

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Кафедра комп'ютерної інженерії



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему** Дослідження структурної живучості  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)  
мереж довільної структури

Здобувача Бугріна Є. С.  
(прізвище, ініціали)  
2 курсу КІ-561 групи

Керівники: доц. Ненов О. Л.  
(посада, прізвище та ініціали)  
ст. викл. Слушна Н. В.  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: проф. Басюркіна Н. Й.  
(посада, прізвище та ініціали)  
доц. Ненов О. Л.  
(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від 30.11 2023 р., протокол № 3  
Завідувач кафедри комп. інженерії \_\_\_\_\_ Сергій АРТЕМЕНКО  
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса - 2023 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>комп'ютерної інженерії, програмування та кіберзахисту</u>
Кафедра	<u>комп'ютерної інженерії</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>123 «Комп'ютерна інженерія»</u>
Освітня програма	<u>Комп'ютерні системи та мережі</u>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри комп'ютерної інженерії

Сергій АРТЕМЕНКО

« 30 » листопада 2022 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

*Бугріна Єгора Сергійовича*

1. Тема роботи Дослідження структурної живучості мереж  
довільної структури

Затверджена наказом університету від « 30 » листопада 2022 р., наказ № 884-03

2 Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28 листопада 2023 р.

3. Вихідні дані роботи

*1. Постановка завдання.*

4. Перелік питань, які потрібно розробити

*1. Вступ. 2. Аналіз стану питання. 3. Постановка задачі дослідження.*

*4. Аналітична складова дослідження. 5. Комп'ютерна підтримка дослідження*  
*структурної живучості мереж. 6. Дослідження живучості мережевих структур.*

*7. Економічні розрахунки. 8. Охорона праці. 9. Загальні висновки.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

*Слайд 1. Характеристика кваліфікаційної роботи. Слайд 2. Основні поняття*  
*живучості мереж. Слайд 3. Показники мережевої живучості. Слайд 4. Математична*  
*модель дослідження. Слайд 6. Програмні алгоритми. Слайди 8-11. Результати*  
*досліджень. Слайд 12. Техніко-економічні показники. Слайд 13. Загальні висновки.*

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економіка	Басюркіна Н. Й., д. е. н., проф.		
Охорона праці	Нєнов О. Л., к. т. н., доц.		
Нормоконтроль	Нєнов О. Л., к. т. н., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.09.2023

Керівники \_\_\_\_\_ *Олексій НЄНОВ*  
\_\_\_\_\_ *Наталя СЛУШНА*

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ *Єгор БУГРІН*

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд предметної області живучості мереж</i>	<i>01.03.2023</i>	
2.	<i>Постановка задачі дослідження.</i>	<i>01.04.2023</i>	
3.	<i>Побудова математичної моделі дослідження.</i>	<i>01.05.2023</i>	
4.	<i>Засоби комп'ютерної підтримки дослідження.</i>	<i>01.06.2023</i>	
5.	<i>Дослідження структурної живучості мереж різними методами.</i>	<i>01.10.2023</i>	
6.	<i>Обробка результатів досліджень. Висновки.</i>	<i>01.11.2023</i>	
7.	<i>Техніко-економічне обґрунтування розробки.</i>	<i>15.11.2023</i>	
8.	<i>Дослідження суміжних питань охорони праці;</i>	<i>23.11.2023</i>	
9.	<i>Оформлення пояснювальної записки і презентації.</i>	<i>28.11.2023</i>	

Керівники роботи \_\_\_\_\_ *Олексій НЄНОВ*  
\_\_\_\_\_ *Наталя СЛУШНА*

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач - дипломник \_\_\_\_\_ *Єгор БУГРІН*

## АНОТАЦІЯ

Робота присвячена дослідженню живучості мереж зв'язку довільної структури. В першому розділі проаналізовані основні поняття живучості мереж, поточний стан проблем визначення та підвищення структурної живучості мереж зв'язку довільної структури, визначено складові поняття живучості, її види, критерії та показники.

В другому розділі проаналізована сутність методів забезпечення структурної живучості за допомогою структурного резервування, розглянутий підхід до резервування з урахуванням посередництва вузлів, запропоновано удосконалення методу структурного резервування дуг мережі з урахуванням вагових коефіцієнтів дуг та пріоритетності потоків.

В третьому розділі висвітлено результати експериментальних досліджень, які доводять ефективність удосконалених методів структурного резервування дуг мережі.

В роботі також досліджено суміжні питання економічного обґрунтування дослідження та охорони праці користувача.

Пояснювальна записка складається з 102 аркушів основної текстової частини і 6 аркушів додатків.

Ключові слова: *мережа, живучість, резервування, градієнтний метод.*

## ABSTRACT

The work is devoted to the study of the survivability of communication networks of arbitrary structure. In the first chapter, the main concepts of network survivability, the current state of the problems of determining and improving the structural survivability of communication networks of arbitrary structure are analyzed, the constituent concepts of survivability, its types, criteria and indicators are defined.

In the second section, the essence of the methods of ensuring structural survivability using structural redundancy is analyzed, the approach to redundancy taking into account the mediation of nodes is considered, the improvement of the method of structural redundancy of network arcs is proposed, taking into account the weighting coefficients of arcs and the priority of flows.

The third section highlights the results of experimental studies that prove the effectiveness of improved methods of structural redundancy of network arcs.

Related issues of economic justification of research and user labor protection are also investigated in the work.

The explanatory note consists of 102 sheets of the main text part and 6 sheets of appendices.

**Keywords:** *network, survivability, redundancy, gradient method.*

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	9
<b>РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ЖИВУЧОСТІ</b>	
<b>МЕРЕЖ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Розвиток телекомунікаційних мереж сучасності і майбутнього .....	11
1.2 Поняття мережевої живучості та проблеми її оцінки .....	13
1.2.1 Складові мережевої живучості .....	13
1.2.2 Характеристики мережевої живучості .....	15
1.2.3 Види живучості.....	16
1.2.4 Критерії мережевої живучості .....	19
1.2.5 Показники живучості .....	21
Висновки до першого розділу .....	25
<b>РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ</b>	
<b>МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ ТА ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ.....</b>	<b>27</b>
2.1 Метод структурного резервування дуг мережі.....	27
2.2 Резервування вузлів мережі з урахуванням їх посередництва .....	35
Висновки до другого розділу .....	43
<b>РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b>	
<b>СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ .....</b>	<b>44</b>
3.1 Аналіз базового методу структурного резервування .....	44
3.2 Аналіз ефективності удосконаленого методу структурного резервування дуг .....	50
3.2.1 Аналіз на мережі №1.....	50

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.2.14</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Дослідження структурної живучості мереж довільної структури</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Єгор БУГРІН</i>					6	108
<i>Перевір.</i>		<i>Олексій НСНОВ</i>				<b>ар. КІ-561 ОНТУ</b>		
<i>Рецензент</i>		<i>Володимир ПОПОВ</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Олексій НСНОВ</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Сергій АРТЕМЕНКО</i>						

3.2.2	Аналіз на мережі №2.....	52
3.3	Аналіз ефективності удосконалення методу резервування вузлів з урахуванням посередництва .....	56
3.3.1	Аналіз на мережі №1.....	56
3.3.1	Аналіз на мережі №2.....	60
	Висновки до третього розділу .....	63
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ .....		64
4.1	Організаційно-економічна характеристика роботи.....	64
4.2	Аналіз науково-технічної ефективності проекту.....	66
4.2.1	Методика розрахунку науково-технічної ефективності проекту ....	66
4.2.2	Проведення оцінки науково-технічного рівня розробки.....	69
4.2.3	Порівняння методів вирішення задачі.....	71
4.2.4	Порівняння компаній – розробників мережевого обладнання .....	74
4.3	Розрахунок економічної ефективності проекту.....	76
4.3.1	Визначення складності розробки програмного продукту .....	76
4.3.2	Розрахунок трудомісткості розробки програмного продукту .....	77
4.3.3	Визначення вартості програмного продукту .....	79
4.3.4	Визначення капітальних витрат.....	83
4.4	Орієнтовний бізнес-план стартап-проекту на тему дослідження структурної живучості мереж довільної структури .....	87
4.4.1	Загальна інформація .....	87
4.4.2	Ідея, мета і ключові результати проекту .....	87
4.4.3	Ключові етапи.....	88
4.4.4	Маркетинг і фінансовий план .....	88
4.4.5	Команда проекту .....	89
4.4.6	Висновок .....	89
	Висновки до четвертого розділу .....	89

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ .....	90
5.1 Загальні положення .....	90
5.2 Способи зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів при роботі з комп'ютером.....	92
5.3 Правила безпеки при роботі з комп'ютером.....	93
5.4 Пожежна профілактика .....	94
Висновки до п'ятого розділу .....	96
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	97
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ .....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	100
ДОДАТКИ .....	103
Додаток А Слайди презентації .....	103

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Невпинний розвиток телекомунікацій в сучасному світі вимагає створення швидких і надійних мереж, які забезпечуватимуть безперервний доступ користувачів до різноманітної інформації. Однією з важливих характеристик мереж телекомунікацій є живучість, тобто здатність виконувати свої функції навіть у разі пошкодження окремих елементів. Живучість стає все більш актуальною в умовах інтенсивного розвитку телекомунікаційних технологій, оскільки сучасні мережі стають все більш складними та вразливими до зовнішніх впливів. Можна стверджувати, що забезпечення структурної живучості мереж зв'язку сьогодні стало обов'язковою умовою для безвідмовного надання користувачам широкого спектру мережевих послуг.

