7	7	7	7	7		
Q_2	4	4	5	4	4		
Q_3	1	1	1	2	1		
Q_4	3	2	3	3	3		
Q_5	2	3	2	1	2		
Q_6	6	5	6	5	6		
Q_7	5	6	4	6	5		
Остаточний (узагальнений) ранжируваний ряд							

№№ експертів	Варіант 8 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжирувані ряди						
1	Q_4	$\langle Q_7$	$\langle Q_1$	$\langle Q_3$	$\langle Q_6$	$\langle Q_5$	$\langle Q_2$
2	Q_4	$\langle Q_1$	$\langle Q_3$	$\langle Q_7$	$\langle Q_5$	$\langle Q_6$	$\langle Q_2$
3	Q_4	$\langle Q_7$	$\langle Q_3$	$\langle Q_1$	$\langle Q_5$	$\langle Q_6$	$\langle Q_2$
4	Q_4	$\langle Q_7$	$\langle Q_3$	$\langle Q_1$	$\langle Q_5$	$\langle Q_6$	$\langle Q_2$
5	Q_4	$\langle Q_7$	$\langle Q_3$	$\langle Q_1$	$\langle Q_5$	$\langle Q_2$	$\langle Q_6$
об'єкт експерти	ранги об'єктів					Суми рангів	
	1	2	3	4	5		
Q_1	3	2	4	4	4		
Q_2	7	7	7	7	6		
Q_3	4	3	3	3	3		
Q_4	1	1	1	1	1		
Q_5	6	5	5	5	5		
Q_6	5	6	6	6	7		
Q_7	2	4	2	2	2		

Остаточний (узагальнений) ранжирований ряд

№№ експертів	Варіант 9 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжировані ряди						
1	Q_5	$\langle Q_1$	$\langle Q_7$	$\langle Q_6$	$\langle Q_4$	$\langle Q_2$	$\langle Q_3$
2	Q_5	$\langle Q_1$	$\langle Q_6$	$\langle Q_4$	$\langle Q_7$	$\langle Q_3$	$\langle Q_2$
3	Q_5	$\langle Q_1$	$\langle Q_6$	$\langle Q_7$	$\langle Q_4$	$\langle Q_2$	$\langle Q_3$
4	Q_5	$\langle Q_1$	$\langle Q_6$	$\langle Q_7$	$\langle Q_4$	$\langle Q_2$	$\langle Q_3$
5	Q_1	$\langle Q_5$	$\langle Q_7$	$\langle Q_6$	$\langle Q_4$	$\langle Q_2$	$\langle Q_3$
об'єкт / експерти	ранги об'єктів					Суми рангів	
	1	2	3	4	5		
Q_1	2	2	2	2	1		
Q_2	6	7	6	6	6		
Q_3	7	6	7	7	7		
Q_4	5	4	5	5	5		
Q_5	1	1	1	1	2		
Q_6	4	3	3	3	4		
Q_7	3	5	4	4	3		
Остаточний (узагальнений) ранжирований ряд							

№№ експертів	Варіант 10 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
	Ранжировані ряди						
1	Q_6	$\langle Q_1$	$\langle Q_7$	$\langle Q_4$	$\langle Q_3$	$\langle Q_2$	$\langle Q_5$
2	Q_1	$\langle Q_6$	$\langle Q_7$	$\langle Q_3$	$\langle Q_4$	$\langle Q_5$	$\langle Q_2$
3	Q_1	$\langle Q_6$	$\langle Q_7$	$\langle Q_4$	$\langle Q_3$	$\langle Q_2$	$\langle Q_5$
4	Q_1	$\langle Q_7$	$\langle Q_6$	$\langle Q_4$	$\langle Q_3$	$\langle Q_2$	$\langle Q_5$
5	Q_1	$\langle Q_6$	$\langle Q_7$	$\langle Q_4$	$\langle Q_3$	$\langle Q_2$	$\langle Q_5$
об'єкт / експерти	ранги об'єктів					Суми рангів	
	1	2	3	4	5		
Q_1	2	1	1	1	1		
Q_2	6	7	6	6	6		
Q_3	5	4	5	5	5		
Q_4	4	5	4	4	4		

Q_5	7	6	7	7	7	
Q_6	1	2	2	3	2	
Q_7	3	3	3	2	3	
Остаточний (узагальнений) ранжируваний ряд						

1.5 Метод попарного зіставлення об'єктів – метод переваг

Приклад виконання. Експертне оцінювання за принципом переваг при попарному зіставленні даних об'єктів здійснюють, якщо кількість об'єктів парна [2]. При цьому перевага експерта виражається вказівкою номера переважного об'єкта у відповідній графі таблиці зіставлення, як це надано, наприклад, для шести об'єктів в таблиці 1.10.

Максимально можливе число переваг будь-якого з даних об'єктів, отримане від одного з експертів, дорівнює

$$N_{\max} = m - 1, \quad (1.16)$$

де m – кількість оцінюваних об'єктів.

Частота цих переваг F_i знаходиться як приватне від ділення кількості переваг кожного об'єкта N_i на N_{\max} тобто

$$F_i = \frac{N_i}{N_{\max}} = \frac{N_i}{m - 1}. \quad (1.17)$$

Таблиця 1.10 Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом

Номер об'єкта → експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Кількість переваг i -го об'єкта, N_i :
1	X	1	1	1	5	1	4
2		X	2	2	5	2	3
3			X	3	5	3	2

4				X	5	4	1
5					X	5	5
6						X	0

Використовуючи надані таблиці 1.10, отримуємо $N_{\max} = 6 - 1 = 5$, а частоти переваг, надані експертом, дорівнюють:

$$F_1 = \frac{4}{5} = 0,8; \quad F_2 = \frac{3}{5} = 0,6; \quad F_3 = \frac{2}{5} = 0,4;$$

$$F_4 = \frac{1}{5} = 0,2; \quad F_5 = \frac{5}{5} = 1; \quad F_6 = \frac{0}{5} = 0.$$

Загальне число думок одного експерта C , пов'язане з кількістю об'єктів експертизи m , знаходять із співвідношення

$$C = \frac{m(m-1)}{2} \quad (1.18)$$

При шести об'єктах експертизи $C = \frac{6(6-1)}{2} = 15$.

Визначений одним експертом показник i -го об'єкта або вагомість в порівнянні з іншими об'єктами розраховують за формулою

$$Q_i = \sum_{i=1, j=1}^{m, n} \frac{F_i}{C} \quad (1.19)$$

де n – число експертів в групі.

Нехай число експертів в групі дорівнює п'яти і їх оцінки по F_i зведені в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 Частоти переваг об'єктів, дані експертами

Номери експертів	Частоти переваг об'єктів					
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
1	0,8	0,6	0,4	0,2	1,0	0

2	0,7	0,7	0,4	0,3	0,9	0,1
3	0,8	0,5	0,5	0,3	1,0	0,1
4	0,9	0,5	0,6	0,2	0,8	0
5	0,8	0,5	0,5	0,2	0,9	0
Разом $\sum F_{ij}$	4,0	2,8	2,4	1,2	4,5	0,2

В цьому випадку результати експертизи за визначенням показників об'єктів такі:

$$Q_1 = \frac{4}{15} = 0,27; \quad Q_2 = \frac{2,8}{15} = 0,18; \quad Q_3 = \frac{2,4}{15} = 0,16;$$

$$Q_4 = \frac{1,2}{15} = 0,08; \quad Q_5 = \frac{4,5}{15} = 0,3; \quad Q_6 = \frac{0,2}{15} = 0,01;$$

Знайдемо суму значень всіх показників вагомості даних об'єктів:

$$\sum_{i=1}^m Q_i = 0,27 + 0,18 + 0,16 + 0,08 + 0,3 + 0,01 = 1,0.$$

Цей результат свідчить про те, що показники оцінені експертами досить точно.

Очевидно, що в наведеному прикладі підсумковий ранжируваний ряд об'єктів за їх показниками має вигляд:

$$\text{№ 6} < \text{№ 4} < \text{№ 3} < \text{№ 2} < \text{№ 1} < \text{№ 5}.$$

Завдання 1.5

Самостійно розрахуйте підсумковий ранжируваний ряд за своїм варіантом

Таблиця 1.12 – Варіанти для виконання завдання для оцінки якості виробів методом попарного зіставлення

Варіант 1 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)
Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом

Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта.	
							кількість N_i	частота F_i
1	X	2	1	4	1	6		
2		X	2	2	5	2		
3			X	3	3	3		
4				X	4	6		
5					X	6		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								
2	0,4	0,7	0,5	0,3	0,2	0,5		
3	0,5	0,9	0,5	0,3	0,3	0,6		
4	0,5	0,9	0,6	0,4	0,3	0,6		
5	0,4	0,8	0,5	0,4	0,2	0,6		
Разом $\sum F_{ij}$								
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів								

Варіант 2 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)								
Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта.	
							кількість N_i	частота F_i
1	X	1	1	1	1	1		
2		X	3	2	2	2		
3			X	3	3	3		
4				X	5	4		
5					X	5		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								

2	0,9	0,7	0,8	0,3	0,5	0
3	1	0,6	0,7	0,3	0,4	0,1
4	1	0,5	0,7	0,2	0,3	0
5	0,9	0,5	0,7	0,2	0,4	0
Разом $\sum F_{i j}$						
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів						

Варіант 3 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)

Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта:	
							кількість N_i	частота F_i
1	X	2	3	4	5	6		
2		X	3	2	5	2		
3			X	3	3	3		
4				X	4	4		
5					X	6		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								
2	0	0,6	0,9	0,6	0,4	0,2		
3	0,1	0,7	0,9	0,5	0,5	0,1		
4	0,1	0,7	1	0,5	0,3	0,1		
5	0	0,6	0,8	0,5	0,3	0,2		
Разом $\sum F_{i j}$								
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів								

Варіант 4 визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)

Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта:	
							кількість N_i	частота F_i

↓							кількість N_i	частота F_i
1	X	1	1	1	1	6		
2		X	2	2	2	6		
3			X	3	3	6		
4				X	5	6		
5					X	6		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								
2	0,7	0,7	0,4	0	0,3	1		
3	0,8	0,6	0,5	0,1	0,3	0,9		
4	0,7	0,5	0,4	0,1	0,2	1		
5	0,8	0,5	0,5	0,1	0,2	0,9		
Разом $\sum F_{i,j}$								
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів								

Варіант 5 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)								
Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги i -го об'єкта:	
							кількість N_i	частота F_i
1	X	1	3	4	5	1		
2		X	3	2	2	2		
3			X	3	3	3		
4				X	5	6		
5					X	5		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								
2	0,5	0,7	1	0,2	0,5	0,2		
3	0,5	0,7	0,9	0,2	0,6	0,1		

4	0,5	0,8	1	0,3	0,6	0,2
5	0,4	0,6	1	0,2	0,5	0,2
Разом $\sum F_{ij}$						
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів						

Варіант 6 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)

Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта:	
							кількість N_i	частота F_i
1	X	1	3	1	5	6		
2		X	2	2	5	2		
3			X	4	5	3		
4				X	5	6		
5					X	5		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								
2	0,3	0,7	0,3	0,1	0,9	0,5		
3	0,4	0,6	0,3	0,2	1	0,5		
4	0,5	0,6	0,4	0,1	1	0,4		
5	0,4	0,7	0,4	0,2	0,9	0,5		
Разом $\sum F_{ij}$								
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів								

Варіант 7 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)

Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта:	
							кількість N_i	частота F_i

1	X	1	1	4	5	6			
2		X	3	4	5	2			
3			X	4	3	3			
4				X	4	4			
5					X	5			
6						X			
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою									
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів								
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6			
1									
2	0,3	0,1	0,7	1	0,8	0,3			
3	0,3	0,1	0,6	1	0,8	0,2			
4	0,3	0,2	0,6	0,9	0,7	0,2			
5	0,4	0,2	0,7	1	0,8	0,2			
Разом $\sum F_{ij}$									
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів									

