

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

“НАДІЙНІСТЬ КОМП’ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ”

для студентів напрямку 123 ”Комп'ютерна інженерія”

усіх форм навчання

**Частина 2: Розрахунок надійності складних систем та
комп’ютерних мереж**

2019 р.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Надійність комп'ютерних систем" для студентів напрямку 123 "Комп'ютерна інженерія" усіх форм навчання. Частина 2: Розрахунок надійності складних систем та комп'ютерних мереж/ Укл.: І.Я. Зеленьова, А.В. Сирота, Т.В. Голуб.- Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - 22с.

Укладачі: І.Я. Зеленьова, доцент, к.т.н.
А.В. Сирота, старший викладач
Т.В. Голуб, асистент

Рецензент М.Ю. Тягунова, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: Т.В. Голуб, асистент

Затверджено
на засіданні кафедри КСМ
Протокол № 9 від 02.04.2019

Затверджено
на засіданні НМК КНТ
Протокол № 9 від 26.04.2019

ЗМІСТ

1 Лабораторна робота №3 Дослідження методу "мінімальних шляхів та мінімальних перетинів"	4
1.1 Метод "Мінімальних шляхів та мінімальних перетинів"	4
1.1.1 Приклад розрахунку надійності методом МШ & МП	5
1.2 Надійність комп'ютерних мереж	8
1.3 Мета роботи	9
1.4 Порядок проведення роботи	9
1.5 Обробка результатів	10
1.6 Контрольні запитання	10
2 Лабораторна робота №4 Надійність резервованих відновлюваних систем	11
2.1 Марковські процеси в системах масового обслуговування. Рівняння Колмогорова	11
2.2 Розрахунок комп'ютерних інформаційних центрів	15
2.3 Мета роботи	18
2.4 Порядок проведення роботи	18
2.5 Обробка результатів	18
2.6 Контрольні запитання	19
Перелік джерел посилання	20
Додаток А	21
Додаток Б	22

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ "МІНІМАЛЬНИХ ШЛЯХІВ ТА МІНІМАЛЬНИХ ПЕРЕТИНІВ"

1.1 Метод "Мінімальних шляхів та мінімальних перетинів"

Даний метод, на відміну від точних, відноситься до наближених. Він дозволяє оцінити дійсне значення імовірності безвідмовної роботи системи на нижньому P_n та верхньому P_v рівні [3]:

$$P_n < P_c < P_v, \dots$$

Взагалі, цей метод простий у порівнянні з точними методами, тому і знайшов широке застосування для оцінки складних обчислювальних систем.

Суть методу. По графу надійності спочатку знаходять "мінімальні перетини" та "мінімальні шляхи", потім будують еквівалентні графи для "мінімальних перетинів" та "мінімальних шляхів" для розрахунку P_n та P_v .

Мінімальний шлях складається із мінімальної послідовності підсистем, які входять до графу (P_v) і необхідні для передачі даних від початкового до кінцевого пристрою, тобто, від вершини А до вершини В. У складних резервованих системах, як правило, декілька мінімальних шляхів і кожен наступний приймається за новий мінімальний, якщо вважати, що попередні відказали. До множини мінімальних шляхів входять усі можливі комбінації напрямків передачі даних.

Мінімальний перетин складається з мінімальної кількості підсистем графа (P_n), відмова яких веде до відмови системи, незалежно від стану інших підсистем. До множини мінімальних перетинів входять усі можливі комбінації перетинів, які приводять до відмови системи.

Імовірність P_n знаходять через еквівалентний граф перетинів, складений з послідовно ввімкнених груп підсистем усіх мінімальних перетинів, де в кожній групі підсистеми включені паралельно.

Імовірність P_v знаходять через еквівалентний граф шляхів, складений з груп послідовно включених підсистем кожного мінімального

шляху; групи усіх мінімальних шляхів системи включені паралельно.

1.1.1 Приклад розрахунку надійності методом МШ & МП

Розглянемо обчислювальну систему, складену з приладів пам'яті ЗУ1 та ЗУ2, процесорів П7 та П8 і приладів узгодження С3-С6 (рисунок 1.1). Необхідно оцінити імовірність безвідмовної роботи системи.