Хоча сьогодні існують різноманітні методи оцінки живучості мереж зв'язку, багато проблем у цій галузі залишаються невирішеними. Особливо актуальним є аналіз структурної живучості мереж, тобто здатності їх працювати у разі пошкодження окремих елементів. Сьогодні це вкрай важливо, оскільки зовнішні впливи, такі як терористичні акти і природні катаклізми, нерідко виникають в наш складний час і призводять до виведення з ладу значних ділянок мереж. Крім того, існує потреба в методах, які дозволяють проаналізувати можливість нейтралізації або зменшення негативних впливів на мережу. Таким чином, важливо розробити методи оцінки працездатності мережі та аналізу живучості під час впливу негативних дій і впливів. Це обумовлює актуальність даної роботи.

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес аналізу і управління структурною живучістю мереж зв'язку довільної структури.

Предметом дослідження є принципи і методи моделювання, аналізу та підвищення структурної живучості мереж зв'язку довільної структури.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою даної роботи є підвищення ефективності способів моделювання, оцінки і забезпечення структурної живучості мереж зв'язку довільної структури.

Для здійснення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

- дослідження ролі процесів оцінювання структурної живучості мереж зв'язку;
- аналіз існуючих методів оцінки і забезпечення живучості мереж довільної структури;
- удосконалення існуючих методів оцінки і забезпечення живучості мереж довільної структури;
- прикладне дослідження з використанням запропонованих методів з метою оцінки їх ефективності;
- техніко-економічний аналіз і обґрунтування розробки;
- дослідження питань охорони праці.

Наукова новизна роботи полягає в систематизації критеріїв і показників живучості, а також в удосконаленні методів забезпечення структурної живучості шляхом оптимального резервування компонентів мережі зв'язку з урахуванням важливостей її вузлів і пріоритетів потоків, що обслуговуються.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ЖИВУЧОСТІ МЕРЕЖ

#### 1.1 Розвиток телекомунікаційних мереж сучасності і майбутнього

Останні десятиліття телекомунікаційні технології продовжують активно поширюватися у світі. Це пов'язано з низкою чинників, включаючи розвиток нових технологій, зниження вартості устаткування й послуг, а також зростання попиту на послуги зв'язку.

Поліпшення зв'язку на початку ХХІ століття виявляється у наступних тенденціях:

- доступність – зв'язок стає все більш доступним для користувача, незалежно від його розташування, соціального статусу та рівня доходів тощо;
- інтеграція – різні види зв'язку, такі як телефонія, телебачення, інтернет, дедалі більше поєднуються в єдині системи;
- інтелектуалізація – мережеве обладнання та самі мережі зв'язку стають все більш інтелектуальними, що дозволяє автоматично адаптуватися до змінних умов та вимог користувачів;
- глобалізація – зв'язок стає все більш глобальним, що дозволяє людям спілкуватися один з одним незалежно від їхнього географічного розташування;
- персоналізація – послуги зв'язку дедалі більше персоналізуються, що дозволяє кожному користувачеві отримувати саме те, що йому потрібно.

Розвиток в галузі зв'язку базується на розробці та впровадженні нових телекомунікаційних технологій, а також на подальшому вдосконаленні існуючих. Сучасний стан телекомунікаційних мереж можна охарактеризувати як невинне устремління до досконалості.

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприкінці ХХ століття та на початку ХХІ століття в Україні розпочалося впровадження пакетної технології у телекомунікаційні мережі. У 2006 році в Україні з'явилися перші мультисервісні мережі нового покоління *NGN (Next Generation Networks, New Generation Networks)*, які є не тільки мережами транспорту та доступу, а й мережами підтримки та сервісу. Вони забезпечують передачу даних, голосу, відео тощо, а також надають різні послуги, такі як телефонія, інтернет, телебачення і т. д. Очікується, що на зміну мережам *NGN* придуть мережі майбутніх поколінь *FN (Future Network)*. Ці мережі засновані на принципах «багато послуг – одна мережа» та «мультисервісність». Це означає, що в одній мережі надаватиметься широкий спектр послуг, які будуть доступні користувачам у будь-який час та в будь-якому місці.

Останні десятиліття телекомунікації розвиваються дуже швидко. Виробники пропонують споживачам нові пристрої, а оператори – нові послуги, які користуються великим попитом у населення, компаній та установ різного рівня і масштабу. В результаті ринок телекомунікаційних послуг у ХХІ столітті виріс у кілька разів. Все це свідчить про те, що телекомунікації стали невід'ємною частиною сучасного суспільства.

Однією з ключових властивостей, що впливають на якість послуг та визначають загальну ефективність роботи телекомунікаційних мереж, є живучість. Поняття «живучість» (*vitality*) у контексті телекомунікацій визначає здатність мережі виконувати свої основні функції, незважаючи на виникаючі збої, відмови та зміни в характеристиках функціонування.

Численні наукові дослідження свідчать про те, що між методами і моделями оцінки живучості на різних етапах проектування, моделювання і функціонування систем і мереж телекомунікацій існує тісний зв'язок. Цей аспект простежується в роботах як українських, так і іноземних дослідників, серед яких можна відзначити роботи В. П. Горбуліна, М. М. Климаша, М. В. Кайдана, Н. О. Князевої, В. І. Комашинського, Б. М. Стрихалюка, Е. Аuer, D. Helmstädt, С. Hoogendoorn, G. Ohlendorf, S. V. Ahamed., V. B. Lawrence, С. Shelton, Y. Shpungin, R. Vaisman та багатьох інших.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Важливий внесок у розвиток методів і моделей оцінки живучості мереж зв'язку зробили О. Г. Додонов, Д. В. Ланде, В. П. Блукке, Ю. Е. Малашенко, М. Б. Ахмаді, Ю. П. Зайченко та інші науковці.

Проблемами аналізу і підвищення живучості займаються наукові групи багатьох зарубіжних і українських дослідних організацій: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», Springer Briefs in Electrical and Computer Engineering, Ternary Networks Reliability and Monte Carlo; Department of Mathematics, Ben-Gurion University; Software Engineering Department, Sami Shamoon College of Engineering тощо [15].

## **1.2 Поняття мережевої живучості та проблеми її оцінки**

### **1.2.1 Складові мережевої живучості**

Живучість належить до важливих показників ефективного функціонування мереж. Живучість мережі зв'язку – це здатність мережі продовжувати функціонувати навіть у разі пошкодження чи руйнування частини її елементів. Живучість забезпечує безперервність передачі даних мережею навіть за умов надзвичайних ситуацій. Живучість мереж зв'язку можна кількісно виміряти, використовуючи середню частку збережених зв'язків між пунктами, що залишились після ураження мережі. Чим вищий цей показник, тим вища живучість мережі.

Живучість є внутрішньою властивістю системи, яку вона має незалежно від поточних умов функціонування. Ця постійна властивість може проявлятися певною мірою і за нормальних умов роботи, коли виникають відмови елементів через виробничі дефекти, старіння, зміни параметрів тощо.

Варто зазначити, що живучість проявляється у збереженні системою не всіх функцій, які вона зазвичай здатна виконувати у нормальному режимі, а лише основних, при цьому з можливим зниженням якості їх виконання. Для прояву живучості система повинна мати здатність

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

поступово деградувати в міру наростання несприятливих наслідків. При кожному рівні таких наслідків система має оперативно та максимально ефективно використовувати наявні ресурси для виконання основних своїх функцій, змінюючи стратегію функціонування (цільова функція). У подальшому система має реалізувати оптимальну стратегію відновлення з урахуванням обмежень, які виникають.

Таким чином, живучість мережі або її елемента – це здатність запобігати, протистояти і протидіяти пошкодженням та, взагалі, процесу ураження. Ця здатність забезпечується конструктивно і організаційно.

Складовими живучості є безпека, стійкість, структурна стійкість і відновлюваність [5] (рисунк 1.1).

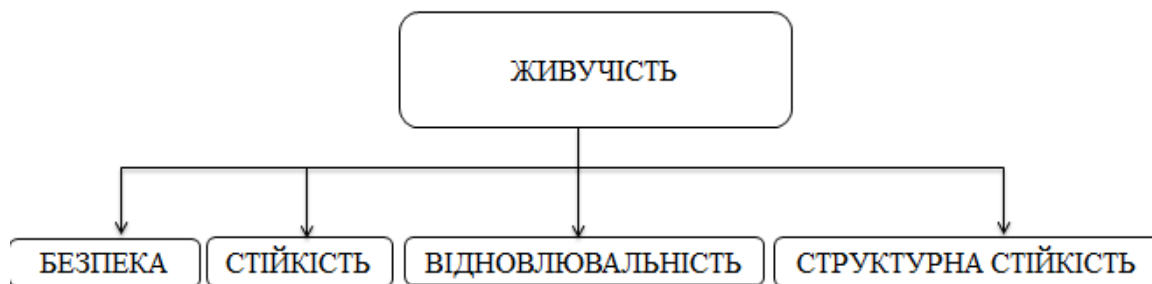


Рис. 1.1 – Складові живучості

Безпека – це властивість об’єкта, що дозволяє усунути вплив конкретного джерела поразки.