Варіант 8 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)									
Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом									
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги i -го об'єкта:		
							кількість N_i	частота F_i	
1	X	1	1	1	1	1			
2		X	2	2	5	6			
3			X	4	5	6			
4				X	5	6			
5					X	6			
6						X			
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою									
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів								
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6			
1									
2	0,9	0,5	0,1	0,3	0,7	0,6			
3	0,9	0,3	0	0,2	0,5	0,7			
4	0,9	0,5	0	0,1	0,5	0,9			

5	1	0,4	0	0,2	0,7	0,8
Разом $\sum F_{i,j}$						
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів						

Варіант 9 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)								
Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта:	
							кількість N_i	частота F_i
1	X	2	1	1	5	1		
2		X	2	2	2	2		
3			X	3	5	3		
4				X	5	6		
5					X	5		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								
2	0,7	1	0,3	0	0,9	0,3		
3	0,7	0,9	0,3	0,1	0,7	0,1		
4	0,6	0,9	0,5	0,1	0,8	0,3		
5	0,8	0,9	0,4	0	0,8	0,2		
Разом $\sum F_{i,j}$								
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів								

Варіант 10 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)								
Результати попарного зіставлення об'єктів першим експертом								
Номер об'єкта експертизи ↓	1	2	3	4	5	6	Переваги <i>i</i> -го об'єкта:	
							кількість N_i	частота F_i
1	X	1	1	4	5	1		

2		X	2	4	5	6		
3			X	4	5	6		
4				X	4	4		
5					X	5		
6						X		
Частоти переваг об'єктів, дані експертною групою								
Номери експертів	Частоти переваг об'єктів							
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6		
1								
2	0,7	0,1	0	1	0,7	0,3		
3	0,7	0,1	0	1	0,8	0,5		
4	0,6	0,3	0	1	0,8	0,5		
5	0,6	0,2	0,1	1	0,8	0,5		
Разом $\sum F_{ij}$								
підсумковий ранжируваний ряд об'єктів								

1.6 Метод експертного оцінювання в балах

Приклад виконання. При експертизі якості продукції часто використовують оцінку в балах [1]. Методом експертного оцінювання в балах часто користуються при виборі техніки, представленої декількома підприємствами на тендерні конкурси (торги).

Оцінка в балах надається безпосередньо експертами або згідно з результатами формалізації процесу оцінки. Безпосереднє призначення оцінки в балах проводиться експертами незалежно один від одного або в процесі обговорення. Кількість балів в оцінній шкалі, що приймається, може бути різною. Для оцінки показників якості зазвичай використовують п'ятибальну, семибальну або десятибальну шкали.

Приклад п'ятибальної шкали

<i>Оцінка</i>	<i>Число балів</i>
Відмінна якість	5
Хороша якість	4

Цілком задовільна якість	3
Задовільна якість	2
Погана якість	1

Приклад семибальної шкали:

<i>Оцінка</i>	<i>Число балів</i>
Якість дуже висока	7
Якість висока	6
Якість вище середнього	5
Якість середня	4
Якість нижче середнього	3
Якість низька	2
Якість дуже низька	1

Узагальнений показник якості, що визначається експертним методом за бальною системою числень, знаходять як середнє арифметичне значення оцінок, поставлених всіма експертами, тобто обчислюють за формулою

$$K_{\text{екс}} = \frac{\sum_{i=1}^a Q_i}{a}, \quad (1.20)$$

де a – кількість експертів; Q_i – оцінки в балах, поставлені експертами.

Якщо при експертизі якості проводять декілька турів оцінювання (опитувань), то в цьому випадку значення показника якості визначають як середнє арифметичне значення оцінок, отриманих в кожному турі опиту експертів за виразом:

$$\hat{E}_{e\hat{e}\hat{n}} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{E}_{e\hat{e}\hat{n}.i}}{m}, \quad (1.21)$$

де $K_{\text{екс}.i}$ – значення показника якості, що отримане в кожному турі;
 m – число турів опитувань.

Завдання 1.6

Самостійно здійсніть експертизу якості за своїм варіантом методом експертного оцінювання в балах

Таблиця 1.13 – Варіанти виконання завдання 1.6 для оцінки якості виробів методом експертного оцінювання в балах за п'ятибальною шкалою

Варіант 1 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	5	4	4	2	4	2
2	5	4	5	3	4	5
3	4	3	4	3	3	3
4	4	3	4	3	4	2
5	5	2	4	2	3	2
Узагальнений показник якості $K_{\text{екс}}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 2 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	4	3	5	5	4	3
2	3	3	5	4	4	3
3	4	2	5	4	3	4
4	4	3	5	5	3	3
5	4	2	5	4	4	3
Узагальнений						

показник якості, $K_{\text{екс}}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 3 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	5	4	5	4	3	3
2	4	3	5	4	3	2
3	4	4	5	5	3	3
4	4	4	4	3	2	4
5	4	3	5	3	3	4
Узагальнений показник якості, $K_{\text{екс}}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 4 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	4	5	4	4	3	2
2	5	5	3	3	2	3
3	4	5	4	3	3	3
4	4	5	4	3	4	2
5	4	5	4	3	3	3
Узагальнений показник якості, $K_{\text{екс}}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 5 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	4	4	3	3	4	5
2	3	4	2	3	4	5
3	3	5	2	4	3	4
4	3	4	2	3	3	5
5	4	4	3	3	4	5

Узагальнений показник якості, $K_{екс}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 6 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	4	3	4	3	5	3
2	4	3	5	3	5	4
3	3	2	5	4	5	4
4	3	2	4	3	4	4
5	3	3	4	3	5	3
Узагальнений показник якості, $K_{екс}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 7 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	3	5	4	3	3	3
2	3	5	4	2	3	3
3	3	5	5	2	4	4
4	3	5	4	2	3	3
5	3	5	4	3	3	4
Узагальнений показник якості, $K_{екс}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 8 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	2	3	4	5	5	3
2	3	4	4	5	4	3
3	3	3	4	5	4	4
4	2	3	4	5	4	3

5	2	4	4	4	4	3
Узагальнений показник якості, $K_{\text{екс}}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 9 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	5	3	4	4	3	4
2	5	4	4	4	3	3
3	5	3	4	5	2	4
4	5	3	3	4	3	3
5	5	3	3	4	3	3
Узагальнений показник якості, $K_{\text{екс}}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

Варіант 10 (визначається за останньою цифрою номеру залікової книжки)						
Номери експертів	Кількість балів, отриманих об'єктами експертизи					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1	5	4	2	3	4	3
2	4	4	3	4	5	4
3	4	4	3	3	5	4
4	4	4	2	3	5	4
5	5	4	2	3	5	3
Узагальнений показник якості, $K_{\text{екс}}$						
підсумковий ряд якості об'єктів						

2. ВИЗНАЧЕННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ

2.1 Визначення показників якості шляхом повних випробувань

Практично у всіх випадках надійність машини є основним показником її якості. Для машин знаходять застосування такі показники надійності [2]:

середнє напрацювання на відмову, T ;

ймовірність безвідмовної роботи, $R(t)$;

гамма-відсотковий ресурс, t_γ .

Для визначення показників надійності необхідний статистичний матеріал про відмови в експлуатації машин.

Відомо, що закон розподілу ресурсу t добре описується універсальним двохпараметричним законом Вейбулла-Гнеденко, для якого функція розподілу має вигляд

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right], \quad (2.1)$$

де a і b – параметри закону.

Невідомі параметри, a і b можуть бути визначені аналітично або графічно.

Параметри a і b пов'язані з середнім напрацюванням на відмову T , середнім квадратичним відхиленням σ і коефіцієнтом варіації ν залежностями

$$T = a \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right); \quad (2.2)$$

$$\sigma = a \cdot \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{b}\right)}; \quad (2.3)$$

$$\nu = \frac{\sigma}{T}. \quad (2.4)$$

В формулах (2.3) і (2.4) $\Gamma(x)$ – гамма-функція, що визначається за таблицями [2].

Ймовірність безвідмовної роботи $R(t)$ в інтервалі від 0 до t

$$R(t) = 1 - F(t), \quad (2.5)$$

де $F(t)$ – функція розподілу ресурсу, визначувана у разі закону Вейбулла-Гнеденко співвідношенням (2.1).

Гамма-відсотковий ресурс знаходять графічно.

Довірчі межі для середнього напрацювання на відмову T і ймовірність безвідмовної роботи $R(t)$ обчислюють із співвідношень

$$T_{\min}^{\max} = T \pm t_{\beta} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2.6)$$

$$R_{\min}^{\max}(t) = R(t) \pm t_{\beta} \cdot \sqrt{\frac{R(t) \cdot [1 - R(t)]}{N}}, \quad (2.7)$$

де t_{β} – квантиль нормального розподілу, що відповідає ймовірності.

Довірчі межі для гамма-відсоткового ресурсу визначають графічно.

При повних випробуваннях всі об'єкти доводяться на відмову, і результатом випробувань є вибірка напрацювань на відмову – t_i , $i = 1, 2, \dots, N$.

Для знаходження апроксимуючого закону розподілу напрацювання на відмову необхідне знання емпіричної функції розподілу F^* .

З цією метою:

Весь діапазон значень випадкової величини t_i розбивають на K інтервалів однакової довжини h . Далі визначають значення відносної частоти (частоти) W_i попадання напрацювань в i -й інтервал

$$W_i = \frac{n_i}{N}, \quad (2.8)$$

а потім емпіричну функцію розподілу F_i^* :

$$F_i^* = W_1 + W_2 + \dots + W_i \quad (2.9)$$

при цьому в кінці останнього k -го інтервала $F_k = 1$.

При графічному вписуванні теоретичного закону Вейбулла-Гнеденко і визначенні його параметрів a і b на спеціальному імовірнісному папері по осі абсцис відкладають значення правих меж інтервалу t_1'' , а по осі ординат – відповідні даному інтервалу значення емпіричної функції розподілу F_k^* , в результаті отримують точки, через які проводять пряму так, щоб вона проходила за можливість ближче до всіх точок. Побудована пряма є графіком теоретичного розподілу $F(t)$.

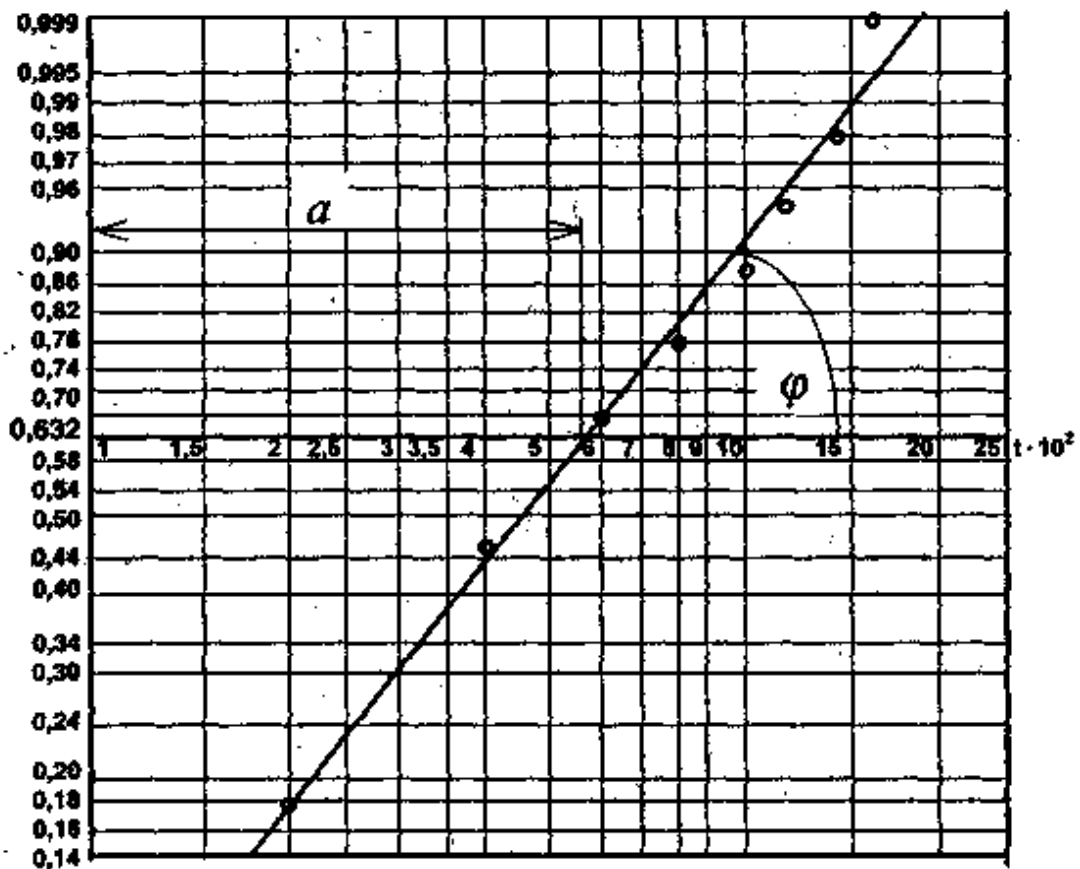


Рисунок 2.1 – Графічне визначення параметрів a і b

Шукані параметри a і b теоретичного закону визначають (рис. 2.1) таким чином:

a – безпосередньо з графіка;

$$b = 1,3 \operatorname{tg} \varphi$$

де φ – кут нахилу прямої до осі абсцис.