Резервування системи дозволило забезпечити її працездатність при наявності навіть одного робочого пристрою пам'яті, або процесора та приладів узгодження між ними. Відмова деяких підсистем не завадить роботі інших частин системи, що залишилися.

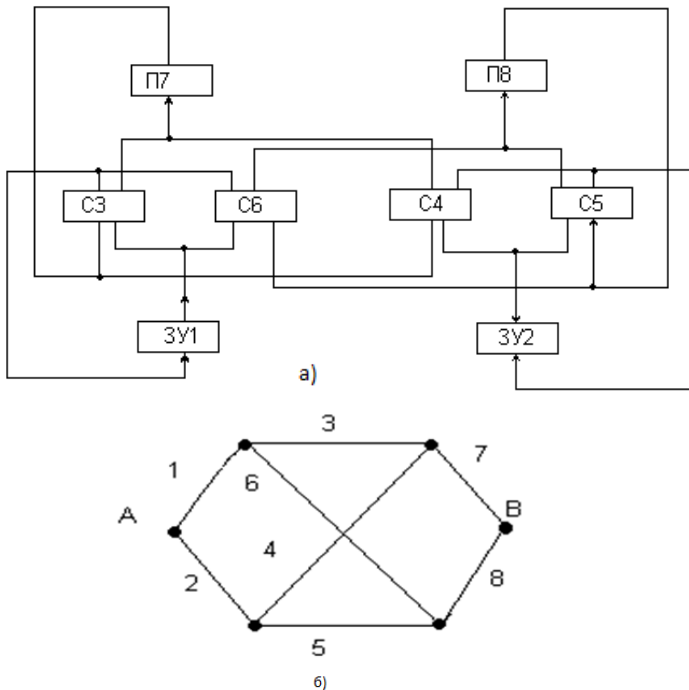


Рисунок 1.1 – Структура (а) та граф надійності (б) обчислювальної системи

По структурній схемі надійності ОС (рисунок 1.1а) будуюмо граф надійності (рисунок 1.1б), у якому інформація передається від ЗУ (вершина А) до процесору (вершина В), або навпаки. По графу надійності визначимо мінімальні перетини - 12, 78, 145, 236, 348, 567, 1468, 2467, 3456, та мінімальні шляхи - 137, 168, 247, 258, 13458, 14567, 23468, 23567.

Будуємо еквівалентні графи надійності:

- для нижньої оцінки P_n - послідовно включених груп мінімальних перетинів;
- для верхньої оцінки P_v - паралельно включених груп мінімальних шляхів.

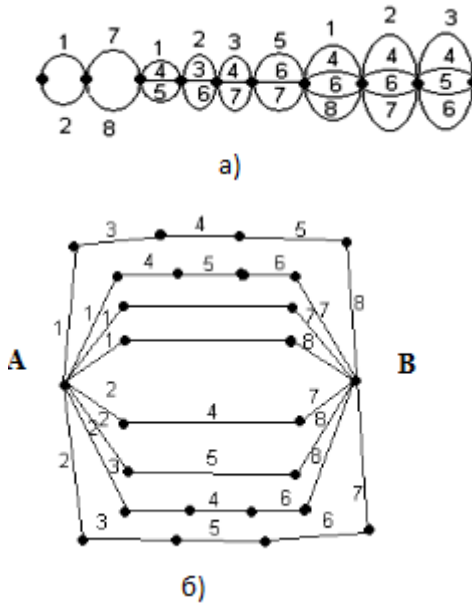


Рисунок 1.2- Еквівалентні графи надійності для оцінки нижнього P_n (а) та верхнього P_v (б) рівнів імовірності безвідмовної роботи системи