Стійкість – це здатність об’єкта витримувати деструктивний вплив певного рівня та інтенсивності без руйнування. Наприклад, стійкість будівлі до землетрусу забезпечується за рахунок його конструкції та матеріалів.

Відновлюваність – це властивість пошкодженого об’єкта, що дозволяє йому максимально відновлювати функціонування за рахунок зміни структури, введення обмежень параметрів функціонування і ремонту.

Структурна стійкість – це властивість об’єкта, що дозволяє йому формувати працездатні структури з елементів, що залишилися після нанесення пошкоджень. Структурна стійкість мережі зв’язку забезпечується здебільшого за рахунок резервування елементів мережі.

## 1.2.2 Характеристики мережевої живучості

Інший підхід, викладений в [6], передбачає моделювання структури живучості як сукупності базових характеристик невразливості, адаптивності та відновлюваності (рисунк 1.2). Кожна з базових характеристик має свої складові.



Рис. 1.2 – Структура характеристик живучості

Невразливість – це здатність системи зберігати свою функціональність при отриманні уражень від негативних впливів. Невразливість кількісно оцінюється імовірністю виконання основних функцій системи після несприятливого впливу на неї і в нештатних умовах експлуатації. Складовими невразливості є стійкість та структурна надмірність.

Стійкість мережі визначається її здатністю зберігати працездатність при впливі дестабілізуючих факторів. Стійкість мереж можна підвищувати різними способами, такими як оптимізація топології і розміщення пристроїв і споруд зв'язку, резервування, застосування спеціальних заходів для захисту від перешкод тощо.

Структурна надмірність визначається кількістю зв'язків у мережі, яка перевищує мінімально необхідну для забезпечення її зв'язності.

Адаптивність – це здатність системи пристосовуватися до змін з урахуванням наявних ресурсів. Вона може забезпечуватися механізмом

реконфігурації. Складовими адаптивності є можливість пристосування будови та функцій мережі.

Відновлюваність – це здатність системи самовідновлюватися за рахунок внутрішніх ресурсів протягом певного часу. Часова надмірність визначає резерв часу для відновлення, а ремонтпридатність базується на наявних діагностичних та відновлювальних засобах.

Державний стандарт України ДСТУ 2506-94 визначає, що основним способом підвищення рівня живучості телекомунікаційної мережі є використання надлишкових технічних засобів. Надлишковість може бути забезпечена за рахунок дублювання елементів мережі, використання резервних каналів зв'язку або використання мережевих топологій, які забезпечують зв'язність навіть у разі пошкодження фрагментів мережі.

### 1.2.3 Види живучості

Живучість аналізують і оцінюють на різних рівнях проектування, моделювання та функціонування систем і мереж. На даний час живучість умовно розділяють на такі види:

1. Функціональна живучість – здатність системи (мережі) зберігати працездатність у разі відмови окремих елементів, які не є критичними для виконання основних функцій системи.
2. Структурна живучість – здатність системи (мережі) зберігати зв'язність і працездатність у разі відмови окремих елементів або підсистем.
3. Структурно-функціональна живучість – здатність системи (мережі) зберігати працездатність у разі відмови критичних елементів, які є необхідними для виконання основних функцій системи.

Схематичне представлення видів живучості показано на рисунку 1.3.

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

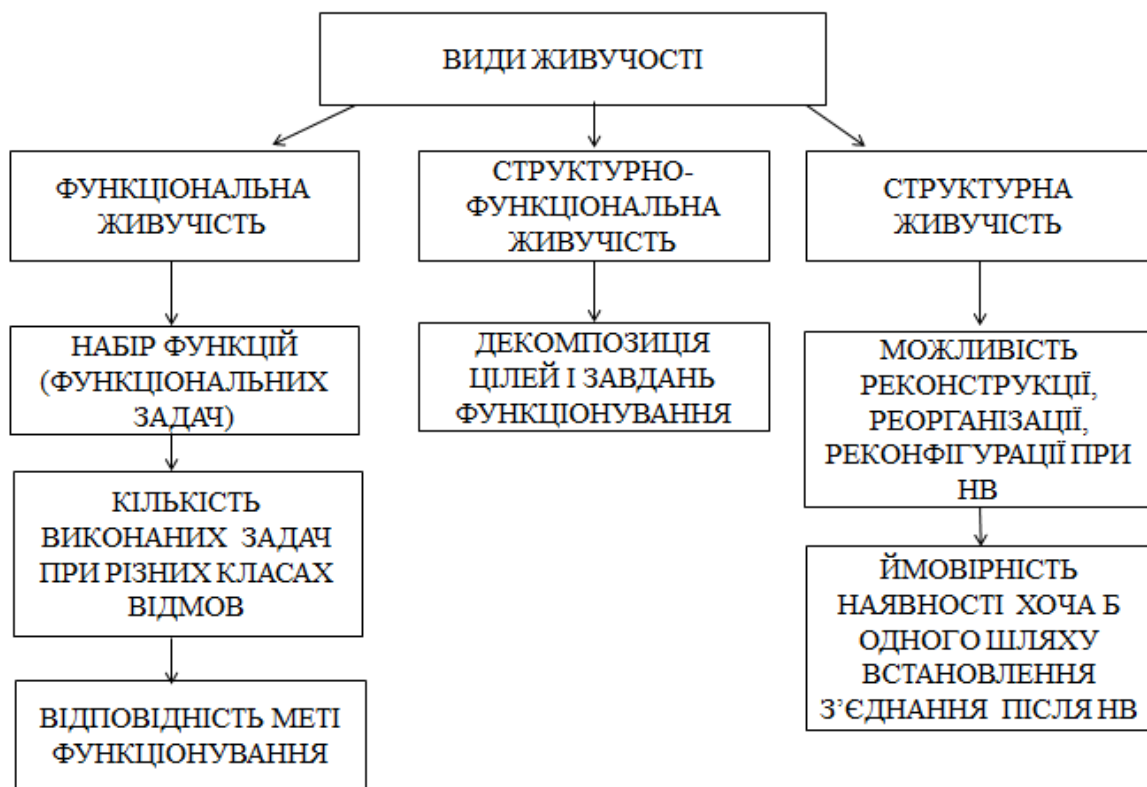


Рис. 1.3 – Види живучості

Функціональна живучість системи залежить від заздалегідь визначених цілей її функціонування. Порівняння функціональної живучості різних систем можливе лише коли ці системи мають однакові цілі функціонування. Таким чином, оцінка живучості конкретної системи змінюватиметься при зміні мети її функціонування. Під час аналізу функціональної живучості система характеризується набором функцій, кількістю виконаних завдань при різних класах відмов, а також відповідністю досягнення мети функціонування, враховуючи різноманітні цілі функціонування. Підвищення функціональної живучості може бути здійснено використанням резервних каналів зв'язку для передачі даних, використання алгоритмів стиснення даних для зменшення навантаження на канали зв'язку, використання протоколів, які забезпечують збереження даних у разі відмови окремих елементів.

Структурна живучість системи розглядається як її здатність до реорганізації та реконфігурації в умовах негативних впливів. Це дозволяє

утворювати таку структуру, яка була б спроможна виконувати критичну підмножину функцій для досягнення потрібних цілей функціонування. Кількісним показником структурної живучості мережі є імовірність існування принаймні одного маршруту для встановлення зв'язку та передачі даних після впливу на мережу вражаючих факторів. Альтернативну оцінку структурної живучості можна здійснити, досліджуючи максимальний потік даних в мережі у випадку відмови її елементів, а також зниження при цьому якості функціонування до прийняттого рівня.

Для проведення аналізу структурної живучості визначаються [5]:

- структура, необхідна для виконання цілей функціонування системи у конкретний момент часу, коли відбуваються небажані впливи на систему;
- вимоги до окремих видів ресурсів системи та їх взаємозв'язок;
- вимоги до функціональних можливостей компонентів системи;
- особливості характеру небажаних впливів або їх наслідків.

Оцінка структурної живучості мереж може бути проведена за певних припущень, які спрощують завдання та зводять його до аналізу зв'язності графів та оцінки імовірності утворення працездатної структури при впливі небажаних чинників.

Згідно з [5], мережа вважається більш живучою, якщо вона може досягати мети функціонування, компенсуючи більшу кількість відмов. У відмовостійкій системі, яка використовує надмірні ресурси, відновлення після відмов здійснюється маршрутом відтворення початкової структури та поведінки. З іншого боку, в живучій системі ефективність досягнення цілей функціонування забезпечується також за рахунок адекватної новим умовам видозміни структури та поведінки, а не лише відновленням оригінальної конфігурації.

Мережа вважається структурно живучою, якщо під впливом зовнішніх факторів граф, який описує її структуру, залишається зв'язним. Іншими

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

словами, при цьому в кожному напрямку зв'язку існує хоча б один маршрут для передачі мережевих пакетів.

Структурна живучість є обов'язковою умовою для успішного функціонування мережі. Способами підвищення структурної живучості є використання мережевих топологій, які забезпечують зв'язність навіть у разі відмови окремих елементів мережі, а також використання протоколів, які забезпечують відновлення порушеного зв'язку.