Після визначення середнього напрацювання на відмову T і значень ймовірності $R(t)$ за формулами (2.1) і (2.6) відповідно, проводять розрахунок цих же величин з довірчими межами, використовуючи залежності (2.6) і (2.7), і будують графік $R(t)$ (рис. 2.2).

Гамма-відсотковий ресурс t_γ знаходять графічно.

Приклад виконання завдання 2.1.

За наслідками повних випробувань на відмову 50 машин побудувати графік ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$, знайти середній T і 80 %-й ресурси з довірчими межами ($\beta = 90\%$ і $t_\beta = 1,645$) при початкових даних, відповідних напрацюванням до відмов:

350; 570; 490; 1080; 250; 1540; 340; 550; 930; 370; 350; 110; 510; 180; 1190; 290; 610; 380; 530; 120; 1150; 830; 930; 370; 510; 150; 660; 190; 420; 1350; 310; 880; 10; 270; 640; 790; 1360; 150; 540; 500; 190; 320; 300; 260; 540; 180; 980; 580; 740; 260.

З приведенного ряду значень знаходимо мінімальне $t_{\min} = 10$ год і максимальне $t_{\max} = 1540$ год.

Розмах вибірки

$$R = t_{\max} - t_{\min} = 1540 - 10 = 1530.$$

Приймаємо число інтервалів $K = 8$. Довжина інтервалу $h = \frac{R}{K} = \frac{1530}{8} = 192,5$ год, приймаємо $h = 200$ год. Результати подальших обчислень наведені в табл. 2.1, за матеріалами якої побудований графік (рис. 2.1) і розраховані:

– параметри закону розподілу Вейбулла-Гнеденко

$$a = 580 \text{ год}; b = 1,3 \operatorname{tg} \varphi = 1,3 \cdot 1,27 = 1,65.$$

– середній ресурс з довірчими межами при $\beta = 0,9$; $t_{\beta} = 1,645$;

$$T_{\min}^{\max} = 519 \pm \frac{1,645 \cdot 322}{\sqrt{50}} = 519 \pm 75 \text{ год}; T_{\max} = 594 \text{ год}; T_{\min} = 444 \text{ год};$$

80 %-й ресурс з довірчими межами (за графіком)

$$t_{80} = 240 \text{ год}; t_{80\max} = 310 \text{ год}; t_{80\min} = 170 \text{ год}.$$

Таблиця 2.1 - Результати розрахунків за прикладом

№	Межі інтервалів $t_i' + t_i''$	Число відмов машин в інтервалі n_i	Частість W_i	Емпірич. функція F_i^*	Теоретич. функція F_i	Ймовірність безвідм. роботи $R(t) = 1 - F_i$	Довірчий інтервал $R_{\min}^{\max}(t)$
1	0-200	9	0,18	0,18	0,16	0,84	0,76-0,93
2	200-400	14	0,28	0,46	0,42	0,58	0,47-0,70
3	400-600	11	0,22	0,68	0,65	0,35	0,24-0,46
4	600-800	5	0,10	0,78	0,82	0,18	0,09-0,27
5	800-1000	5	0,10	0,88	0,91	0,09	0,02-0,15
6	1000-1200	3	0,06	0,94	0,964	0,036	0-0,08
7	1220-1400	2	0,04	0,98	0,986	0,014	0-0,04 .
8	1400-1600	1	0,02	1,00	0,995	0,005	0-0,02
Σ		50	1,00				

За отриманими даними побудований (рис. 2.2) графік ймовірності безвідмовної роботи машин, на якому показані довірчі межі R_{\min}^{\max} , 80%-й ресурс t_{80} і його довірчі межі.

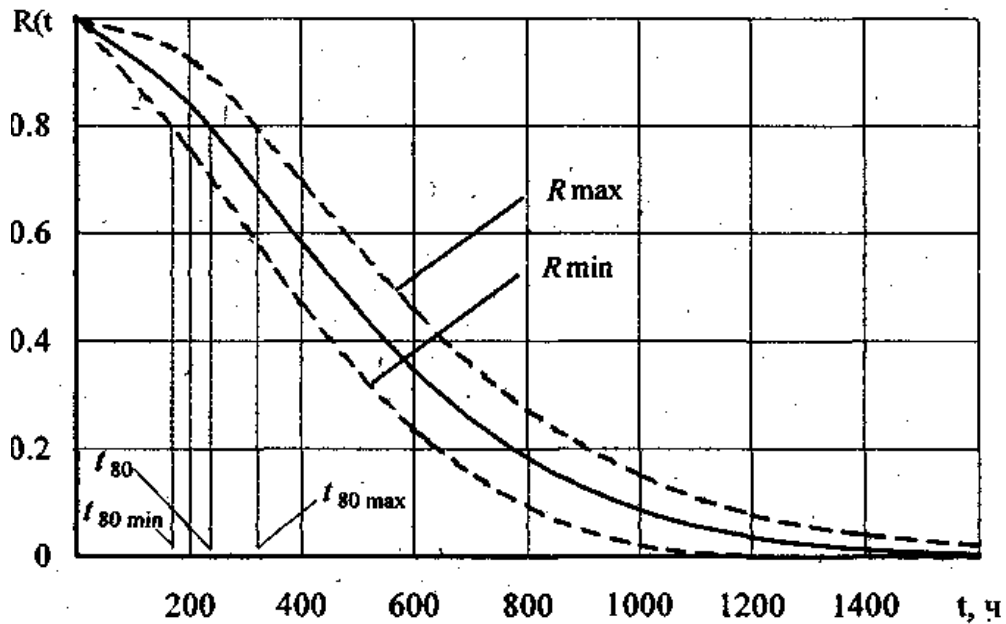


Рисунок 2.2 – Графік ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$ з довірчими межами

Завдання 2.1

За наслідками повних випробувань на відмову 50 машин по своєму варіанту здійснити розрахунки по наведених формулах і заповнити результатами таблицю (як в прикладі таблиця 2.1). Зробіть порівняння отриманих результатів з прикладом, використовуючи рисунки 2.1 та 2.2.

При виконанні самостійної роботи початкові дані (рядки) для розрахунків брати з таблиці 2.2, визначаючи свій варіант (свої рядки) згідно таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 - Початкові дані для виконання завдання 2.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	310	880	10	270	640	790	1360	150	540	500
2	190	320	300	260	540	180	980	580	740	260
3	1150	830	930	370	510	150	660	190	420	1350
4	350	570	490	1080	250	1540	340	550	930	370
5	626	624	622	493	816	619	496	600	1059	997
6	831	310	620	688	436	530	137	940	564	151
7	285	416	349	1014	663	652	639	788	461	708
8	165	480	275	345	552	538	570	673	130	566

9	202	324	634	244	776	379	289	496	632	136
10	350	110	510	180	1190	290	610	380	530	120

Таблиця 2.3 – Варіанти для виконання завдання 2.1

	Значення рядків по варіантам									
	остання цифра номеру залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
рядки	1-5	2-6	3-7	4-8	5-9	6-10	1-3,8,9	2-5,7	1-4,8	3-6,9
a	700	700	700	600	650	550	550	600	600	650
b	1,69	1,7	2,2	1,8	2,73	1,82	1,72	2,1	1,6	1,84

Приклад оформлення результатів виконання завдання 2.1 за варіантами

Варіант 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	310	880	10	270	640	790	1360	150	540	500
2	190	320	300	260	540	180	980	580	740	260
3	1150	830	930	370	510	150	660	190	420	1350
4	350	570	490	1080	250	1540	340	550	930	370
5	626	624	622	493	816	619	496	600	1059	997

Таблиця 1 - Результати розрахунків за варіантом 1

№	Межі інтервалів $t_i' + t_i''$	Число відмов машин в інтервалі n_i	Частість W_i	Емпірич. функція F_i^*	Теоретич. функція F_i	Ймовірність б. безвідм. роботи $R(t) = 1 - F$	Довірчий інтервал $R_{\max}(t)$ min
1	0-200						
2	200-400						
3	400-600						
4	600-800						
5	800-1000						
6	1000-1200						
7	1220-1400						
8	1400-1600						
Σ							

2.2 Прогнозування показників якості

Довговічність є одним з найважливіших показників якості. Довговічність – це властивість об'єкта зберігати працездатність до

настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту. При цьому, під граничним станом розуміють такий стан об'єкта, при якому його подальше застосування за призначенням неприпустиме або недоцільне, або відновлення його справного або працездатного стану неможливе або недоцільне. Довговічність оцінюється ресурсом, тобто напрацюванням до граничного стану.

Для деталей, що зношуються, вважається, що граничний стан визначається граничним розміром деталі. Зазвичай вдається зміряти знос U через відомі проміжки часу і побудувати реалізації зносу у вигляді функції

$$U = b \cdot t^\alpha,$$

де b і α параметри закону.

Параметр b може змінюватися в широких межах, а параметр α для виробу одного найменування змінюється трохи і задається заздалегідь. Прийнята функція використовується для розрахунку і прогнозування довговічності досліджуваного об'єкта.

Припустимо, є n вимірювань зносу $U_i(t)$ об'єктів одного найменування, наприклад, пальців гусеничного ланцюга базової машини через певний проміжок часу t_0 . Для кожного об'єкта справедлива залежність

$$U_i(t_0) = b_i \cdot t_0^\alpha. \quad (2.10)$$

Тоді величина b_i для i -го об'єкта знаходиться за наявним вимірюванням $U_i(t)$:

$$b_i = \frac{U_i(t_0)}{t_0^\alpha}. \quad (2.11)$$

Можна припустити, що середнє значення зносу U і середнє квадратичне відхилення σ_u у вибірці з n об'єктів змінюються в часі за таким же статечним законом (рис. 2.3):

$$U(t) = b_1^* \cdot t^\alpha \quad (2.12)$$

$$\sigma_u(t) = b_2^* \cdot t^\alpha \quad (2.13)$$

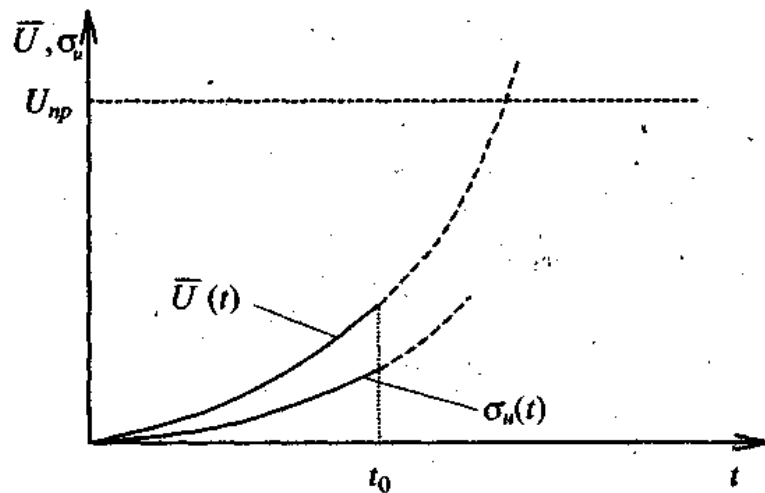


Рисунок 2.3 – Зміна середнього значення зносу $\bar{U}(t)$ і середнього квадратичного відхилення $\sigma_u(t)$ залежно від напрацювання t

Параметри b_1^* і b_2^* визначаються за значеннями $\bar{U}(t_0)$ і $\sigma_u(t_0)$ у момент вимірювання (через час роботи об'єкта t_0)

$$\bar{U}(t_0) = \frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_0)}{n}; \sigma_u(t_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2}{n-1}}. \quad (2.14)$$

Підставивши (3.2) в (3.1), отримаємо

$$b_1^* = \frac{\bar{U}(t_0)}{t_0^\alpha}; b_2^* = \frac{\sigma_u(t_0)}{t_0^\alpha}. \quad (2.15)$$

Середнє значення і середнє квадратичне відхилення зносу змінюються в часі, а відмова настає при досягненні кожним об'єктом граничного значення зносу. Для випадку, якщо знос розподілений за нормальним законом, ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$R(t) = F_0 \left(\frac{U_{np} - b_1^* \cdot t^\alpha}{b_2^* \cdot t^\alpha} \right), \quad (2.16)$$

де U_{np} – гранично допустимий знос об'єкта;

F_0 – табульована функція Лапласа.