Припустимо, що імовірності відмови приладів однакові і дорівнюють 0,2, тоді

$$q_{3y} = q_c = q_n = 0,2$$

Імовірність безвідмовної роботи знаходимо, як:

$$P_{\text{посл}} = \prod_{i=1}^n p_i ;$$

$$P_{\text{парал}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i), \text{ де } p_i = 1 - q$$

$$P_n = p_{12} \cdot p_{78} \cdot p_{145} \cdot p_{236} \cdot p_{348} \cdot p_{567} \cdot p_{1468} \cdot p_{2467} \cdot p_{3456}$$

$$p_{12} = 1 - \prod_1^2 1 - (1 - q) = 1 - q^2 = p_{78} = 1 - 0,04 = 0,96$$

$$p_{145} = 1 - \prod_{i=1}^3 1 - (1 - q) = 1 - q^3 = p_{236} = p_{348} = p_{567} = 1 - 0,008 = 0,992$$

$$p_{1468} = 1 - \prod_{i=1}^4 1 - (1 - q) = 1 - q^4 = p_{2467} = p_{3456} = 1 - 0,0016 = 0,9984$$

Підставляючи значення, одержимо:

$$p_n = 0,96 * 0,96 * 0,992 * 0,992 * 0,992 * 0,992 * 0,9984 * 0,9984 * 0,9984 = 0.888$$

Позначимо імовірність безвідмовної роботи пристрою пам'яті $p_{3y}=1-q_{3y}$, пристрою сполучення - через $p_c=1-q_c$, процесорів - через $p_n=1-q_n$. Тоді, по графу МШ, для послідовно включених шляхів одержимо:

$$P_{137}=P_{168}=P_{247}=P_{258}=(1-q)^3=(1-0,2)^3=0,512$$

$$P_{13458}=P_{14567}=P_{23468}=P_{23567}=(1-q)^5=0,328$$

Після перетворення для трьох та чотирьох послідовно включених імовірностей безвідмовної роботи по графу мінімальних шляхів, визначимо їх загальну верхню імовірність відмови Q_v при паралельній

структурі за формулою: $Q = \prod_{i=1}^n Q_i$, тоді,

$$Q_{\text{в}} = Q_{137} \cdot Q_{168} \cdot Q_{247} \cdot Q_{258} \cdot Q_{13458} \cdot Q_{14567} \cdot Q_{23468} \cdot Q_{23567} = \\ = (1 - 0,512)^4 \cdot (1 - 0,328)^4 = 0,0115$$

Звідси визначимо верхній рівень імовірності безвідмовної роботи системи

$$P_{\text{с}} = 1 - Q_{\text{с}} = 1 - 0,0115 = 0,9885$$

Загальна імовірність безвідмовної роботи системи знаходиться в межах:

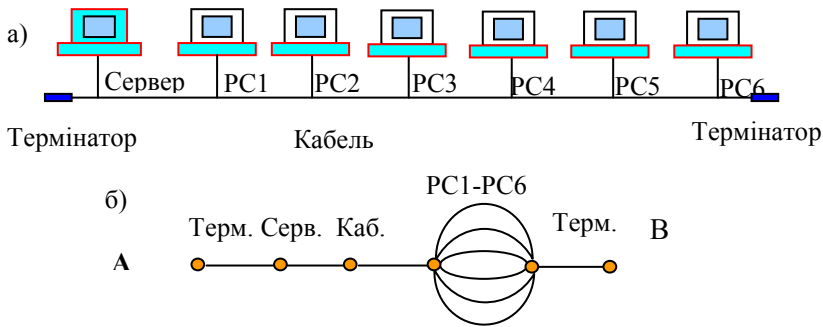
$$0,888 < P_{\text{с}} < 0,988.$$

Розбіг значення $P_{\text{с}}$ дає уяву про точність розрахунків надійності за методом МШ & МП.

1.2 Надійність комп'ютерних мереж

Під мережею ЕОМ розуміють групу комп'ютерів, об'єднаних між собою для обміну даними. Відрізняють локальні і глобальні мережі. За топологією мережі поділяють в основному на: “зірка”, “загальна шина”, “кільце” та їх комбінації.

З точки зору надійності, мережі відносять до систем складної структури. Граф надійності відповідає конфігурації мережі. Граф надійності мережі будується за правилами: якщо підсистема мережі не резервована та її відмова веде до загальної відмови всієї мережі, то вона включається до графу послідовно; якщо підсистема мережі повторно резервована та її відмова не веде до загальної відмови всієї мережі, то такі підсистеми включаються до графу паралельно. На рисунку 1.3 розглядається приклад побудови графу надійності мережі “загальна шина”.



а) мережа топології “Загальна шина”.