Структурно-функціональна живучість поєднує в собі і структурні, і функціональні характеристики системи. Цей аспект живучості можна розглядати як сукупність складових частин: цілей та завдань функціонування системи, що є основою для реалізації структурно-функціонального аналізу живучості. Важливою особливістю є те, що декомпозиція проводиться не для окремих елементів, а для системи в цілому. Структурно-функціональна живучість може бути підвищена дублюванням критичних елементів мережі, використанням резервних джерел живлення, використанням систем раннього виявлення відмов і систем автоматичного відновлення.

#### 1.2.4 Критерії мережевої живучості

Визначення і оцінювання мережевої живучості може здійснюватися за низкою критеріїв. У роботі [12] пропонуються такі критерії (рисунок 1.4):

1. Критерій придатності – визначає обґрунтування вимог до системи на основі заданого рівня її живучості. Цей критерій виражається нерівністю (1.1):

$$G \geq G_3 \quad (1.1)$$

де  $G$  – показник живучості системи;

$G_3$  – заданий рівень живучості системи.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

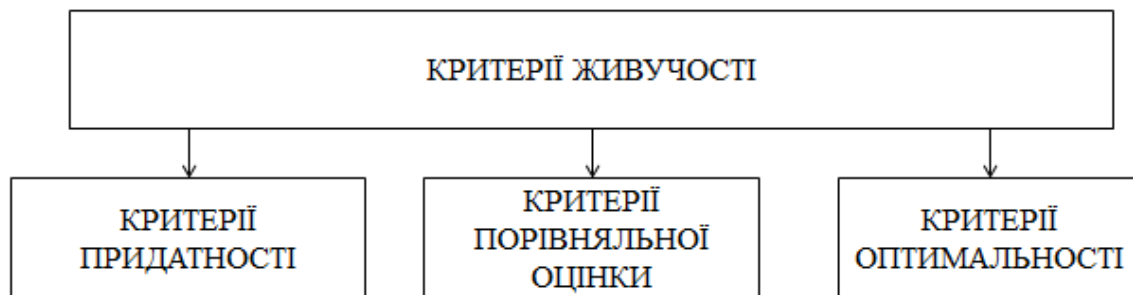


Рис. 1.4 – Критерії живучості

Якщо нерівність (1.1) виконується, вимоги до живучості мережі вважаються обґрунтованими.

2. Критерій порівняльної оцінки застосовується в задачах вибору кращого за показником живучості проекту мережі з наявних альтернатив. Цей критерій виражається нерівністю:

$$G_i \geq G_j \quad (1.2)$$

де  $G_i$  та  $G_j$  – показники живучості  $i$ -го та  $j$ -го альтернативних варіантів побудови мережі.

3. Критерій оптимальності – утворює вектор параметрів системи, при якому показник живучості  $G$  має максимальне значення в деякій обмеженій області  $\Omega$  (1.3):

$$G_i = \max_{\Omega} G \quad (1.3)$$

Область застосування того або іншого критерію визначається завданнями обґрунтування вимог до проектованої мережі за умови, що в рамках визначених обмежень показник живучості повинен досягати максимуму.

У випадку інформаційних систем в якості критерію живучості (кількісна оцінка) в [9] використовується кількість компенсованих функціональних відмов. Якщо компоненти є функціонально однорідними, а мета функціонування визначена заданим рівнем функціонування системи, який

забезпечується наявністю відповідної кількості функціональних складових, то:

$$R(F_k, t) \geq R^* = \text{const}, \quad (1.4)$$

де  $R(F_k, t)$  – середня кількість працездатних функціональних компонент в момент часу  $t \geq 0$ ;

$R^*$  – мінімально допустима кількість працездатних функціональних складових, при якій продуктивність не є нижчою за необхідну.

Оцінкою функціональної живучості може бути функція (1.5):

$$N(F_k, t) = \frac{\bar{\Omega}(F_k, t)}{N\omega}, \quad (1.5)$$

де  $\bar{\Omega}(F_k, t)$  – математичне очікування продуктивності в момент часу  $t \geq 0$ ;

$N\omega$  – сумарна працездатність усіх функціональних складових мережі.

Вибір критерію живучості для практичного використання визначається характером задачі, що вирішується. Критерії можуть показувати зниження якості функціонування мережі з необхідною деталізацією та кількісною оцінкою якості окремих елементів. За допомогою конкретного критерію можна дослідити вплив несприятливих факторів на якість функціонування мережі та оцінити ефективність пошуку екстремуму цільової функції оптимальності з використанням відповідного критерію.

### 1.2.5 Показники живучості

Важливим та відповідальним етапом оцінювання живучості будь-якої системи є вибір її показників. Ці показники мають бути адекватними визначенню живучості, критеріям, зрозумілими, забезпечувати легкість моделювання та розрахунків. Для оцінки працездатності мережі використо-

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

вуються різні показники, які умовно можна розділити на загальні та окремі (часні) [9] (рисунок 1.5).

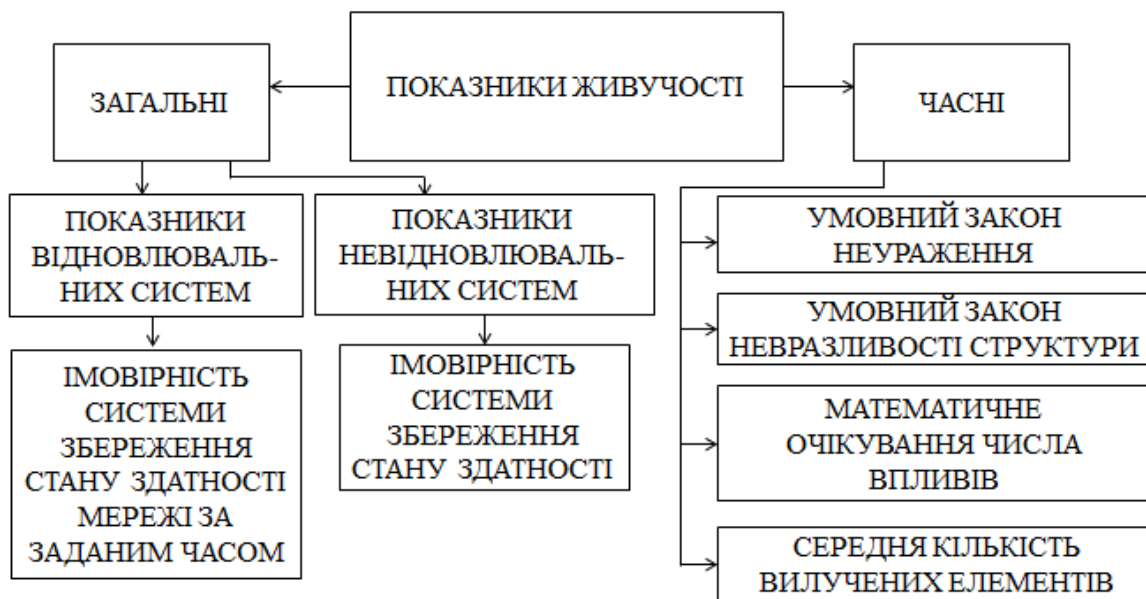


Рис. 1.5 – Показники живучості

Загальні показники живучості охоплюють відновлювальні та невідновлювальні системи.

До загальних показників живучості мереж належить показник відсутності ураження – імовірність збереження мережею стану працездатності.

До окремих показників живучості мереж відносяться:

- умовний закон не ураження мережі, тобто збереження мережею стану працездатності при певному обсязі деструктивних впливів на неї;
- умовний закон збереження структури мережі, який характеризує динаміку збереження мережею стану працездатності при послідовному видаленні її елементів;
- математичне очікування обсягу деструктивних впливів, при яких мережа опиняється у стані непрацездатності;
- середня кількість вилучених елементів з мережі, при якій вона опиняється у стані непрацездатності.

Під час проектування мереж треба враховувати показники живучості, які відзначаються системністю досліджень, забезпечують можливість розробки доступних для аналізу моделей живучості, а також є чутливими до змін в системі взаємозалежностей з іншими показниками. У [14] викладений метод розрахунку надійності маршруту, який використовується для обчислення показника живучості напрямків зв'язку. Цей показник визначається як імовірність збереження зв'язності в послідовному ланцюгу дуг та пунктів, коли в деякому напрямку зв'язку існує лише один маршрут передачі пакетів:

$$W_{ij}^1 = \prod_{m=1}^{M_{ij}} Wm_{ij} \prod_{k=1}^{K_{ij}} Wk_{ij}, \quad (1.6)$$

де  $M_{ij}$  – кількість дуг на  $i, j$ -му маршруті;

$Wm_{ij}$  – імовірність збереження працездатності  $m$ -ї дуги  $i, j$ -го маршруту;

$K_{ij}$  – кількість пунктів  $i, j$ -го маршруту;

$Wk_{ij}$  – імовірність збереження працездатності  $k$ -го пункту  $i, j$ -го маршруту.

Розрахунок за напрямом зв'язку, що включає  $X$  маршрутів передачі даних:

$$W_{ij} = 1 - \prod_{x=1}^X (1 - W_{ij}^x). \quad (1.7)$$

У [9] пропонується в якості показників структурної живучості використовувати середньозважені значення максимального потоку  $\bar{V}_{maxcp}$  та найкоротших маршрутів  $\bar{P}_{mincp}$ . Ці показники є необхідними для

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

створення середньозваженої комплексної оцінки відносної зміни показників структурної живучості  $\overline{\Delta VP}_{срвр}^{HBB}$ .