Для заданих значень t будується графік ймовірності безвідмовної роботи і визначається гамма-відсотковий ресурс.

Приклад виконання завдання 2.2. Початкові дані для розрахунків отримують вимірюванням мінімального поперечного розміру пальців гусеничного ланцюга базової машини, що пропрацювала час t_0 . Вимірювання проводять в шести перетинах (рис. 2.4) трьох пальців, що працюють в парі з проушиною ланки і що мають явно виражені сліди зносу.

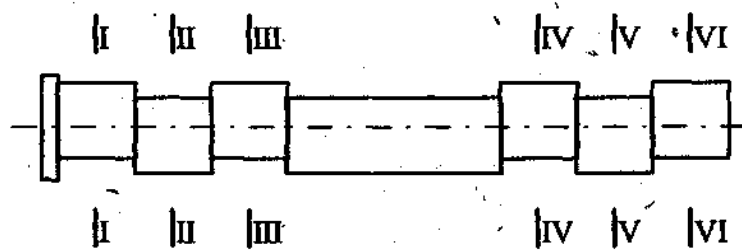


Рисунок 2.4 – Схема розташування поперечних перетинів для вимірювання зносу пальця гусеничного ланцюга

Результати вимірювань вносимо до табл. 2.4.

Обчислення зручно вести в табл. 2.5 і 2.6. Значення t_0 і b задаються. Граничне значення зносу для пальців гусеничного ланцюга $U_{пр}$ і початковий діаметр пальця d прийняти $U_{пр} = 7$ мм; $d = 22$ мм відповідно.

Робота закінчується побудовою графіка ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$ пальців ланцюга (рис. 2.5) і визначенням 80-відсоткового ресурсу.

Результати вимірювань мінімального поперечного розміру пальців в різних перетинах, після напрацювання $t_0 = 1000$ год, наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм

Номер	Номер перетину
-------	----------------

пальця	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
1	20,5	19,8	19,6	19,8	19,3	20,5
2	20,3	18,8	18,7	18,7	18,6	20,0
3	20,2	18,9	18,9	18,6	18,5	20,0

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1	1,5	1,14	10	3,3	0,53
2	2,2	0,14	11	3,4	0,85
3	2,4	0,03	12	2,0	0,32
4	2,2	0,14	13	1,8	0,81
5	2,7	0,02	14	3,1	0,28
6	1,5	1,14	15	3,1	0,28
7	1,7	0,76	16	3,4	0,85
8	3,2	0,40	17	3,5	0,86
9	3,3	0,53	18	2,0	0,32
			Σ	46,3 мм	9,4 мм ²

Відповідно до (2.14)

$$\bar{U}(t_0) = 2,57 \text{ мм}; \quad \sigma_u(t_0) = 0,74 \text{ мм};$$

Коефіцієнти b_1^* ; b_2^* (2.15) рівні відповідно:

$$b_1^* = \frac{2,57}{1000^{1,4}} = 1,62 \cdot 10^{-4}$$

$$b_2^* = \frac{0,74}{1000^{1,4}} = 0,467 \cdot 10^{-4}$$

Таблиця 2.6 – Результати обчислення ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$ пальців ланцюга

t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
-------	-----	-----	------	------	------	------	------

$\frac{U_{\text{пр}} - b_1^* t^a}{b_2^* t^a}$	30,64	9,46	3,86	1,43	0,11	-0,69	-1,23
$R(t)$	1,0	1,0	1,0	0,924	0,544	0,245	0,109

За отриманими даними побудований графік ймовірності безвідмовної роботи пальців ланцюга (рис. 4.3), на якому представлений 80 %-й ресурс $t_{80} = 1750$ год. Обчислення наведені в табл. 2.6, виконані для $b = 1,4$.

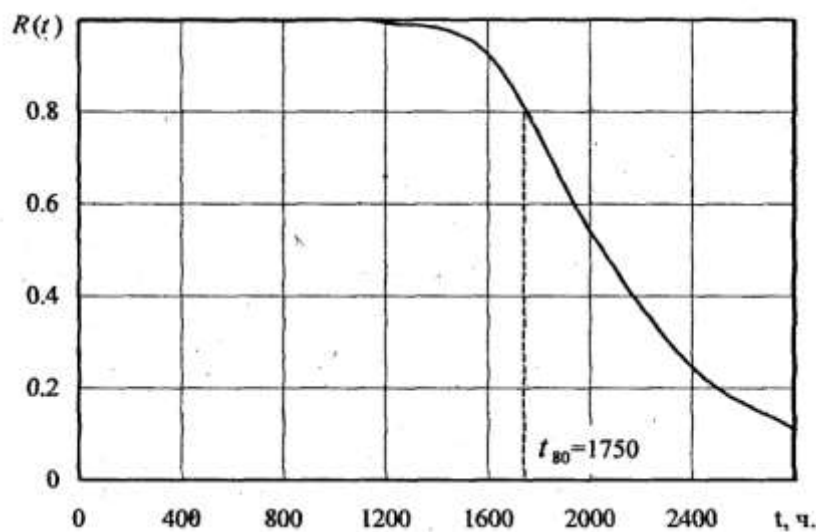


Рисунок 2.5 – Графік ймовірності безвідмовної роботи пальців гусеничного ланцюга

При виконанні самостійної роботи слід провести вимірювання зносу досліджуваної деталі і виконати розрахунки за статистичним прогнозуванням її надійності.

Завдання 2.2

Самостійно виконати розрахунки зносу та статистичного прогнозування надійності машин по своєму варіанту.

При виконанні самостійної роботи свій варіант визначати за останньою цифрою номеру залікової книжки, початкові дані для розрахунків брати з таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Варіанти для виконання завдання 2.2 (остання

цифра номеру залікової книжки)

Варіант 1 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	19.3	20.5	19.6	19.8	20.5	19.8	
2	18.7	20.3	20.0	18.8	18.7	18.6	
3	20.0	20.2	18.9	18.9	18.6	18.5	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-1

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 2 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	19.8	19.3	20.5	18.6	18.7	18.7	
2	20.0	20.0	19.6	19.8	18.9	18.8	
3	18.5	20.5	20.3	18.9	20.2	18.6	
b_1^*							
b_2^*							

t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-2

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 3 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	18.9	19.8	18.5	20.5	18.6	20.3	
2	19.6	18.7	20.5	18.6	20.0	20.0	
3	19.3	20.2	18.9	18.7	19.8	18.8	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-3

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		

9			18		
			Σ		

Варіант 4 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	18.7	20.5	19.3	19.6	20.5	19.8	
2	19.8	20.0	18.9	18.6	18.9	20.2	
3	18.8	18.6	20.0	18.5	20.3	18.7	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-4

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 5 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	19.6	20.0	19.8	18.5	18.9	20.5	
2	18.6	19.3	18.9	18.7	20.3	18.7	
3	19.8	20.0	20.5	18.8	20.0	18.6	
b_1^*							

b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-5

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 6 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	20.5	18.6	20.2	19.8	18.8	18.7	
2	18.7	18.5	18.6	20.0	19.3	18.9	
3	20.3	20.5	19.8	18.9	20.0	19.6	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-6

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		

7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 7 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	18.6	20.5	20.0	19.3	18.7	18.5	
2	18.9	19.8	19.6	19.8	20.5	18.8	
3	20.0	18.9	18.7	20.3	18.6	20.2	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-7

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 8 (початкові дані)						
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм						
Номер пальця	Номер перетину					
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
1	20.0	19.8	20.5	18.9	19.8	20.2
2	19.6	18.5	20.0	18.6	18.7	18.6

3	20.5	19.3	18.7	18.9	20.3	18.8	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-8

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 9 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	19.8	20.3	20.0	20.5	20.2	18.8	
2	18.7	19.6	18.6	18.5	20.5	19.3	
3	18.9	18.9	20.0	18.6	18.7	19.8	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-9

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		

5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

Варіант 10 (початкові дані)							
Результати вимірювань розмірів поперечних перетинів пальців $d_i(t_0)$, мм							
Номер пальця	Номер перетину						
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
1	18.9	18.7	19.8	18.9	20.5	20.0	
2	20.0	20.5	18.5	20.2	18.7	19.6	
3	19.3	18.6	18.8	19.8	18.6	20.3	
b_1^*							
b_2^*							
t_i	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
$R(t)$							

Результати розрахунків, Варіант-10

i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$	i	$U_i(t_0) = d - d_1(t_0)$	$[U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2$
1			10		
2			11		
3			12		
4			13		
5			14		
6			15		
7			16		
8			17		
9			18		
			Σ		

2.3 Забезпечення показників якості резервуванням заміщенням

Одним з найефективнішим засобом забезпечення надійності в експлуатації і, як наслідок, якості машин є резервування заміщенням.

Для машин в експлуатації знаходять застосування такі показники надійності:

- середнє напрацювання на відмову T_0 ;
- середній час відновлення працездатного стану T_B ;
- коефіцієнт готовності K_Γ .

Перший показник надійності характеризує безвідмовність об'єкту і може бути визначений як відношення повної тривалості роботи об'єкта $\sum_{i=1}^{n_0} t_{oi}$ до повного числа зареєстрованих відмов n_0

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} t_{oi}}{n_0}. \quad (2.16)$$

Другий показник характеризує ремонтпридатність об'єкта, його визначають як відношення сумарного часу, витраченого на відновлення $\sum_{i=1}^{n_0} t_{bi}$, до загального числа відновлень, чисельно рівних кількості виниклих відмов n_0 :

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} t_{bi}}{n_0}. \quad (2.17)$$

Коефіцієнт готовності K_Γ – комплексний показник надійності. Він кількісно характеризує властивості як безвідмовності об'єкта, так і ремонтпридатності, і визначається як ймовірність того, що об'єкт опиниться в працездатному стані в довільний момент часу:

$$K_\Gamma = \frac{T_0}{T_0 + T_B}. \quad (2.18)$$

Можна вважати, що K_T чисельно рівний частці працездатних об'єктів у будь-який момент часу.

Для визначення перерахованих показників надійності ремонтіваних об'єктів потрібний статистичний матеріал, який зазвичай збирається в умовах рядової експлуатації, або в умовах підконтрольних спеціальних випробувань.

Надійність об'єкту як системи, що складається з ряду елементів, можна визначити також по даним про надійність кожної її складової частини або елементу. Як правило, визначити показники надійності деталі або вузла простіше, ніж всієї системи в цілому. В даний час є необхідні методи і технічні засоби для випробування на надійність різних робочих органів, деталей, вузлів.

Надійність машини, як системи, залежить від її структури. Більшість машин і агрегатів – це системи з послідовною структурою, при якій відмова системи настає у разі відмови будь-якого її елементу. Вид такої структури з трьох елементів представлений на рис. 2. 6. Це може бути, наприклад, ведучий міст базової машини, в якому елемент 1 – головна передача, елемент 2 – піввісь і елемент 3 – бортові редуктори. В цьому випадку говорять про послідовне з'єднання елементів в системі, а ймовірність безвідмовної роботи системи при незалежних відмовах елементів визначають по формулі:

$$R_c = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (2.19)$$

де R_1, R_2 і R_3 – ймовірність безвідмовної роботи елементів.