б) граф надійності мережі “Загальна шина”.

Рисунок 1.3 – Комп’ютерна мережа “Загальна шина”

Вершинами графа служать вузли зв’язку підсистем мережі, а дугами - підсистеми. Відмова підсистеми відповідає обриву дуги графу. Під надійністю мережі розуміється збереження зв’язку між вершинами А та В, а під відмовою – розпад графа на окремі ізольовані частини.

Надійність мережі оцінюють через імовірність безвідмовної роботи в межах верхнього та нижнього рівня.

Для розрахунку надійності мереж може бути застосований метод МШ & МП.

1.3 Мета роботи

Придбати практичні навички приблизного розрахунку імовірності безвідмовної роботи складних резервованих обчислювальних систем та обчислювальних мереж, представлених графом надійності, за допомогою методу "МШ & МП".

1.4 Порядок проведення роботи

а) Для проведення роботи №3 з додатку А відповідно до варіанту, який обирається за номером по журналу, вибирається граф системи, що аналізується. Будемо вважати, що всі прилади системи мають однакову імовірність відмов, яка дорівнює 0,15. По графу надійності

будується структурна схема ОС, а також проводиться розрахунок показників надійності системи за методом "МШ & МП".

б) Для дослідження імовірності безвідмовної роботи локальних мереж, необхідно розробити графи надійності топології "зірка", "загальна шина", "кільце" та їх комбінацій. Дозволяється дослідження інших топологій мереж. Кількість комп'ютерних станцій повинна бути не менше шести. Розрахунки імовірності безвідмовної роботи проводити по методу "МШ & МП" зі складанням допоміжних, еквівалентних графів, приведених у розділі 1.1. Імовірності відмов приладів мереж обираються студентами самостійно у межах розумного ($q_i = 0,1 \dots 0,3$).

1.5 Обробка результатів

Усі побудовані структурні схеми, графи надійності ОС та мереж, допоміжні еквівалентні графи, розрахунки, виконані за підрозділом 1.1.1 та 1.2 оформити як звіт і захистити у викладача.

1.6 Контрольні запитання

1. Дати визначення мінімальних шляхів графа надійності.
2. Дати визначення мінімальних перетинів графа надійності.
3. Для чого використовується метод "МШ & МП".
4. Показати, яка топологія мереж має вищу надійність?
5. Який допоміжний граф дає нижній рівень (верхній рівень) показника P_c ?
6. Дати визначення надійності мережі ОС.
7. Визначити шляхи підвищення надійності складних систем і мереж.
8. Послідовність та формули, за якими провадять розрахунки показників надійності за методом "МШ & МП".

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

НАДІЙНІСТЬ РЕЗЕРВОВАНИХ ВІДНОВЛЮВАНИХ СИСТЕМ

2.1 Марковські процеси в системах масового обслуговування. Рівняння Колмогорова

Процеси, що мають структуру, як на рисунку 2.1, називають системами масового обслуговування (СМО). Великі обчислювальні центри, які нараховують іноді десятки потужних універсальних ЕОМ, для обліку або рішення програмних задач, відповідають структурі СМО. На СМО, через випадкові інтервали часу τ , надходить вхідний потік заявок, що по черзі обробляються і після обслуговування залишають систему (вихідний потік), звільнюючи місце новим заявкам.

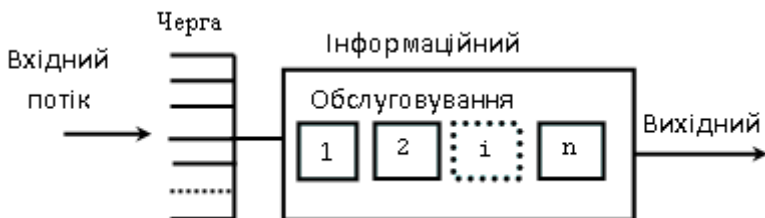


Рисунок 2.1 – Структура СМО

Основними характеристиками системи масового обслуговування вважають наступні:

- час (інтервал) надходження заявок;
- інтенсивність надходження заявок;
- імовірність надходження заявки у визначену мить часу;
- імовірність того, що за відрізок часу t надійде не більше n заявок;
- час обслуговування;
- інтенсивність обслуговування;
- час очікування і щільність його розподілу.