У роботі [7] поставлена задача оптимізації мережі за заданими значеннями показників живучості, а також представлений алгоритм для її вирішення. Цей алгоритм передбачає підвищення живучості мережі через резервування каналів зв'язку.

Для оцінки ефективності резервування комп'ютерної мережі  $r_k, s_k$ , стан  $z_j$  якого визначається відмовою, існує показник (1.8):

$$\alpha_{r_k s_k} = - \frac{\Delta P(z_j)}{\Delta C_{r_k s_k}}, \quad (1.8)$$

де  $\Delta P(z_j)$  – зміна імовірності стану  $z_k$  при резервуванні комп'ютерної мережі  $r_k, s_k$ ;

$\Delta C_{r_k s_k}$  – вартість резервування.

У роботі [8] запропонований метод забезпечення структурної живучості мережі, який використовує потоковий підхід на базі введеного показника структурної живучості – нижньої межі структурної живучості. Цей метод гарантує стійке функціонування мережі та досягнення необхідного рівня її живучості маршрутом забезпечення структурної надлишковості. Ця надлишковість створюється за допомогою оптимізаційної процедури резервування дуг мережі, які входять у розрізи, що поділяють множину маршрутів обслуговування потоків вимог. Вибір цих дуг базується на максимізації показника ефективності на кожному етапі резервування.

В роботі [12] запропонований спосіб розрахунку показника  $H$  живучості навантаженого пункту по формулі (1.9). Цей розрахунок базується на підрахунку частоти виникнення так званих ланцюгових аварій, в результаті яких вузол навантаження відключається або виникає його відмова.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H = \frac{1}{2^m} \sum_{j=1}^n \lambda_j \prod_{i=1}^m \theta_i^2 \lambda_{s,i}^2, \quad (1.9)$$

де  $\lambda_j$  – параметр потоку незалежних відмов в  $j$ -му елементі мережі;

$\lambda_{s,i}$  – параметр потоку відмов при спрацюванні  $i$ -го захисного апарату;

$\theta_i$  – інтервал часу між профілактичними оглядами мережі;

$m$  – кількість захисних комутаційних агрегатів.

У дослідженні [5] автори пропонують визначати живучість як відношення ентропії системи  $H$  до максимально можливої ентропії системи  $H_{\max}$ :

$$G = \frac{H}{H_{\max}}, \quad (1.10)$$

Ентропія визначає ступінь невпорядкованості системи, а максимально можлива ентропія вказує на граничний стан цього ступеня.

Інші дослідження, які описують методи розрахунку показників живучості, не є вичерпними і при необхідності можуть бути доповнені іншими способами вимірювання цієї характеристики.

Також для оцінки якості функціонування мережі визначають такі показники і критерії, як цілісність мережі, безвідмовність у разі пошкоджень і здатність до роботи в умовах надзвичайних ситуацій або надзвичайного стану [12].

### Висновки до першого розділу

В першому розділі були проаналізовані основні поняття стосовно живучості мереж і відповідні публікації. За результатами аналізу:

1. Визначено етапи розвитку і фактори, що впливають на формування інформаційного суспільства та його рух. Вказано, що активний прогрес у

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

телекомунікаційних та інформаційних технологіях суттєво впливає на розвиток телекомунікацій.

2. Проведено аналіз поточного стану питань, пов'язаних із визначенням та підвищенням структурної живучості мереж зв'язку довільної структури. Відзначено важливість завдань, пов'язаних з оцінкою та підвищенням структурної живучості мереж, враховуючи необхідність підтримки працездатності та надійності мережі при виникненні відмов.

3. Розглянуто основні причини пошкодження та руйнування елементів мереж. Визначено складові властивості живучості, види живучості, критерії та показники. Вказано, що підвищення структурної живучості є ключовим аспектом забезпечення ефективності та надійності мереж.

4. На основі проведеного дослідження питань живучості мереж визначено основні задачі, пов'язані із дослідженням зв'язності топологічної структури мережі та управлінням структурною живучістю.

5. З урахуванням аналізу існуючих методів оцінки та підвищення живучості мереж висвітлено необхідність вдосконалення існуючих та розробки нових методів та підходів для підвищення структурної живучості, з урахуванням факторів, які впливають на розподіл потоків вимог у мережах.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ ТА ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ

#### 2.1 Метод структурного резервування дуг мережі

Один із найбільш широко використовуваних методів забезпечення живучості є структурне резервування [2, 11, 12], яке реалізується на основі загального збільшення структурної надмірності. Це передбачає захист певної частини елементів та виявлення «слабких місць» для їх резервування. Проте ці методи не враховують такі особливості та фактори, як:

- вагові характеристики елементів;
- пріоритети потоків;
- ознаки відповідності і достатності;
- приналежність дуг маршрутам мережі.

Удосконалений метод структурного резервування, запропонований в даній роботі враховує ознаки відповідності і достатності, вагові характеристики дуг мережі, а також принципи забезпечення живучості мережі.

Ознака відповідності (С-ознака) є властивістю мережі, спроектованої так, щоб задовольняти вимогам та забезпечувати максимальну ефективність вирішення поставленої задачі. Ознака відповідності задовольняється при виконанні умови:

$$\min[z_k] \leq [z_k]_0, \quad (2.1)$$

де  $k = 1, 2, \dots, K_n$ ,  $K_n$  – число типів елементів мережі, що забезпечують її функціонування;

$\min[z_k]$  – мінімум елементів мережі, необхідний для її функціонування;

$[z_k]_0$  – склад елементів мережі, що забезпечують її функціонування.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Ознака достатності (D-ознака) в удосконаленому методі структурного резервування визначається як мережева властивість, що вказує на наявність мінімально необхідних ресурсів для вирішення поставленої задачі. Ознака достатності вважається наявною у таких випадках:

$$m_{0k} \geq m_k \quad (2.2)$$

де  $m_{0k}$  – кількість елементів залишкового ресурсу мережі,  $k = 1, 2, \dots, K_n$  ;  
 $m_k$  – мінімальний ресурс, необхідний для функціонування мережі з потрібною продуктивністю.

У цьому методі враховуються та використовуються чотири принципи, що забезпечують живучість [21]. За участю ознак відповідності і достатності та врахуванням цих принципів мережа отримує здатність передавати інформацію між будь-якими пунктами  $i$  та  $j$  мережі. Для кожної пари  $i, j$  визначається низка маршрутів, які при цьому можуть бути побудовані.

При цьому вирішується задача оптимального структурного резервування з урахуванням ваги дуг, включаючи визначення цільової функції та вхідних обмежень. Вага дуг, у свою чергу, визначається відповідно до кількості розірваних зв'язків при втраті певної дуги, що дозволяє враховувати кількість маршрутів, які забезпечують один зв'язок  $i, j$ .

Метод структурного резервування включає в себе такі етапи:

1. Задавання вхідних даних. Цей етап передбачає формування вимог, а також перевірку ознак відповідності та достатності ресурсів.
2. Формування вагових коефіцієнтів дуг для врахування їх важливості у вирішенні задачі.
3. Призначення потокам пріоритетів для оптимізації структурного резервування.
4. Визначення обмежень, які впливають на процес резервування.
5. Структурне резервування ділянок (сегментів) мережі.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При моделюванні структурної живучості мережі можливе представлення станів працездатності у вигляді матриці станів працездатності або логічної функції станів працездатності (ФСП) [10]. Це дозволяє враховувати різні стани та зв'язки між ними у процесі забезпечення живучості мережі.

Під станом працездатності мережі розуміється здатність мережі передавати дані з пункту  $i$  в пункт  $j$  ( $(i, j = 1..n, i \neq j, n - \text{кількість пунктів мережі})$ ). ФСП при цьому може бути представлена як множина маршрутів  $m_{ij}$  з пункту  $i$  в пункт  $j$  в диз'юнктивній нормальній формі (ДНФ). Методи отримання множини маршрутів  $m_{ij}$  на сьогодні добре відомі, їх можна знайти, наприклад, у [10].

Живучість мережі може бути змодельована процесом оцінки наявності хоча б одного маршруту  $\mu_{ij}$  з множини маршрутів  $m_{ij}$  ( $\mu_{ij} \in m_{ij}$ ) після зовнішніх дестабілізуючих впливів, результатом яких є «загибель» певної дуги  $b_{xy}$  або декількох дуг.

Ознака відповідності при цьому для кожного зв'язку  $i, j$  трактуватиметься так:

$\min[z_k]$  – найменше число дуг мережі, яке є необхідним для встановлення зв'язку  $i, j$  після дестабілізуючих впливів, результатом яких є вихід з ладу певної дуги  $b_{xy}$ ;

$[z_k]$  – число дестабілізуючих впливів;

$[z_k]_0$  – склад елементів мережі після дестабілізуючих впливів.

Ознака достатності (2.2) після дестабілізуючих впливів буде мати такий зміст:

$m_{квнв}(m_{0k})$  – кількість елементів (дуг) мережі, що залишилися у працездатному стані після дестабілізуючих впливів;

$m_k$  – мінімальна кількість дуг, необхідних для встановлення зв'язку  $i, j$ .