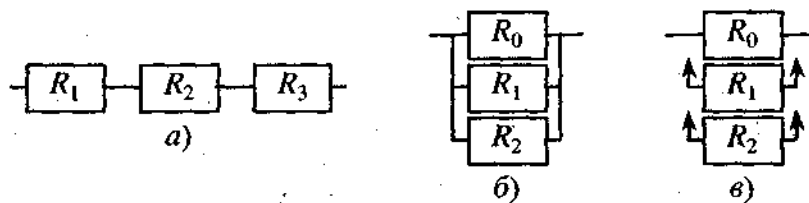


Рисунок 2.6 – Структурні схеми з трьох елементів:
a – послідовне з'єднання; *б* – паралельне з'єднання (постійне резервування);
в – резервування заміщенням

При недостатній надійності яких-небудь елементів надійність системи можна підвищити введенням надмірності, тобто шляхом резервування. Резервування буває постійним (навантаженим),

структура якого приведена на рис. 2.6, б, або може здійснюватися шляхом заміщення (рис. 2.6, в). У останньому випадку маємо ненавантажений резерв, оскільки резервні елементи включаються в роботу тільки при відмові основного. Постійне резервування називають паралельним з'єднанням елементів. У разі незалежності відмов ймовірність безвідмовної роботи системи з паралельним з'єднанням трьох елементів (рис. 2.6, б) визначається за формулою

$$R_c = 1 - (1 - R_0) \cdot (1 - R_1) \cdot (1 - R_2), \quad (2.20)$$

де R_0, R_1 і R_2 – ймовірність безвідмовної роботи основного і резервних елементів.

У мобільних машинах постійне резервування використовується значно рідше, ніж резервування заміщенням. При резервуванні заміщенням середнє напрацювання на відмову системи, що складається з одного основного (що працює) і K таких же резервних елементів, визначається за формулою

$$T_c = (1 + K) \cdot T, \quad (2.21)$$

де T_c – середнє напрацювання на відмову елемента.

Середнє квадратичне відхилення σ_c напрацювання на відмову цієї системи визначається з виразу

$$\sigma_c = \sigma_e \cdot \sqrt{1 + K}, \quad (2.22)$$

де σ_e – середнє квадратичне відхилення напрацювання на відмову елемента.

З (2.21) і (2.22) витікає, що коефіцієнти варіації напрацювання на відмову системи ν_c і елемента ν_e при резервуванні заміщенням зв'язані співвідношенням:

$$\nu_c = \frac{\nu_e}{\sqrt{1 + K}}. \quad (2.23)$$

При розподілі напрацювання на відмову системи згідно із законом Вейбулла його параметр форми b_c однозначно визначається величиною коефіцієнта варіації ν_c . Ця залежність при $0,1 < \nu_c < 1$ з достатньою для практичного використання точністю описується наближеним виразом:

$$b_c \frac{1,126}{v_c} + \frac{0,011}{v_c^2} + 0,137 \quad (2.24)$$

звідки, з обліком (2.23), витікає, що

$$b_c = \frac{1,126}{v_e} \sqrt{1+K} + \frac{0,011}{v_e^2} (1+K) - 0,137. \quad (2.25)$$

Параметр масштабу розподілу напрацювання на відмову системи, виходячи з (2.21) визначається по формулі:

$$a_c = \frac{T_c}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)} = \frac{(1+K)T_g}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}. \quad (2.26)$$

При зроблених припущеннях ймовірність безвідмовної роботи системи з того, що одного працює і K резервних (запасних) елементів, що послідовно включаються в роботу при настанні відмов на заданому інтервалі напрацювання T , визначається з виразу:

$$R_c = \exp \left\{ - \left[\frac{T \cdot \tilde{A} \left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}{T_a (1+K)} \right]^{b_c} \right\} \quad (2.27)$$

в якому параметр b_c визначається за формулою (2.25).

Ймовірність безвідмовної роботи елемента $R_e(t)$ на інтервалі T можна також визначати по формулі (2.27). Поклавши у ній $K=0$, отримаємо вираз:

$$R_e = \exp \left\{ - \left[\frac{T \cdot \tilde{A} \left(1 + \frac{1}{b_e}\right)}{T_e} \right]^{b_e} \right\} \quad (2.28)$$

у якому параметр форми b_a відповідно до (2.25) визначається за формулою

$$b_e = \frac{1,126}{v_e} + \frac{0,011}{v_e^2} - 0,137 \quad (2.29)$$

Величина $R_c(t)$ визначає ймовірність того, що за період T не наступить стан, при якому подальше відновлення працездатності системи стане вже неможливим через відсутність резервних елементів. Ймовірність того, що у будь-який момент часу система не знаходиться в стані відновлення за наявності резервних елементів, визначається величиною коефіцієнта готовності K_Γ .

Ймовірність того, що ще не витрачені резервні елементи і система не знаходиться в стані відновлення, визначається твором вказаної вище ймовірності і є комплексним показником надійності резервованих способом заміщення систем, який називають коефіцієнтом оперативної готовності $K_{OG}(T)$:

$$K_{OG}(T) = K_\Gamma \cdot R_c(t) \quad (2.30)$$

Величина цього показника відповідає заданому інтервалу часу роботи, із збільшенням якого коефіцієнт оперативної готовності монотонно зменшується. З його допомогою можна визначити середнє число працездатних машин до кінця періоду T :

$$N_p = (T) = N \cdot K_{OG}(T) \quad (2.31)$$

де – N загальне число машин.

Приклад і послідовність виконання завдання 2.3.

Початкові статистичні дані про напрацювання між відмовами t_i і час відновлення t_{vi} системи (машини), що складається з трьох умовних елементів, (агрегатів) з послідовним з'єднанням (рис.2.6 а) вибирають з табл. 2.8. Вони повинні містити задану кількість напрацювань системи між відмовами t_i і така ж кількість значень часу відновлення t_{vi} .

Таблиця 2.8 – Статистичні дані про напрацювання між відмовами і часу відновлення системи

пп	Напрацювання між відмовами t_{oi} , год	Час відновлення t_{vi} , год
0	41, 20, 97, 104, 53	2,1; 2,4; 8,6; 5,6; 4,3
1	88,76,302,176,12	6,3; 7,0; 2,3; 2,8; 8,1
2	34, 84; 168, 28, 96	5,5; 3,6; 7,0; 5,0; 3,7
3	205,72, 28, 136, 173	3,4; 5,4; 10,2; 3,3; 4,7
4	44, 80, 35, 192, 306	2,5; 5,6; 6,4; 6,9; 7,7
5	67,224,111,260,79	1,3; 3,4; 10,2; 2,2; 3,9
6	93,244,319,188,56	1,9; 4,9; 2,8; 5,8; 12,1
7	133,216,107,32,39	7,5; 6,4; 9,4; 1,5; 11,0
8	84,360,148,248,16	3,5; 1,1; 13,4; 3,9; 8,7
9	37,112,49,196,201	6,6; 1,8; 1,6; 11,6; 5,4

Далі, використовуючи вибрані статистичні дані, по формулах (2.17) і (2.18) визначають показники надійності системи: середнє напрацювання на відмову T_0 ; середній час відновлення T_B ; і коефіцієнт готовності K_G .

Коефіцієнт готовності K_G припускає можливість необмеженого числа відновлень (або запасних елементів). На наступному етапі проводять оцінку надійності системи на заданий період часу T у разі, коли число можливих відновлень обмежене кількістю наявних резервних елементів. Початкові дані для такої оцінки вибирають з табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Початкових даних про надійність елементів

№ з/п	Коефіцієнти варіації напрацювання про відмови t_{oi} , год			Середні напрацювання на відмову t_{vi} , год		
	$V_{\varepsilon 1}$	$V_{\varepsilon 2}$	$V_{\varepsilon 3}$	$T_{\varepsilon 1}$, ч	$T_{\varepsilon 2}$, ч	$T_{\varepsilon 3}$, ч
0	0,4	0,5	0,6	200	500	300
1	0,5	0,4	0,7	400	200	300
2	0,6	0,5	0,8	500	400	200
3	0,4	0,7	0,5	200	300	500
4	0,5	0,8	0,4	400	500	200

5	0,6	0,4	0,7	300	200	400
6	0,4	0,6	0,8	500	300	200
7	0,5	0,6	0,8	300	500	400
8	0,6	0,4	0,5	500	200	400
9	0,8	0,4	0,7	200	400	500

За допомогою цих даних за формулою (2.29) визначають параметри b_{e1} , b_{e2} і b_{e3} , а потім за формулою (2.28) для заданого періоду $T = 100$ ч визначають ймовірність безвідмовної роботи елементів системи $R_{e1}(T)$, $R_{e2}(T)$ і $R_{e3}(T)$ і за формулою (7.4) – ймовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи

$$R_{nc}(T).$$

Потім з урахуванням знайдених значень $R_{e1}(T)$, $R_{e2}(T)$ і $R_{e3}(T)$ відбирають найбільш раціональні варіанти (не менше два) резервування системи заміщенням за допомогою трьох резервних елементів з схем, приведених на рис. 2.7 так, щоб забезпечити максимальну ймовірність безвідмовної роботи системи. При виборі раціональних варіантів резервування слід розглядати в першу чергу схеми, які забезпечують резервування найменш надійних елементів системи.

Для відібраних варіантів схем, використовуючи формули (2.19) і (2.20), розраховують величини ймовірності безвідмовної роботи системи, спочатку вважаючи, що резервні елементи утворюють паралельне з'єднання з основними (постійне резервування). Порівнюючи альтернативні варіанти схем, вибирають остаточний варіант з найбільшою ймовірністю безвідмовної роботи системи з постійним резервуванням і потім по формулах (2.25), (2.27) і (2.19) для вибраного варіанту схеми резервування визначають ймовірність безвідмовної роботи системи $R_c(T)$ при резервуванні заміщенням.

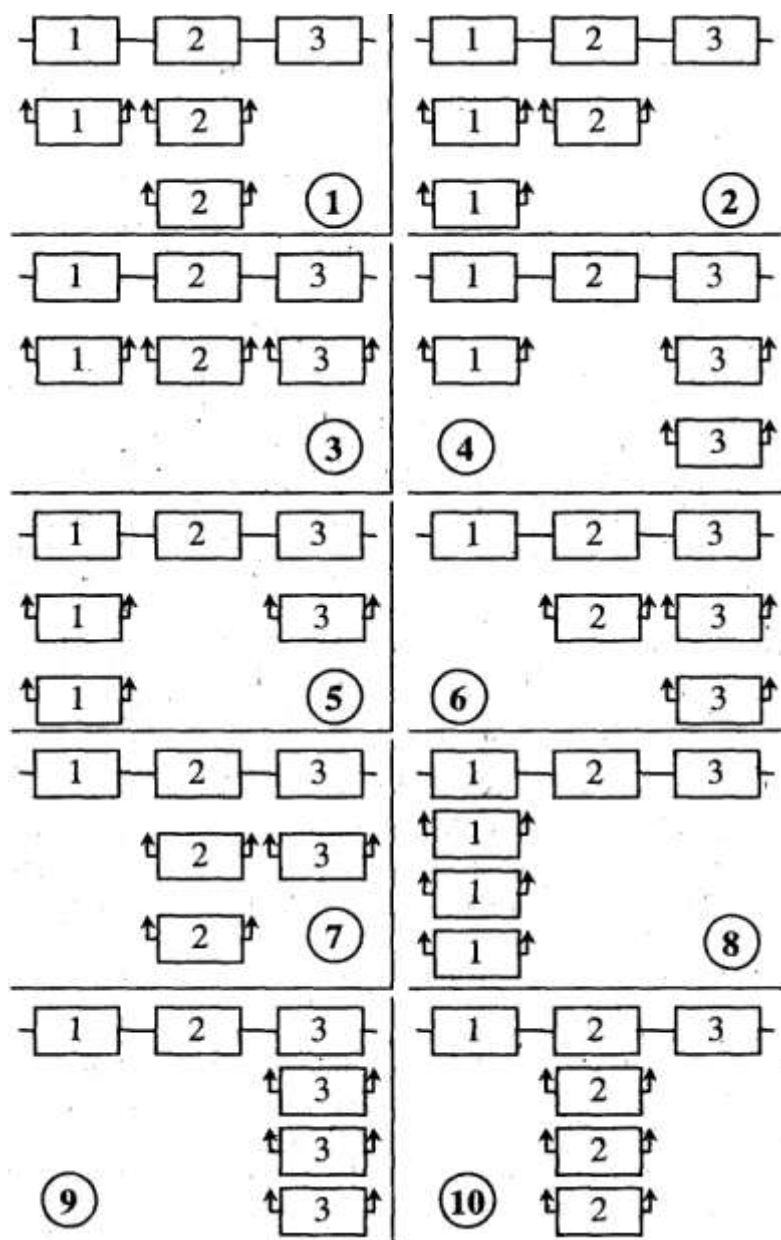


Рисунок 2.7 – Варіанти резервування елементів в системі

Цей показник характеризує надійність системи при миттєвій заміні елементів, що відмовили, резервними.