Вхідний потік називають простим, якщо імовірність надходження того або іншого числа заявок за інтервал t залежить тільки від тривалості цього інтервалу і не залежить від його розміщення на осі

часу (стаціонарність), при цьому, вимоги надходять по одній (ординарність) і незалежно одна від іншої (відсутність впливу)[3].

Для простого потоку щільність розподілу числа вимог за час t виражається розподілом Пуассона [1,2,3]

$$P_n(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} e^{-\lambda t}$$

Число вимог у заданому інтервалі часу дорівнює математичному очікуванню (середнє значення)

$$M(n) = \lambda t.$$

Зокрема, звідси інтенсивність (або щільність) потоку дорівнює:

$$\lambda = 1/t.$$

Імовірність того, що в інтервалі часу t не надійде жодної вимоги (імовірність безвідмовної роботи), дорівнює:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t}.$$

Імовірність надходження однієї вимоги:

$$P_1(t) = \lambda t \cdot e^{-\lambda t}.$$

Взагалі, імовірність того, що за час t надійде не більше n вимог, визначається функцією розподілу $F(n, t)$, що дорівнює сумі імовірностей $P_k(t)$ для $k \leq n$:

$$F(n, t) = \sum_{k=0}^n p_k(t) = e^{-\lambda t} \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda t)^k}{K!}.$$

А імовірність надходження більше n вимог за час t дорівнює доповненню $F(n, t)$ до одиниці:

$$P_n(t) = 1 - F(n, t).$$

Найпростіший потік називається марковським.

Нехай на систему МО, складену з m однакових каналів, надходить найпростіший потік вимог.

При наявності хоча б одного вільного каналу негайно починається обслуговування, а якщо всі канали зайняті, вимога стає в чергу. Час обслуговування і час очікування відповідають експонентному закону.

Позначимо через S_i стан системи з резервованими каналами, у якій відмовило рівно i каналів (S_0 - стан, у якому всі канали справні) і черга відсутня ($i=0,1,\dots,n$). При $i>n$ утворюється черга – що сприймається як відмова всієї системи.

Позначимо через $p_i(t)$ імовірність того, що в момент t система знаходиться в стані S_i . Очевидно, для всякого часу t сума ймовірностей станів дорівнює одиниці (нормована умова)

$$\sum_{i=0}^n p_i(t) = 1.$$

Задача полягає в тому, щоб визначити імовірності $p_0(t)$, $p_1(t)$, $p_2(t)$, ..., $p_n(t)$ для усіх станів системи - $S_0, S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$.

Для марковських ланцюгів імовірність станів СМО визначається із системи диференційних рівнянь, що називаються рівняннями Колмогорова. Складові рівнянь визначаються графом (рисунок 2.2) станів СМО, вершинами якого служать стани $S_0, S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$, а дугами - можливі переходи зі стану в стан з **інтенсивністю відмов λ_i та інтенсивністю відновлень μ_i** .

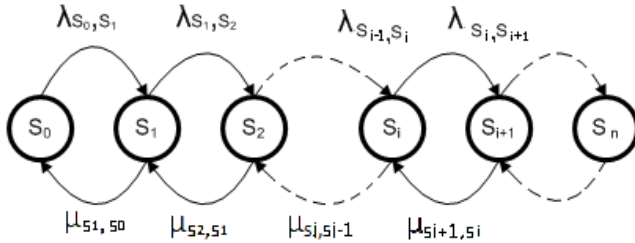


Рисунок 2.2- Граф надійності станів СМО

В операторному виді система диференціальних рівнянь виглядає як:

$$\frac{d\mathbf{P}(t)}{dt} = \mathbf{P}(t)\mathbf{\Lambda}$$

де $\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \left\langle \frac{dP_0(t)}{dt}, \frac{dP_1(t)}{dt}, \dots, \frac{dP_n(t)}{dt} \right\rangle$ є диференціальний вектор імові-

рностей станів системи, визначений із множини диференціальних рівнянь Колмогорова, які можна записати безпосередньо із графа надійності рисунку 2.2:

$$\frac{dP_i}{dt} = \lambda_{i-1,i} \cdot P_{i-1} - (\mu_{i,i-1} + \lambda_{i,i-1}) \cdot P_i + \mu_{i+1,i} \cdot P_{i+1}.$$

За такою схемою записуються рівняння для всіх станів системи, $i=0,1,\dots,n$.