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови (2.1, 2.2) мають виконуватися для всіх пар  $i, j$ . При цьому кожній парі  $i, j$  привласнюється свій номер  $k = 1, 2, \dots, K_n$ .

Алгоритм удосконаленого методу забезпечення структурної живучості мережі на основі використання ФСП представлено на рисунку 2.1. Він складається з таких етапів:

1. Для мережі у стані працездатності формується матриця  $M = [m_{ij}]$ , яка містить множину  $m_{ij} = [\mu_{ij}]$  маршрутів з пункту  $i$  в пункт  $j$ , представлену у вигляді ДНФ ( $i, j = \overline{1, n}, i \neq j, n$  – кількість пунктів мережі).

2. Перевіряється ознака відповідності – існування як мінімум одного маршруту  $\mu_{ij}$  з пункту  $i$  в пункт  $j$  за умови  $m_{ij} \neq 0$ .

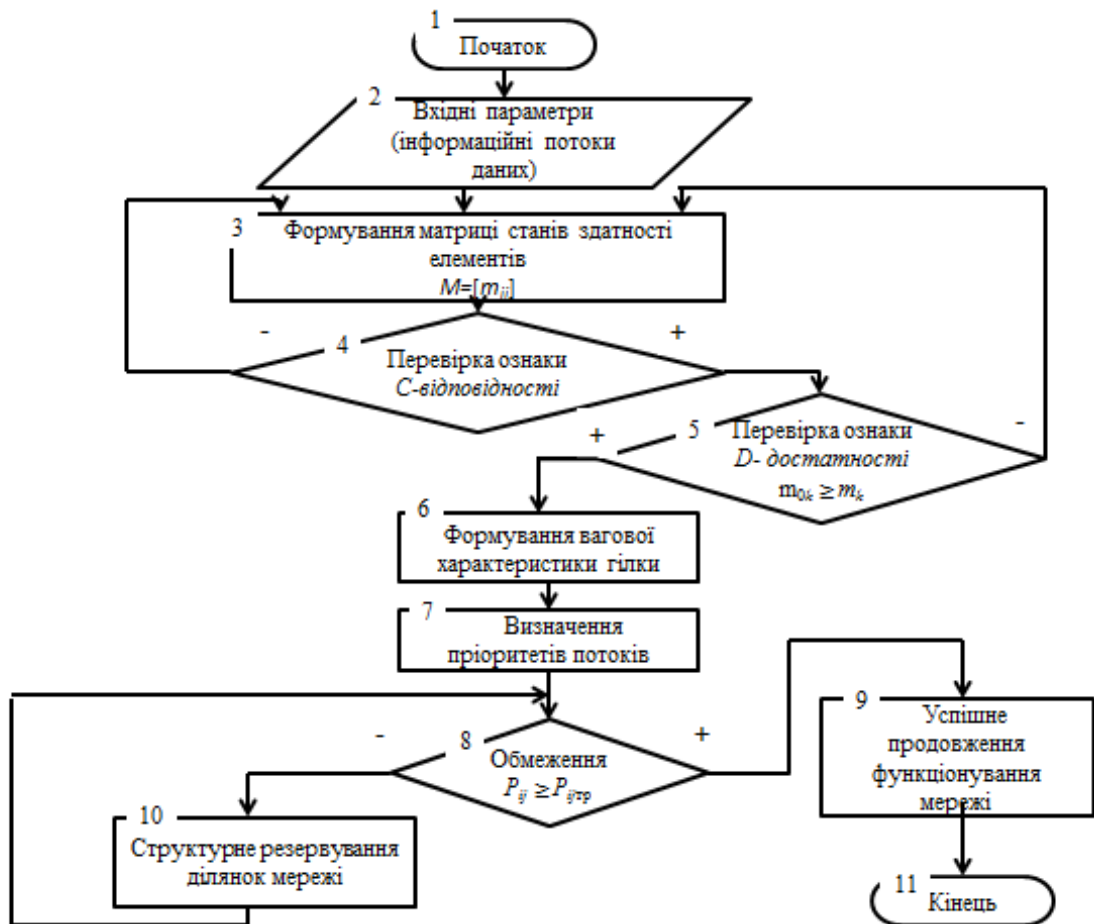


Рис. 2.1 – Блок-схема етапів удосконаленого методу структурного резервування дуг

3. У разі втрати в мережі деякої дуги  $b_{xy}$  (або декількох дуг) після дестабілізуючого впливу для кожної пари  $i, j$  визначається умова наявності зв'язку  $m_{ij}$  – ознака достатності.

4. Якщо умова ознаки достатності не виконується, то здійснюється призначення вагового коефіцієнту для дуги  $b_{xy}$  з коригуванням на подальших етапах.

Бажано здійснювати підрахунок кількості втрачених зв'язків  $i, j$  при втраті дуги  $b_{xy}$  з урахуванням пріоритетності зв'язків  $i, j$ .

За результатом моделювання процесу втрати дуг  $b_{xy}$  в мережі ( $x, y = \overline{1, n}, x \neq y, n$  – кількість пунктів мережі) кожній дузі призначається ваговий коефіцієнт  $W_{xy}$ , який відповідає важливості дуги. Важливість визначається на основі числа втрачених зв'язків  $k_{ij}$  при втраті (відмові) дуги  $b_{xy}$ :

$$W_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}. \quad (2.3)$$

Число маршрутів  $k_{ij}$ , у формуванні яких бере участь дуга  $x, y$ , визначається на основі розрахунку. В мережі з  $L$  дугами кількість маршрутів рангу  $r$ , що включають задану гілку, визначається як відношення сумарної кількості дуг, що беруть участь в утворенні всіх маршрутів рангу  $r$ , до кількості  $L$  дуг мережі. Ранг  $r$  маршруту відповідає числу дуг, які формують маршрут. Таким чином, кількість маршрутів  $m_{r,L}$ , які залишаються після видалення однієї дуги з мережі, можна знайти за формулою:

$$m_{r,L} = \frac{M_{r,L}}{L}, \quad (2.4)$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $M_{r,L}$  – імовірнісна оцінка числа  $m_{r,L}$  маршрутів, які залишаються в мережі після видалення  $l$  дуг.

Число маршрутів визначається у відповідності з планом розподілу потоків даних. З урахуванням важливості  $d_{ij}$  потоків, які рухаються по маршрутах  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ , вираз (2.3) можна представити у вигляді (2.5):

$$W_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (k_{ij} \cdot d_{ij}), \quad (2.5)$$

де  $d_{ij} \geq 1$  – коефіцієнт важливості (пріоритету) потоків  $\varphi_{ij}$ ; для потоків з мінімальною важливістю  $d_{ij} = 1$ .

В результаті усі дуги мережі отримують свої вагові коефіцієнти за формулою (2.5). Ці коефіцієнти відповідають ступеню впливу втрати дуг на структурну живучість мережі. Для підвищення живучості мережі рекомендується використовувати структурне резервування ділянок мережі (дуг) з урахуванням отриманих вагових коефіцієнтів дуг  $W_{xy}$ .

З використанням отриманих коефіцієнтів  $W_{xy}$  виконується ранжування дуг, за результатом якого кожній дузі  $b_{xy}$  присвоюється свій номер. Дуга з максимальним коефіцієнтом  $W_{xy}$  отримує номер 1, дуга з наступним за величиною значенням  $W_{xy}$  – номер 2 і т. д. У разі однаковості значень  $W_{xy}$  для різних дуг дані дуги отримують однакові ранги [10].

Структурне резервування виконується вирішенням прямої задачі оптимального резервування, яка формулюється як мінімізація сумарних витрат на всі резервні елементи мережі  $C_{мережі}$  у відповідності до цільової функції:

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{мережі}} = \sum_{g=1}^G c_g m_g \rightarrow \min \quad (2.6)$$

при обмеженні:

$$P_{ij} \geq P_{ijmp}, \quad (2.7)$$

де  $i, j = \overline{1, n}$ ;  $i \neq j$ ;  $n$  – кількість пунктів мережі;

$g$  – номер дуги  $b_{xy}$ , який було отримано в результаті ранжування дуг;

$c_g$  – вартість  $g$ -го резервного елемента, яка відповідає вартості обладнання відповідної дуги  $b_{xy}$ , з номером  $g$ ;

$m_g$  – кратність резервування  $g$ -ї дуги;

$G$  – кількість дуг, для яких  $W_{xy} \geq 0$ ;

$P_{ij}$  – імовірність збереження зв'язку  $m_{ij}$ , який включає  $g$ -у гілку;

$P_{ijmp}$  – заданий вимогою показник живучості зв'язку  $m_{ij}$ ; може задаватися однаковим для всіх зв'язків або для кожного зв'язку окремо).

Розрахунок  $P_{ij}$  імовірності збереження зв'язку  $m_{ij}$  як імовірності збереження хоча б одного  $k$ -го маршруту  $\mu_{ij}^k \in m_{ij}$  здійснюється за виразом [10]:

$$P_{ij} = (1 - \prod_{\mu_{ij}^k \in m_{ij}} (1 - \prod_{b_{xy} \in \mu_{ij}^k} p_{xy})), \quad (2.8)$$

де  $p_{xy}$  – імовірність збереження дуг  $b_{xy} \in \mu_{ij}^k$ , де  $k$  – номер чергового маршруту  $\mu_{ij}$  множини  $m_{ij}$ , який визначається з урахуванням де-стабілізуючих впливів.