За формулою (2.30) розраховують коефіцієнт оперативної готовності $K_{ог}(T)$, що враховує реальний час заміни елементів і обмеженість їх числа, і будують графіки зміни $K_{ог}(T)$ і $R_c(T)$ при збільшенні T . За графіком функції $K_{ог}(T)$ визначають період роботи T , відповідний заданому значенню коефіцієнта оперативної готовності $K_{ог}(T)$

Таблиця 2.10 – Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i	41	76	168	136	306	67	244	107	248	201	$\sum t_i = 1594$
Час відновлення t_{bi}	2,1	7,0	5,0	4,7	3,6	3,4	6,9	10,2	5,8	1,8	$\sum t_{bi} = 50,5$

Відповідно до формул (2.16) (2.17) (2.20), середнє напрацювання на відмову системи:

$$T_0 = \frac{\sum t_i}{n_0} = \frac{1594}{10} = 159,4 \text{ год}$$

середній час відновлення

$$T_B = \frac{\sum t_{bi}}{n_0} = \frac{50,5}{10} = 5,05 \text{ год}$$

коефіцієнт готовності

$$\hat{E}_\Gamma = \frac{T_0}{T_0 + T_{\hat{a}}} = \frac{159,4}{159,4 + 5,05} = 0,969.$$

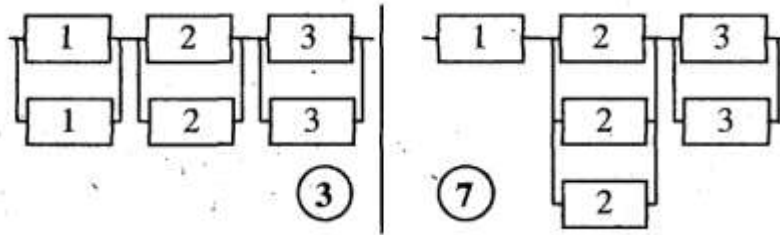
Таблиця 2.11 – Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_e , год	V_e , год	b_e	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_e}\right)$	$R_e(100)$
1	450	0,5	2,16	0,8856	0,9706
2	200	0,7	1,49	0,9033	0,7364
3	400	0,6	1,77	0,8900	0,9324

Ймовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи

$$R_{nc}(100) = 0,9706 \cdot 0,7364 \cdot 0,9324 = 0,6664.$$

Альтернативні варіанти постійного резервування



Ймовірність безвідмовної роботи за варіантом 3:

$$R_{c1} = 1 - (1 - 0,9706)^2 = 0,9991;$$

$$R_{c2} = 1 - (1 - 0,7364)^2 = 0,9305;$$

$$R_{c3} = 1 - (1 - 0,9324)^2 = 0,9954;$$

$$R'_c = 0,9991 \cdot 0,9954 = 0,9254.$$

Ймовірність безвідмовної роботи за варіантом 7:

$$R'_{c2} = 1 - (1 - 0,7364)^2 = 0,9817.$$

$$R'_c = 0,9991 \cdot 0,9817 \cdot 0,9954 = 0,9485.$$

Для варіанта 7, у якого R'_c вище, розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи при резервуванні заміщенням.

Для другого елемента при $K = 2$ за формулою (2.25) визначуваний параметр форми

$$b_2 = \frac{1,126}{0,7} \sqrt{3} + \frac{0,011}{0,49} \cdot 3 - 0,137 = 2,72.$$

Значення гамма-функції з таблиці:

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{2,72}\right) = 0,8893.$$

Ймовірність безвідмовної роботи за формулою (2.27):

$$R_{c2}(100) = \exp\left[-\left(\frac{100 \cdot 0,8893}{200 \cdot 3}\right)^{2,72}\right] = 0,9945.$$

Для третього елемента при $K=1$ маємо

$$b_3 = \frac{1,126}{0,6} \sqrt{2} + \frac{0,011}{0,36} \cdot 2 - 0,137 = 2,58,$$

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{2,58}\right) = 0,8879,$$

$$R_{c3}(100) = \exp\left[-\left(\frac{100 \cdot 0,8879}{400 \cdot 2}\right)^{2,58}\right] = 0,9966.$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи при $T = 100$ год

$$R_c(100) = 0,9706 \cdot 0,9945 \cdot 0,9966 = 0,962.$$

Коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{oz}(100) = 0,969 \cdot 0,962 = 0,9322.$$

Величини R_c і $K_{ор}$ при значеннях $T = 150$ год і $T = 200$ год розраховуємо аналогічно і заносимо в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Результати розрахунків R_c і $K_{ор}$

T	0	1000	1500	2000
R_{c1}	1	0,9706	0,9308	0,8751
R_{c2}	1	0,9945	0,9834	0,9640
R_{c3}	1	0,9966	0,9903	0,9796
R_c	1	0,9620	0,9065	0,8264
$K_{ор}$	0,969	0,9322	0,8784	0,8008

Будуємо графіки R_c і $K_{ор}$ у функції T і визначуваний період роботи, відповідний заданому значенню $K_{іа} = 0,9$:

$T = 130$ (рис. 2.8). На графіці наносимо постійний рівень $K_r = 0,969$

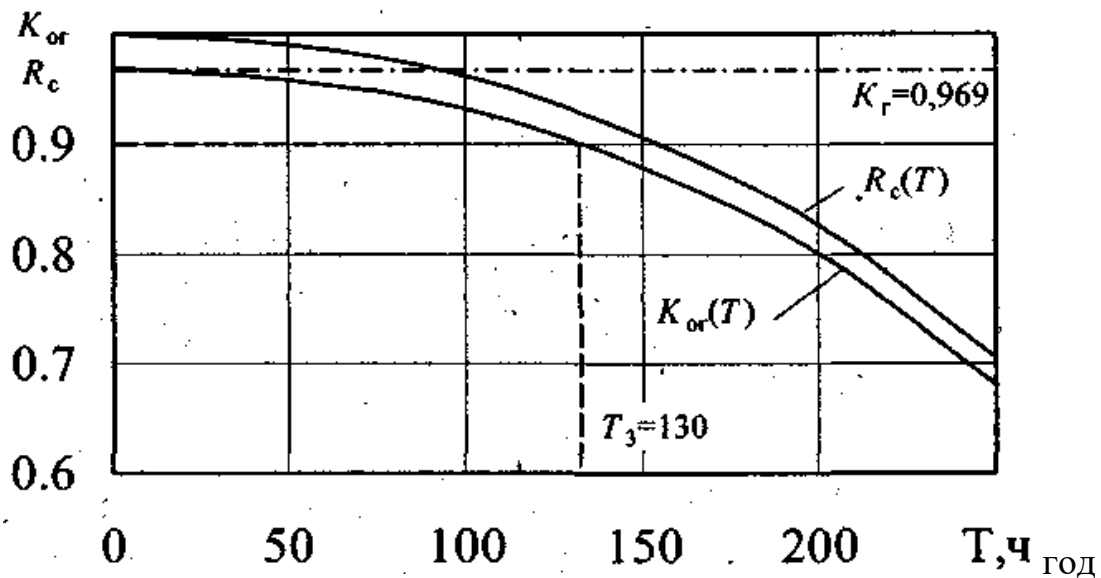


Рисунок 2.8 – Графіки ймовірності безвідмовної роботи системи і коефіцієнта оперативної готовності

Отримані показники комплексно характеризують надійність ремонтної системи.

При виконанні самостійної роботи слід вибрати початкові дані з таблиці 2.13 і використовувати варіанти резервування з рис. 2.7.

Завдання 2.3

При виконанні завдання слід вибрати початкові дані з таблиць 2.13 і використовувати варіанти резервування з рис. 2.7.

Таблиця 2.13 - Варіанти для виконання завдання 2.3

Варіант 1

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
410	760	1680	1360	3060	670	2440	1070	2480	2010	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
21	70	50	47	36	34	69	102	58	18	$\sum t_{ei} =$

$$\hat{E}_{\tilde{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_a} =$$

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_e , ч	V_s ,	b_s	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_s}\right)$	$R_a(1000)$
1	4500	0,5	2,16		
2	2000	0,7	1,49		
3	4000	0,6	1,77		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$	0.969			

Варіант 2

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i

400	750	1650	1350	3050	650	2400	1050	2450	2000	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
20	65	45	45	35	30	65	100	55	15	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\tilde{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\tilde{a}}} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_e , ч	V_3	b_3	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_{\tilde{a}}(1000)$
1	4000	0,5	2,16		
2	2000	0,4	2,75		
3	3000	0,7	1,49		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			

$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$				

Варіант 3

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
720	770	1650	1370	3050	650	2400	1050	2450	2050	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
22	72	48	45	35	35	70	100	60	20	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\bar{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\bar{a}}} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	$T_e, \text{ч}$	$V_3,$	b_3	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_{\bar{a}}(1000)$
1	5000	0,6	1,77		
2	4000	0,5	2,30		
3	2000	0,8	1,29		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш

ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
K_{or}				

Варіант 4

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
350	800	1700	1200	3080	650	2400	1070	2450	2000	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
20	80	100	20	40	45	80	90	60	20	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\tilde{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\tilde{a}}} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	$T_e, \text{ч}$	$V_s,$	b_s	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_s}\right)$	$R_{\tilde{a}}(1000)$
1	2000	0,4	2,75		
2	3000	0,7	1,49		
3	4000	0,5	2,16		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10

$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$				

Варіант 5

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
400	700	2000	1350	3000	500	3000	1050	2500	2050	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
20	65	45	50	40	35	50	120	60	30	$\sum t_{ei} =$
$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_e} = 0997$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	$T_e, ч$	$V_3,$	$b_3,$	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_a(1000)$
1	4000	0,5	2,16		
2	5000	0,8	1,29		
3	2000	0,4	2,75		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7
--	---------------------------------------

	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
K_{or}				

Варіант 6

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
400	700	2000	1350	3000	500	3000	1050	2500	2050	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
20	65	45	50	40	35	50	120	60	30	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\bar{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_a} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елементу	T_e , ч	V_3 ,	b_3	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_a(1000)$
1	5000	0,4	2,75		
2	3000	0,6	1,77		
3	2000	0,8	1,29		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$				

Варіант 6

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
300	800	1700	1300	3000	650	2500	1000	2050	3000	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										

20	40	70	50	30	40	80	100	52	28	$\sum t_{ei} =$
$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_e} = 0997$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_e , ч	V_3 ,	b_3	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_a(1000)$
1	3000	0,5	2,16		
2	5000	0,6	1,77		
3	4000	0,8	1,29		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$				

Варіант 7

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
400	700	1500	1200	3050	700	2400	1100	2500	2000	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
20	60	70	50	20	50	100	20	60	20	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\bar{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\bar{a}}} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_e , ч	V_3 ,	b_3	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_{\bar{a}}(1000)$
1	5000	0,6	1,77		
2	2000	0,4	2,75		
3	4000	0,5	2,16		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
K_{or}				