Правило: Похідна імовірності перебування системи в i -му стані дорівнює сумі членів, кожний з яких представляє собою добуток ваги дуги, що відповідає i -й вершині, помноженої на імовірність того стану графа, від якого вона спрямована. При цьому, вага дуги приймається позитивною, якщо дуга спрямована до i -ої вершини /входить/ і негативною, якщо навпаки /виходить із i -ої вершини/. Це правило справедливе для запису рівнянь Колмогорова по графу будь-якого марківського процесу [1,2].

Загалом, у теорії масового обслуговування більше цікавляться не стільки тим, як протікає процес у випадковому часі, скільки граничним стаціонарним режимом, що (якщо він існує) настає при $t \rightarrow \infty$, тоді стаціонарний режим описується системою звичайних алгебраїчних рівнянь, що виходять із системи диференціальних рівнянь шляхом прирівнювання до нуля всіх похідних за часом, тоді одержимо:

$$\begin{cases} \lambda p_0 + \mu p_1 = 0 \\ \lambda p_{i-1} + (\lambda_i + i\mu_i)p_i + \mu_i p_{i+1} = 0 \end{cases}$$

де $i=1 \dots n$.

Приєднавши до системи нормувальну умову $\sum_{i=0}^n p_i = 1$, можна визначити значення імовірностей станів системи як системи постійного стаціонарного режиму.

2.2 Розрахунок комп'ютерних інформаційних центрів

Комп'ютерні інформаційні центри належать до категорії СМО та розраховуються за допомогою математичного апарату системи масового обслуговування. Розберемо приклад.

Приклад. Два інженери по регулюванню КС обслуговують обчислювальний центр, до якого входить шість універсальних комп'ютерних машин (КМ) резервованого виконання задач. Припустимо, що відмова будь-якої КМ виникає в середньому кожні 30 хвилин. Процес налагодження займає в середньому 10 хвилин. Визначити основні показники надійності, середню зайнятість наладчиків, абсолютну пропускну здатність інформаційного центра і середню кількість несправних КМ.

Можливі стани обчислювальної СМО: S_0 - всі КМ працюють, інженери не зайняті; S_1 - одна КМ зупинилася й один інженер зайнятий; S_2 - дві КМ зупинилися і два інженери зайняті; S_i - i КМ зупинилися, дві ремонтують, а інші чекають черги ($i=3,4,5,6$).

Побудуємо граф надійності системи обслуговування з відновленням після відмов резервних каналів (див. рисунок 2.3). Загальне число станів комп'ютерної СМО дорівнює $n+1$, де n – кількість резервних КМ з відновленням.

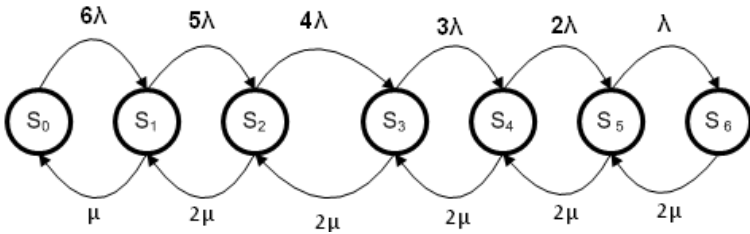


Рисунок 2.3 - Граф резервованої комп'ютерної СМО з відновленням

Рішення. Визначимо інтенсивність відмов:

$$\lambda = 60/30 = 2 \text{ (дві КМ за годину);}$$

визначимо інтенсивність обслуговування:

$$\mu = 60/10 = 6 \text{ (6 КМ за годину).}$$

Відповідно до графа запишемо систему рівнянь Колмогорова для стаціонарного режиму:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = -6\lambda p_0 + \mu p_1 \\ 0 = 6\lambda p_0 - (5\lambda + \mu) p_1 + 2\mu p_2 \\ 0 = 5\lambda p_1 - (4\lambda + 2\mu) p_2 + 2\mu p_3 \\ 0 = 4\lambda p_2 - (3\lambda + 2\mu) p_3 + 2\mu p_4 \\ 0 = 3\lambda p_3 - (2\lambda + 2\mu) p_4 + 2\mu p_5 \\ 0 = 2\lambda p_4 - (\lambda + 2\mu) p_5 + 2\mu p_6 \\ \sum_i p_i = 1 \end{array} \right.$$