					KPM.KI.1.884-03.2.14	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок  $P_{ij}$  здійснюється по формулі (2.8) у припущенні незалежності маршрутів. Таким чином, формується верхня оцінка живучості зв'язку (імовірності збереження зв'язку  $i, j$ ).

З урахуванням залежності маршрутів, коли деяка дуга може входити в декілька маршрутів  $\mu_{ij}^k$ , розрахунок дійсного показника надійності зв'язку здійснюється за допомогою операції поглинання. Для цього у багаточлені (2.8) розкриваються дужки, після чого всі показники степеня при  $p_{xy}$ , більші за одиницю (це відбувається, коли дуга  $b_{xy}$  входить в декілька маршрутів), замінюються на одиницю [10].

Послідовність етапів резервування визначається важливістю  $d_{ij}$  потоків  $\phi_{ij}$ , які використовують маршрути  $\mu_{ij}^k \in m_{ij}$ . На кожному наступному етапі резервування значення  $P_{ij}$  для зв'язків, які включають наступну резервовану дугу, визначаються з урахуванням показників живучості та збереження дуг, досягнутих на попередніх етапах резервування.

В результаті вирішення прямої задачі оптимального резервування знаходиться мінімальне значення функції (2.6) при виконанні обмежень (2.7). Витрати на резервування (2.6) мінімізуються завдяки отриманій послідовності вибору потоків  $\phi_{ij}$  на основі їх пріоритетності, а також резервування дуг мережі на основі послідовності, визначеної їх рангами.

Вирішення задачі оптимального резервування може також здійснюватися у формі зворотного завдання при обмежених ресурсах. Тоді треба максимізувати значення показника структурної живучості мережі  $P$  (2.9):

$$P_{\text{мережі}} \rightarrow \max \quad (2.9)$$

при обмеженні:

$$C_{ij} \leq C_{ijmp} \cdot \quad (2.10)$$

$P_{мережі}$  розраховується на основі виразу (2.11) як середньозважене значення імовірності збереження усіх зв'язків  $i, j$  [10]:

$$P_{мережі} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij} P_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij}}, \quad (2.11)$$

де  $C_{ij}$  – витрати на резервування дуг, що входять в маршрут  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ ;

$C_{ijmp}$  – вимога на максимальні витрати на резервування обладнання дуг, що входять в маршрут  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ .

При розв'язанні зворотної задачі також на кожному наступному етапі резервування розрахунок  $P_{ij}$  за виразом (2.8) здійснюється на основі показників живучості дуг, досягнутих після їх резервування на попередніх етапах.

Таким чином, вирішення прямої або зворотної задачі оптимального резервування дозволяє отримати структуру резерву  $M = (m_1, m_2, \dots, m_g, \dots, m_G)$  дуг мережі, яка забезпечить стійке функціонування мережі відповідно з заданими вимогами до її структурної живучості.

## 2.2 Резервування вузлів мережі з урахуванням їх посередництва

Як зазначалося у першому розділі, важливим етапом забезпечення успішного функціонування мережі є вибір показників критеріїв живучості. При визначенні показників живучості враховуються ті або інші параметри вузлів мережі. Одним з параметрів, важливих для забезпечення живучості мережі, є так зване посередництво, або навантаженість (*load*) вузла [5]. Ця характеристика відповідає ролі вузла у формуванні зв'язків в мережі і

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частіше за все визначається кількістю маршрутів, що проходять через нього. При цьому враховується значимість вузлів.

При управлінні мережею і її живучістю особливу увагу треба приділяти саме вузлам з великим значенням посередництва, оскільки вони відіграють найбільш важливу роль у формуванні зв'язків з іншими вузлами і пунктами мережі.

Найбільш поширеним способом забезпечення живучості є резервування вузлового устаткування. В роботі [6] пропонується відновлювати зв'язок в мережі шляхом виключення пошкодженого вузла. У дослідженні [7] розглядається наступна схема: коли надходить запит на встановлення з'єднання в резервованому вузлі мережі, використовуються два механізми: контролер ресурсів каналу, який перевіряє доступність необхідного ресурсу, та контролер доступу, що порівнює права даного користувача із запитом. Коли обидва механізми дають успішний результат, резервування вважається задіяним у даному вузлі, і відповідний сигнал направляється модулям, які класифікують потоки і формують вихідні черги. Якщо хоча б один з механізмів не дає успішного результату, протокол повідомляє джерело запиту про неможливість встановлення з'єднання. Вузол мережі може припинити резервування пропускну здатності, якщо не отримує підтвердження від передавача або приймача потоків.

У [5] запропоновано метод резервування вузлів з найбільшим посередництвом. Посередництво  $N_q$  вузла  $q$  визначається формулою:

$$N_q = \frac{B(i, q, j)}{B(i, j)}, \quad (2.12)$$

де  $B(i, j)$  – загальне число найкоротших маршрутів між пунктами  $i$  та  $j$ ;

$B(i, q, j)$  – число найкоротших маршрутів між пунктами  $i$  та  $j$ , що проходять через вузол  $q$ .

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

На відміну від традиційних методів визначення характеристики посередництва, запропонована в даній роботі методика визначає ступінь посередництва вузла на основі загальної кількості маршрутів, які проходять через даний вузол. Це дозволяє отримати більш точне значення даної характеристики. Ідея даного підходу заснована на тому, що в сучасних протоколах маршрутизації, таких як OSPF, IGRP, EIGRP та інші, є можливість використання для передачі повідомлень кількох маршрутів з однаковими чи навіть різними метриками.

У розробленому методі визначення посередництва особливість полягає в тому, що отримане значення може бути визначене для будь-якого вузла мережі. Крім того, метод надає оцінку імовірності збереження зв'язку між будь-якої парою вузлів, що забезпечує необхідний рівень структурної живучості мережі.

Посередництво  $N_q$  вузла  $q$  будемо визначати як відношення кількості  $P_{ij}^q$  маршрутів з пункту  $i$  в пункт  $j$ , які проходять через вузол  $q$ , до загальної кількості  $P_{ij}$  маршрутів з пункту  $i$  в пункт  $j$  [8]:

$$N_q = \frac{P_{ij}^q}{P_{ij}}. \quad (2.13)$$

Значення  $N_q \leq 1$ , і чим ближче  $N_q$  до одиниці, тим більш високою є ступінь посередництва у вузла  $q$ . У виразі (2.13)  $N_q$  визначається без урахування важливості потоків, які використовують маршрути  $\mu_{ij}^k \in m_{ij}$ .

Ступінь посередництва вузлів з урахуванням значимості  $V_{ij}^k$  маршрутів  $\mu_{ij}^k$  може бути визначений в такий спосіб. Якщо визначення ваги здійснюється на основі рангу маршруту, то вага  $V_{ij}^k$  маршруту  $\mu_{ij}^k$  визначатиметься за формулою:

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{ij}^k = \frac{r_{max}}{r_{ij}^k}, \quad (2.14)$$

де  $r_{max}$  – максимальний ранг серед усіх маршрутів в мережі;

$r_{ij}^k$  – ранг маршруту  $\mu_{ij}^k$ .

Якщо визначення ваги здійснюється на основі пропускної спроможності маршруту, то вага  $V_{ij}^k$  маршруту  $\mu_{ij}^k$  визначатиметься за формулою:

$$V_{ij}^k = \frac{U_{ij}^k}{U_{max}}, \quad (2.15)$$

де  $U_{max}$  – максимальна пропускна спроможність серед усіх маршрутів в мережі;

$U_{ij}^k$  – пропускна спроможність маршруту  $\mu_{ij}^k$ .

Тоді після введення вагових коефіцієнтів для всіх маршрутів посередництво» вузла  $q$  визначиться так:

$$N_q = \frac{\sum_{k=1}^{P_{ij}^q} V_{ij}^k}{\sum_{k=1}^{P_{ij}^q} V_{ij}^k}, \quad (2.16)$$

де  $V_{ij}^k$  – ваговий коефіцієнт маршруту  $\mu_{ij}^k$ . Ваговий коефіцієнт маршрутів можна визначати як пріоритет вимог  $\varphi_{ij}$ ,

$P_{ij}^q$  – кількість маршрутів  $\mu_{ij}^k$ , які проходять через вузол  $q$ .

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підтримка характеристики посередництва відіграє важливу роль у забезпеченні необхідного рівня структурної живучості мережі. Визначення ступеня посередництва вузла пов'язано з аналізом числа маршрутів в мережі. Методи визначення цього числа для мереж різної топології розглянуті в роботі [19]. У даному дослідженні надана оцінка імовірності виключення певного заданого маршруту при видаленні довільної дуги.

В роботі [19] отримано вираз для числа маршрутів рангу  $r$ , які залишаються після видалення з повнозв'язної мережі дуг, коли в мережі залишається  $L = L_{max} - l$  дуг:

$$M_{r,L} = \frac{n(n-1)}{2} C_{n-2}^{r-1} \left( 1 - \frac{2m_{r,L_{max}}}{n(n-1)A_{n-2}^{r-1}} \right)^l, \quad (2.17)$$

де  $m_{r,L_{max}}$  – кількість маршрутів рангу  $r$ , що забезпечують зв'язок  $i, j$  в мережі з  $n$  пунктами та  $L_{max}$  дугами ( $L_{max}$  – максимально можлива кількість дуг мережі).