Варіант 8

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
300	1000	1080	1400	3100	700	2500	1000	2500	2000	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
20	60	40	50	40	35	70	100	55	15	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\tilde{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\tilde{a}}} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_e , ч	V_s ,	b_s	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_s}\right)$	$R_{\tilde{a}}(1000)$
1	3000	0,6	1,77		
2	2000	0,4	2,75		
3	4000	0,7	1,49		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7					
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					

$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$				

Варіант 9

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
100	500	2000	1500	4000	700	3000	2000	1000	1000	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
10	50	100	50	20	40	70	120	40	15	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\bar{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\bar{a}}} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	$T_e, \text{ч}$	$V_3,$	b_3	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_{\bar{a}}(1000)$
1	2000	0,8	1,29		
2	4000	0,4	2,75		
3	5000	0,7	1,49		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7					
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					

$R_{c_2}(1000)$					
$R_{c_3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c_1}(1000)$					
$R_{c_2}(1000)$					
$R_{c_3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c_1}(1000)$	1			
$R_{c_2}(1000)$	1			
$R_{c_3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$				

Варіант 10

Початкові дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Напрацювання між відмовами t_i										
300	800	1700	1200	3000	700	2400	1000	2400	2000	$\sum t_i =$
Час відновлення t_{ei}										
10	50	40	40	20	50	70	80	100	10	$\sum t_{ei} =$
$\hat{E}_{\bar{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\hat{a}}} =$										

Початкові дані і результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи елементів

№ елементу	$T_e, \text{ ч}$	$V_3,$	$b_3,$	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)$	$R_{\hat{a}}(1000)$
1	2000	0,4	2,75		

2	5000	0,5	2,16		
3	3000	0,6	1,77		

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за варіантами заміщення згідно рисунку 2.7

	Варіанти заміщення згідно рисунку 2.7				
	1	2	3	4	5
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					
	6	7	8	9	10
$R_{c1}(1000)$					
$R_{c2}(1000)$					
$R_{c3}(1000)$					
$R_c(1000)$					

За результатами розрахунків $R_c(1000)$ визначаємо найбільш ефективний варіанту заміщення і для цього варіанту здійснюємо наступний розрахунок

T	0	1000	1500	2000
$R_{c1}(1000)$	1			
$R_{c2}(1000)$	1			
$R_{c3}(1000)$	1			
$R_c(1000)$	1			
$K_{ог}$				

2.4 Розрахунок резервних елементів за профілактичною заміною з діагностикою

Розглянемо випадок, коли потік відмов – простий з параметром потоку

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{сер}}} = \text{const.}$$

Розрахунок ведеться для N працюючих машин.

Періодичність діагностування і профілактики $T = \text{const.}$

В кінці кожного періоду T здійснюються профілактичні заміни тільки тих деталей, які за наслідками діагностування не відпрацюють до кінця подальшого періоду. В цьому випадку за m періодів середня кількість профілактичних замін за умови ідеальної (абсолютно точною) діагностики складе

$$\bar{n}_n = N \cdot \frac{T}{T_{\text{сер}}} \cdot (m - 1). \quad (2.32)$$

При цьому середня кількість замін, обумовлених відмовами в експлуатації, складає

$$\bar{n}_o = N \cdot \frac{T}{T_{\text{сер}}} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_{\text{сер}}} \cdot (m - 1) \right]. \quad (2.32)$$

Наявність другого доданку в дужках обумовлена відмовами деталей, замінених перед початком кожного періоду T .

Загальна середня кількість замін визначається як сума

$$n_{\text{сер}} = \bar{n}_n + \bar{n}_o. \quad (2.33)$$

Достатнє (із заданою ймовірністю (α)) забезпечення кількості запасних частин на термін mT визначається відомою формулою

$$n_\alpha = n_{\text{сер}} + U_\alpha \cdot \sqrt{n_{\text{сер}}}, \quad (2.34)$$

де U_α – квантиль нормального розподілу, відповідний ймовірності α .

Приклад виконання завдання 2.4

Початкові дані: $N = 100$ машин; $T = 1000$ год; $m = 12$; $T_{\text{сер}} = 6000$ год.

Середня кількість профілактичних замін за 12 періодів експлуатації складе (11.1)

$$\bar{n}_n = 100 \cdot \frac{1000}{6000} \cdot (12 - 1) = 183.$$

При цьому середня кількість замін в експлуатації через відмови складає (11.2):

$$\bar{n}_o = 100 \cdot \frac{1000}{6000} \cdot \left[1 + \frac{1000}{6000} \cdot (12 - 1) \right] = 47.$$

Сумарна середня кількість замін

$$n_{\text{сер}} = 183 + 47 = 230.$$

Для порівняння оцінимо середню кількість замін в експлуатації за цей же період, якщо не проводити профілактичних замін, а проводити ремонт по потребі

$$n_{\text{сер}}' = N \cdot \frac{T_m}{T_{\text{сер}}} = 100 \cdot \frac{1000 \cdot 12}{6000} = 200.$$

Отже, при використанні профілактичних замін у поєднанні з діагностуванням середня кількість відмов в експлуатації вдалося зменшити більш ніж в 4 рази. Загальна витрата запасних частин при цьому збільшилася всього на 15 %. Такий ефект може бути отриманий тільки при використанні методів технічної діагностики, оскільки відомо, що при простому потоці відмов і експоненціальному розподілі напрацювання між відмовами профілактика без контролю технічного стану ефекту не дає.

Достатня (з ймовірністю $\alpha = 0,95$) кількість запасних частин для випадку профілактичних замін складає

$$n_{\alpha} = 230 + 1,64 \cdot \sqrt{230} = 255.$$

Аналогічний запас при системі відновлення відмов в експлуатації (по потребі):

$$n_{\alpha}' = 200 + 1,64 \cdot \sqrt{200} = 223.$$

що всього на 12,5 % менше, ніж при системі профілактичних замін.

Розглянутий приклад показує, що система періодичних профілактичних замін на основі технічного діагностування дозволяє істотно понизити кількість експлуатаційних відмов при незначному збільшенні кількості витрачених запасних частин.

З огляду на економічні втрати через відмови в експлуатації будівельної техніки часто набагато вище, ніж вартість проведення

планових робіт по діагностуванню і профілактичній заміні такий варіант забезпечення надійності є перспективним і його слід використовувати.

Завдання виконується за варіантом, який визначається за останньою цифрою залікової книжки

Таблиця 2.14 – Варіанти завдання 2.4

№ вар.	N	T	m	T_{cp}	n_n	n_o	n_{cp}	$n_{сер}'$	n_α	n_α'	$\Delta, \%$
1	100	1000	4	5000							
		900		4500							
		800		4000							
2	80	1 200	6	4000							
		1 100		3500							
		1000		3000							
3	150	900	5	4500							
		800		4200							
		700		4000							
4	120	600	7	6000							
		500		5500							
		400		5000							
5	50	1500	4	5500							
		1400		5000							
		1300		4500							
6	90	1300	8	6000							
		1200		5500							
		1100		5000							
7	80	1 200	9	4000							
		1 100		3500							
		1000		3000							
8	100	900	4	4500							
		800		4200							
		700		4000							
9	120	600	6	5000							
		500		4500							
		400		4000							
10	150	1500	5	6500							
		1400		6000							
		1300		5500							

2.5 Навантажене резервування

При неможливості забезпечити надійність параметричним резервуванням, застосовують структурне, тобто вводять додатково

до основних аналогічні резервні елементи, які включаються в роботу або одночасно з основними (навантажене резервування) і тоді їх ресурс витрачається в процесі роботи, але система продовжує функціонувати після відмови без перерви, або резервні елементи після відмови основного встановлюються замість нього (резервування заміщенням).

Перший варіант зазвичай використовують при забезпеченні надійності парку машин, коли необхідно виконати роботу в строго заданий час, а час на заміну або ремонт агрегату, що відмовив, невеликий, очікуються лише дрібні несправності, що швидко усуваються без залучення ремонтних бригад і ремонтних майстерень. Втрачений час на усунення несправностей зазвичай враховується в розрахунках коефіцієнтом готовності машини (K_r) – відношенням середнього часу безвідмовної роботи до суми середнього часу безвідмовної роботи і середнього часу відновлення. По суті (K_r) характеризує ймовірність застати відновлювану машину в працездатному стані, а $(1 - K_r)$ частка втраченого часу на усунення несправностей або ймовірність застати машину в ремонті. Із-за втрати робочого часу слід планувати більше число машин, щоб виконати роботу в строк.

Другий варіант зазвичай використовується для усунення відмов, що вимагають тривалого ремонту і спеціального устаткування. В цьому випадку резервні елементи знаходяться в запасі, в роботу не включаються, а при необхідності використовуються для усунення відмови шляхом заміни. Цей спосіб забезпечує декілька велику надійність, оскільки в процесі роботи не витрачається ресурс запасних елементів, але потрібний час на їх установку.

На практиці використовуються обидва способи: машини в навантаженому резервуванні, окремі вузли і деталі в ненавантаженому.

Розглянемо спочатку резервування машинами (навантажене резервування).

Нехай для виконання заданої роботи абсолютно надійними машинами (назвемо їх основними), необхідно n машин. Оскільки машини не абсолютно надійні, введемо додатково ще t машин (назвемо їх резервними). В результаті в експлуатації працюватиме $N = n + t$ машин. Якщо середнє напрацювання на відмову кожної

машини – T , то n основних машин утворюють потік відмов з середнім напрацюванням.

$$t_o = \frac{T}{n}. \quad (2.35)$$

Можна вважати, що є одна умовна машина, що складається з n машин, відмовляє з середнім напрацюванням \bar{t}_o і випадковим напрацюванням між відмовами t_o . Після кожної відмови однієї з n машин починається її відновлення. Решта машин продовжує працювати. Якщо час відновлення t_b менше t_o , при наступній відмові якої-небудь машини, відновлена машина (вона знаходилася в навантаженому резерві) вже готова до роботи з ймовірністю визначуваною її коефіцієнтом готовності.

$$K_\Gamma = \frac{T}{T + t_b}, \quad (2.36)$$

де \bar{t}_b – середній час відновлення відмови однієї машини.

Легко бачити, що, якщо $N = n + 1$, тобто в резерві є тільки одна машина, то після відмови першої машини залишається n працюючих машин, а потім все подальші відмови миттєво усуваються відновленими машинами. При цьому мається на увазі, що виконане умова

$$t_o \gg t_b. \quad (2.37)$$

Якщо умова (2.37) не виконується, то число справно працюючих машин зменшується (частина їх знаходиться в ремонті) до тих пір, поки напрацювання між відмовами не задовольнятиме умові (2.37). Оскільки t_o і t_b є випадковими величинами, та умова (2.37) характеризується ймовірністю $P(t_o > t_b)$, яку позначимо $R^{(n)}$. Отримаємо

$$R^{(n)} = P(t_o > t_b). \quad (2.38)$$

Якщо можна підбором параметрів розподілів величин t_b іобеспечить $t_o R^{(n)} \approx 1$, то $m = 1$. Якщо $R^{(n)} < 1$, то обмежитися в

резерві $m = 1$ не можна. Кількість m резервних елементів залежатиме від величини ймовірності $R^{(n)}$.

Ймовірність $R^{(n)}$ є ймовірність того, що деяка випадкова величина t_o більше t_b , при цьому обидві величини можуть бути розподіленими по законах Вейбулла з різними параметрами. Відзначимо, що для умовної машини з середнім напрацюванням t_o напрацювання між відмовами можуть характеризуватися розподілом Вейбулла з коефіцієнтом форми,

$$v < v_1,$$

де v_1 – коефіцієнт форми для однієї машини.

Коефіцієнт (v) зазвичай лежить в межах $v = 1 \div 2$, цих же межах знаходиться коефіцієнт форми для часу відновлення t_g . Вище в завданні 19 отримана загальна.