Вирішивши алгебраїчні рівняння, знайдемо:

$$p_1 = \frac{6 \cdot \lambda}{\mu} p_0 = 2 \cdot p_0; p_2 = \frac{5}{3} p_0; p_3 = \frac{10}{9} p_0;$$

$$p_4 = \frac{5}{9} p_0; p_5 = \frac{5}{27} p_0; p_6 = \frac{5}{102} p_0$$

$$(1 + 2 + \frac{5}{3} + \frac{10}{9} + \frac{5}{9} + \frac{5}{27} + \frac{5}{54}) \cdot p_0 = 1$$

$$p_0 = \frac{162}{1061} = 0.151; p_1 = 0.303; p_2 = 0.252;$$

$$p_3 = 0.168; p_4 = 0.08; p_5 = 0.028; p_6 = 0.014.$$

$$P_C = \sum_i^n p_{i-1} = 0.99 \text{ (без } p_6).$$

Середнє число зайнятості інженерів визначиться математичним очікуванням розподілу налагодження ЕОМ, тобто:

$$p_1 + 2(p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) = 1.387.$$

При інтенсивності обслуговування $\mu=6$, середнє число ЕОМ, відремонтованих за 1 годину, тобто - абсолютна пропускна здатність:

$$U_{cp} = 1,387 \cdot 6 = 8,322$$

Середнє число непрацюючих КМ дорівнює математичному очікуванню розподілу відмов КС, зв'язаного з процесом обслуговування:

$$W_{cp} = 1p_1 + 2p_2 + 3p_3 + 4p_4 + 5p_5 + 6p_6 = 12p_0 = 12 \cdot 0,153 = 1,871$$

Коефіцієнт готовності системи визначається імовірністю того, що вся система в деякий момент часу t знаходиться в робочому стані:

$$K_r = p_0(t) + p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) + p_4(t) + p_5(t) = 0.99$$

Це важливий показник надійності для центра інформаційних технологій.

2.3 Мета роботи

Придбати практичні навички розрахунку основних показників надійності обчислювальних систем або центрів інформаційних технологій з резервуванням виконання задач, при умовах відновлення підсистем після їх відказів, використовуючи математичний апарат систем масового обслуговування, марковські процеси і диференційні рівняння Колмогорова.

2.4 Порядок проведення роботи

Вибрати та побудувати структурну схему складної обчислювальної систем або інформаційного центру, для якого ведеться розрахунок показників надійності. Побудувати граф надійності для станів резервованої КС. Вихідні дані обираються відповідно до варіантів, наведених в додатку Б. Варіант обирається за номером по списку.

Граф надійності будується з умовою, що всі КМ резервують одну, а k інженерів проводять відновлення машин, що відмовили. Задавши інтенсивність відмови λ та інтенсивність відновлення μ КМ за годину, по графу станів КС визначають систему рівнянь Колмогорова для стаціонарного режиму. Далі виконуються розрахунки імовірностей станів системи, імовірності безвідмовної роботи системи, коефіцієнта готовності, середньої зайнятості інженерів обслуговування, математичного очікування числа несправних КМ, виконується прогноз того, що за інтервал часу t у системі не буде відмов.

2.5 Обробка результатів

Побудувати структурну схему надійності і граф станів КС. Провести розрахунки згідно вимог підрозділів 2.1- 2.4. Зробити висновки щодо методу обчислення показників надійності. Оформити звіт та захистити його у викладача.