Для випадку рівності коефіцієнтів форми (v) двох розподілів випадкових величин, t_o і t_b , що часто зустрічається t_o і t_b , формула ймовірності перевищення t_o над t_b має вигляд

$$R^{(n)} = \frac{1}{\frac{1}{K^v} + 1}, \quad (2.39)$$

де K – коефіцієнт запасу, рівний (у нових позначеннях)

$$K = \frac{t_o}{t_b}. \quad (2.40)$$

Підставляючи (2.40) в (2.39), матимемо

$$R^{(n)} = \frac{t_o^{-v}}{t_o^{-v} + t_b^{-v}}. \quad (2.41)$$

Формула (2.41) при $v = 1$ звертається в (2.36) – формулу коефіцієнта готовності. Підставимо в (2.41) T_o з (2.25). Отримаємо

$$R^{(n)} = \frac{T_o^B}{T_o^B + t_B^{-B}} = \frac{\left(\frac{T}{n}\right)^B}{\left(\frac{T}{n}\right)^B + t_B^{-B}}. \quad (2.42)$$

Тепер можна перейти до рішення задачі про вибір числа m резервних елементів при n основних. Оскільки для виконання заданої роботи необхідно n машин, то відмова хоч би однієї з них це відмова всієї групи, тобто відмова умовної машини.

Ймовірність відмови умовної машини дорівнює

$$Q^{(n)} = 1 - R^{(n)}.$$

Якщо останні m машин знаходяться в навантаженому резерві, то ймовірність їх відмови дорівнює

$$Q^{(m)} = \left(1 - R^{(1)}\right)^m.$$

Тут $R^{(1)}$ визначається по (2.42), при $n = 1$.

Вся система (з n і m машин) опиниться у відмові, якщо відмовлять всі резервні машини і одна умовна. Ймовірність такої події дорівнює

$$Q^{(n,m)} = \left(1 - R^{(n)}\right) \left(1 - R^{(1)}\right)^m.$$

Ймовірність безвідмовної роботи всієї системи тепер дорівнює

$$R^{(n,m)} = 1 - \left(1 - R^{(n)}\right) \left(1 - R^{(1)}\right)^m. \quad (2.44)$$

Зупинимося на виборі числа резервних машин m у формулі (2.43). Ця формула отримана в припущенні, що резервом є машини, відновлювані з ймовірністю $R^{(t)}$. Але якщо середній час відновлення машини $\left(\bar{t}_B\right)$ більше середнього часу між відмовами умовної машини $\left(\bar{t}_o\right)$, те буде потрібно додаткове число резервних машин m_1 , щоб

кожна з відмовляючих машин була за час (\bar{t}_B) відновлена і могла бути використана як резерв. Середнє число додаткових машин дорівнює

$$m_1 = \frac{\bar{t}_B}{t_o},$$

де m_1 – округляється до найближчого більшого цілого. Тепер загальне середнє число резервних машин дорівнює

$$m_2 = m_1 \cdot m.$$

Викладений наближений метод розрахунку ймовірності безвідмовної роботи при структурному резервуванні дозволяє отримати результати достатньо близькі до методу, використуваного в практичній роботі 9, але краще розкриває механізм забезпечення надійності парку відновлюваних машин за наявності їх в надлишку.

Приклад виконання завдання 2.5

Визначити для кожного з трьох парків машин загальну їх кількість N , необхідну для забезпечення безвідмовної роботи парку машин із заданою ймовірністю ($[R^{(n,m)}] = 0.98$ $b = 1.4$, $n=10$) в залежності від коефіцієнту готовності K_r . Результати записати в таблицю і проаналізувати, користуючись, для наочності, рисунком 2.9.

Знаючи коефіцієнт готовності K_r та середнє напрацювання на відмову кожної машини - T , можна визначити час середній час відновлення машини після відмови

$$t_{\hat{a}} = \frac{\hat{O}(1 - \hat{E}_{\hat{a}})}{\hat{E}_{\hat{a}}} \quad (2.45)$$

Після підстановки у формулу (2.42) залежності (2.45) отримуємо

$$R^{(n)} = \frac{1}{n^b \cdot \left[\frac{1}{n^b} + \left(\frac{1 - \hat{E}_{\hat{a}}}{\hat{E}_{\hat{a}}} \right)^b \right]} \quad (2.46)$$

$$R^{(n)} = \frac{1}{10^{1.4} \cdot \left[\frac{1}{10^{1.4}} + \left(\frac{1-0.9}{0.9} \right)^{1.4} \right]} = \frac{1}{25.1 \cdot \left[\frac{1}{25.1} + \left(\frac{0.1}{0.9} \right)^{1.4} \right]} =$$

$$= \frac{1}{25.1 \cdot [0.04 + (0.11)^{1.4}]} = \frac{1}{25.1 \cdot [0.04 + 0.046]} = \frac{1}{25.1 \cdot [0.086]} = \frac{1}{2.165} = 0.46$$

Після підстановки у формулу (2.42) залежності (2.45) при $n=1$, отримуємо

$$R^{(1)} = \frac{\hat{E}_{\hat{a}}^b}{1 + (1 - \hat{E}_{\hat{a}})^b}$$

$$R^{(1)} = \frac{0.9^{1.4}}{1 + (1 - 0.9)^{1.4}} = \frac{0.86}{1.04} = 0.83$$

Рівняння 2.44 записуємо в наступному вигляді

$$\left[R^{(n,m)} \right] = 1 - (1 - R^{(n)}) (1 - R^{(1)})^m,$$

звідкіля

$$m = \frac{\text{lq}\{1 - [R^{(n,m)}]\} - \text{lq}(1 - R^{(n)})}{\text{lq}(1 - R^{(1)})}$$

$$m = \frac{\text{lq}\{1 - [0.98]\} - \text{lq}(1 - 0.46)}{\text{lq}(1 - 0.83)} = \frac{-1.7 + 0.23}{-0.77} = \frac{-0.47}{-0.77} = 0.6$$

Після підстановки у формулу (2.44) залежності (2.45) отримуємо

$$m_1 = \frac{n^b \cdot (1 - \hat{E}_{\tilde{a}})^b}{\hat{E}_{\tilde{a}}^b}$$

$$m_1 = \frac{10^{1.4} \cdot (1 - 0.9)^{1.4}}{0.9^{1.4}} = \frac{25.1 \cdot 0.04}{0.86} = 1$$

Загальне необхідне середнє число резервних машин дорівнює

$$m_2 = m_1 \cdot m$$

$$m_2 = 1 \cdot 1 = 1$$

Загальна кількість машин в парку за коефіцієнтом їх готовності $K_r=0.9$, необхідних, що забезпечують ймовірність безвідмовної роботи $[R^{(n,m)}] = 0.98$ складається

$$N = n + m_2,$$

$$N = 10 + 1 = 11 \text{ машин.}$$

Аналогічно здійснюється розрахунок загальної кількості машин в парку, необхідних для забезпечення ймовірності безвідмовної роботи $[R^{(n,m)}] = 0.9$ та 0.98 за коефіцієнтом їх готовності $K_r=0.5$, $K_r=0.7$, $K_r=0.9$ (здійснено в прикладі), $K_r=1.0$. Потім розраховуються необхідна кількість машин для інших двох парків і заповнюється таблиця 2.15 згідно свого варіанту завдання.

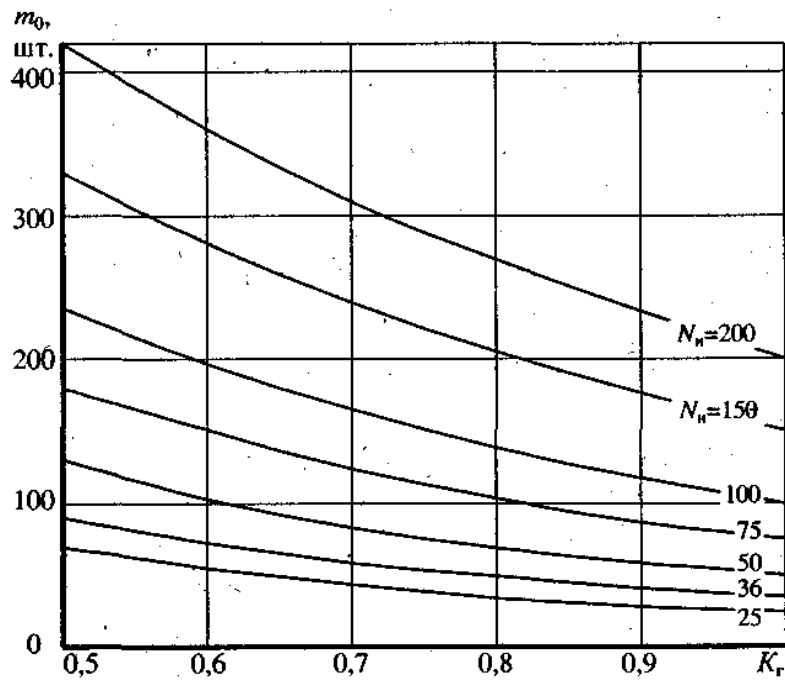


Рисунок 2.9 – Загальна кількість машин в парку залежно від коефіцієнта готовності

Таблиця 2.15 Варіанти до виконання завдання 2.5 (остання цифра номеру залікової книжки)

Варіант 1

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
25							25						
75							75						
200							200						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
25							25			0	0	0	25
75							75			0	0	0	75
200							200			0	0	0	200

Варіант 2

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
30							30						
90							90						
240							240						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N

30							30			0	0	0	30
90							90			0	0	0	90
240							240			0	0	0	240

Варіант 3

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
10							10						
80							80						
220							220						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
10							10			0	0	0	10
80							80			0	0	0	80
220							220			0	0	0	220

Варіант 4

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
20							20			0	0	0	
110							110			0	0	0	
210							210			0	0	0	
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
20							20						20
110							110						110
210							210						210

Варіант 5

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
35							35						
105							105						
250							250						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
35							35			0	0	0	35
105							105			0	0	0	105
250							250			0	0	0	250

Варіант 6

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
25							25						
50							50						
100							100						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
25							25			0	0	0	25
50							50			0	0	0	50
25							100			0	0	0	100

Варіант 7

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
30							30						
60							60						
120							120						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
30							30			0	0	0	30
60							60			0	0	0	60
120							120			0	0	0	120

Варіант 8

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
10							10						
40							40						
160							160						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
10							10			0	0	0	10
40							40			0	0	0	40
160							160			0	0	0	160

Варіант 9

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N	n	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	m	m_1	m_2	N
20							20						
55							55						

150							150						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
<i>n</i>	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	<i>m</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>N</i>	<i>n</i>	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	<i>m</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>N</i>
20							20			0	0	0	20
55							55			0	0	0	55
150							150			0	0	0	150

Варіант 10

$K_r = 0.5$							$K_r = 0.7$						
<i>n</i>	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	<i>m</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>N</i>	<i>n</i>	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	<i>m</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>N</i>
35							35						
70							70						
155							155						
$K_r = 0.9$							$K_r = 1.0$						
<i>n</i>	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	<i>m</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>N</i>	<i>n</i>	$[R^{(n)}]$	$[R^{(1)}]$	<i>m</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>N</i>
35							35			0	0	0	35
70							70			0	0	0	70
155							155			0	0	0	155

ЛІТЕРАТУРА

1. Аврунін Г. А. Пімонов І. Г. ЯКІСТЬ МАШИН / Навчальний посібник. – ХНАДУ. – Кафедра БДМ. – 2020. – 216 с
2. Анилович Н.Я. Надёжность машин в задачах и примерах: Учеб. пособие. / Анилович Н.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.М. – Харків: Око, 2011. – 320 с.

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

КУРСОВА РОБОТА

по дисципліні «Якість машин»

(Залікова книжка № _____)

Студента 3 курсу, групи М-31-20

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Іванова І. І.

Керівник канд. техн. наук., доц. Пімонов І. Г.

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____

_____.

Харків
ХНАДУ
2022

Навчальне видання

Програма та методичні вказівки до виконання курсової роботи по дисципліні «Якість машин» для студентів механічного факультету навчання та ЦОП спеціальності 133 Галузеве машинобудування освітньої програми «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання»

Укладачі: Пімонов І.Г.

Відповідальний за випуск:

Щербак О.В.

Підп. до друку

Формат

Папір офсетний

Умовн.-др.арк.

Обл.– вид. арк..

Зам №

Тираж прим.

Ціна договірна

Адреса редакції видавництва і поліграфічного підприємства

ХНАДУ 61002 Харків-02, вул. Ярослава Мудрого, 25

Надруковано видавництвом Харківського національного автомобільно-
дорожнього університету