2.6 Контрольні запитання

1. Пояснити основні показники надійності системи МО.
2. Представити інформаційний центр із резервуванням і відновленням структурою СМО.
3. Побудувати граф станів системи для 3 ЕОМ.
4. Показати, як будується система диференціальних рівнянь Колмогорова для стаціонарного режиму.
5. Що таке коефіцієнт готовності системи? Як розрахувати K_r ?
6. Що таке інтенсивність відновлення і обслуговування системи?
7. Визначити шляхи підвищення надійності складної обчислювальної системи або інформаційного центру.

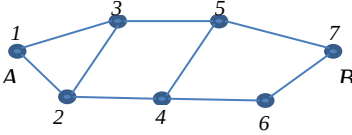
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кофанов Ю.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭС. — М.: Радио и связь, 1991. — 322 с.
2. Иуду К.А. Надійність контроль і діагностика обчислювальних машин і систем. М., Техника, 1989 р.-408с.
3. Васілевський, О. М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 129с.
4. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.-528 с.
5. Матвеевский В. Р. Надежность технических систем. Учебное пособие — Московский государственный институт электроники и математики. — М.: 2002. — 113с.
6. Patrick P. O'Connor, Andre Kleyner. Practical Reliability Engineering. — Wiley, 2012. - 512 p. ISBN-13: 978-0470979815.

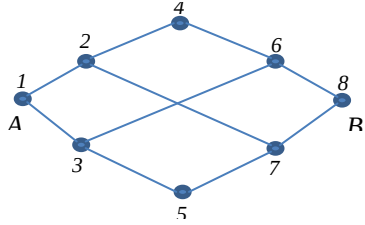
Додаток А

Вихідні дані для виконання лабораторної роботи №3.

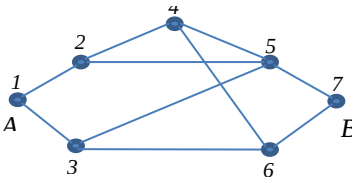
Варіант 1



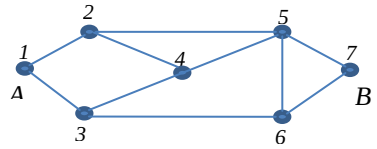
Варіант 2



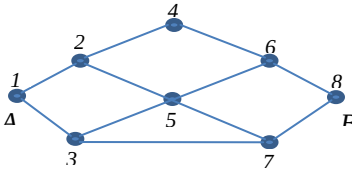
Варіант 3



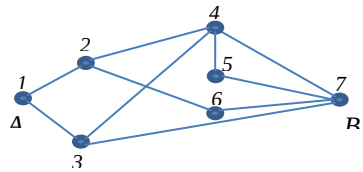
Варіант 4



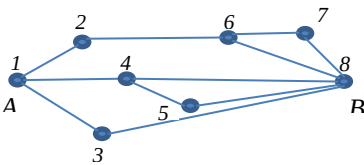
Варіант 5



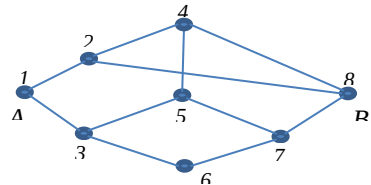
Варіант 6



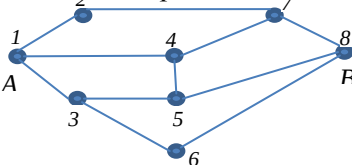
Варіант 7



Варіант 8



Варіант 9



Варіант 10

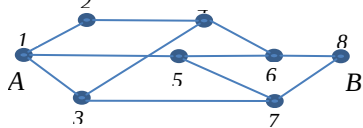


Рисунок А.1 – Завдання для лабораторної роботи №3

Додаток Б

Вихідні дані для виконання лабораторної роботи №4.

Таблиця Б.1 - Вихідні дані для лабораторної роботи №4.

№ варіанта	Кількість КМ	Періодичність відмов	Періодичність відновлення	Кількість інженерів
1,16	7	20	5	2
2,17	6	45	30	3
3,18	8	15	10	2
4,19	7	30	15	2
5,20	5	15	10	2
6,21	9	45	30	4
7,22	6	10	15	4
8,23	8	20	15	3
9,24	7	45	30	3
10,25	5	30	20	3
11,26	8	20	15	4
12,27	6	15	10	2
13,28	8	45	30	3
14,29	7	10	15	5
15,30	9	45	30	3