Кількість маршрутів рангу  $r$ , що забезпечують один зв'язок  $i, j$  в мережі з  $n$  пунктами та  $L$  дугами, можна знайти по формулі:

$$m_{(ij)r,L} \frac{M_{r,L}}{j} = \frac{M_{r,L}}{n(n-1)}, \quad (2.18)$$

де  $j$  – загальна кількість пар пунктів мережі.

Імовірність збереження зв'язку довільної пари пунктів мережі  $i, j$ , яка може характеризувати структурну живучість усієї мережі:

$$P_{(ij)} = 1 - \prod_{g=1}^G (1 - p_{xy}^g)^{q_{(ij)r,L}}, \quad (2.19)$$

де  $p_{xy}^g$  – імовірність збереження дуги між деякими пунктами  $x$  та  $y$ .

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, підтримка посередництва для вузлів мережі на необхідному рівні дозволяє забезпечити структурну живучість мережі і є актуальним завданням.

Удосконалений метод підвищення структурної живучості оптимальним резервуванням вузлового устаткування з урахуванням посередництва вузлів показаний у вигляді блок-схеми алгоритму на рисунку 2.2. Він складається з таких етапів:

1. Будується матриця  $M$  маршрутів  $\mu_{ij}$ , які забезпечують передавання даних із пункту  $i$  у пункт  $j$  мережі.
2. Формується таблиця вагових коефіцієнтів вузлів. При формуванні ваги вузла має враховуватися не лише число маршрутів, що проходять через нього, а й пріоритетність вимоги на передачу даних з пункту  $i$  у пункт  $j$ .

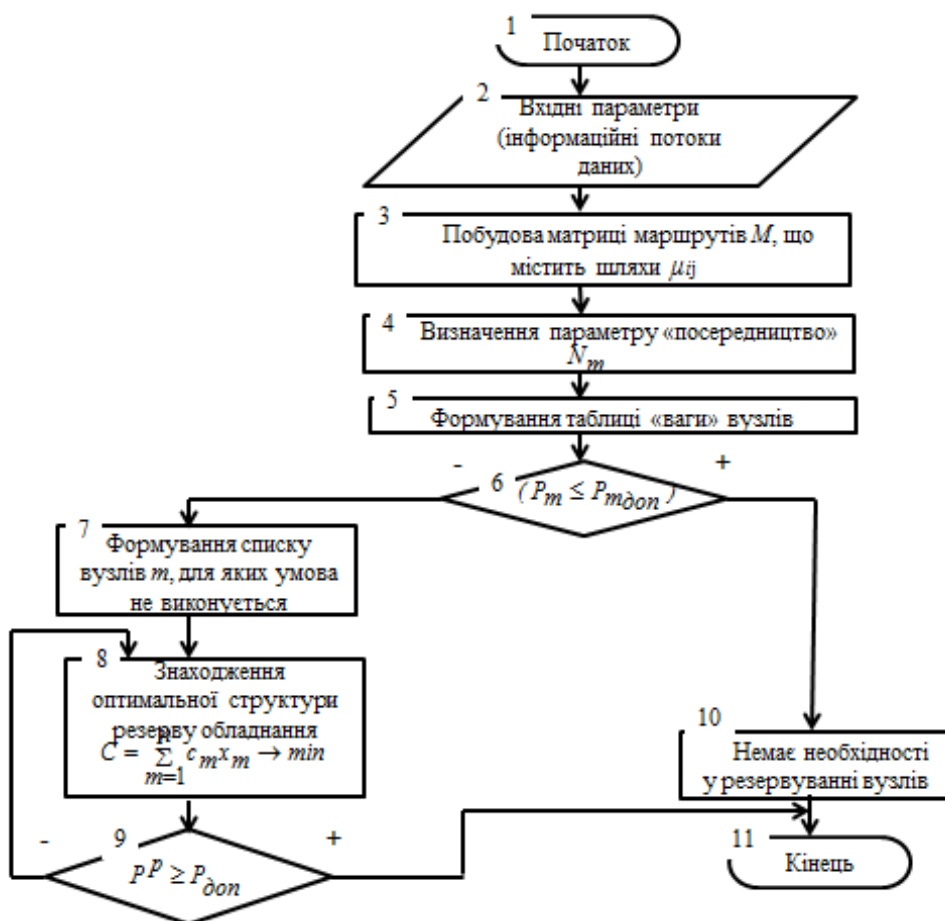


Рис. 2.2 – Блок-схема удосконаленого методу оптимального резервування вузлового устаткування

3. Для усіх вузлів  $q$  визначається число їх входжень в різні маршрути; тобто визначається характеристика посередництва за виразом (2.13).

4. Перевіряється виконання умови для кожного вузла  $q$  мережі:

$$P_q \geq P_{q\text{доп}}, \quad (2.20)$$

де  $P_q$  – імовірність збереження вузла  $q$ ;

$P_{q\text{доп}}$  – допустиме значення показника збереження вузла  $q$ , яке визначається його рівнем посередництва  $N_q$ . Значення  $P_{q\text{доп}}$  може формуватися на основі експертних оцінок у відповідності до вимог системи забезпечення якості.

Виконання умови (2.20) для вузла  $q$  означає, що показник збереження вузлів знаходиться у допустимих межах, і необхідності у резервуванні устаткування вузлів для забезпечення живучості мережі немає. При невиконанні умови (2.20) треба здійснити перехід до п. 5 алгоритму.

5. Отримується список вузлів, для яких умова (2.20) не виконується, в послідовності, що визначається пріоритетом вимог, маршрути яких проходять через вузли  $q$ .

6. Ставиться задача оптимального резервування устаткування як різновид задачі лінійного програмування:

$$C = \sum_{q=1}^n c_q x_q \rightarrow \min \quad (2.21)$$

при умові  $P_{\text{мережі}} \geq P_{\text{доп}}, \quad (2.22)$

де  $x_q$  – кількість резервних елементів на вузлі  $q$ ,

$c_q$  – вартість резерву вузла  $q$ ;

$n$  – кількість резервованих вузлів.

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього з метою підтримки посередництва на необхідному рівні знаходиться оптимальна структура резерву устаткування вузлів мережі  $X = (x_1, x_2, \dots, x_q, \dots, x_n)$ , яка забезпечує мінімальні витрати  $C$ .

Показниками структурної живучості мережі можуть виступати:

- $P_{ij}$  – імовірність збереження зв'язку  $m_{ij}$  як імовірність збереження хоча б одного маршруту  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ ;
- $P_{мережі}$  – структурна живучість мережі, що досягається після резервування вузлів;
- $\bar{V}_{maxcp}$  – середньозважений максимальний потік в мережі;
- $\bar{P}_{mincp}$  – середньозважена кількість найкоротших маршрутів.
- $P_{дон}$  – показник структурної живучості мережі, який визначається виходячи з вимог до систем забезпечення якості.

$$\bar{VP}_{CB} = \bar{V}_{maxCB} + W_f + \bar{P}_{minCB} \cdot W_r, \quad (2.23)$$

де  $W_f$  і  $W_r$  – вагові коефіцієнти для максимальних потоків і найкоротших маршрутів відповідно, які визначаються з умови  $W_f + W_r = 1$ .

Вибір одного з перерахованих показників структурної живучості  $\bar{V}_{maxCB}$ ,  $\bar{P}_{minCB}$ ,  $\bar{VP}_{CB}$  залежить від критерію, який було обрано в якості характеристики структурної живучості мережі;

Послідовність резервування визначається пріоритетами вимог і вагою вузлів. При виконанні умови (2.21) процес резервування закінчується. При цьому витрати мінімізуються завдяки визначеній послідовності вибору чергових елементів на основі їх пріоритетів, а також резервування вузлів мережі у відповідності до послідовності, що визначається вагою вузлів.

Отже, вирішення задачі оптимального резервування дозволяє визначити структуру резерву для вузлів мережі, яка має забезпечити, по-перше,

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

максимально стабільне функціонування мережі відповідно до встановлених вимог, і, по-друге, визначений рівень посередництва вузлів мережі.

### **Висновки до другого розділу**

В другому розділі кваліфікаційної роботи були отримані і висвітлені такі результати:

1. Проаналізована сутність методів забезпечення структурної живучості за допомогою структурного резервування.

2. Метод структурного резервування дуг мережі був удосконалений врахуванням вагових коефіцієнтів дуг та пріоритетності потоків.

2. Розглянутий підхід до резервування вузлів з урахуванням посередництва вузла. Даний підхід дозволяє враховувати загальну кількість маршрутів, що проходять через конкретний вузол. Це дозволяє отримати більш точне значення цього параметра для забезпечення необхідного рівня структурної живучості мережі.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### РОЗДІЛ 3

## ВИКОРИСТАННЯ І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

### 3.1 Аналіз базового методу структурного резервування

В даному і наступному підрозділах виконано експериментальне порівняння існуючих методів структурного резервування дуг і вдосконаленого в даній роботі методу оптимального резервування дуг (див. підрозділ 2.1).

В якості об'єкту аналізу візьмемо спершу мережу №1, структура якої показана на рисунку 3.1, а входні параметри – вартість резервного обладнання в умовних одиницях та імовірності збереження гілок – в таблиці 3.1.

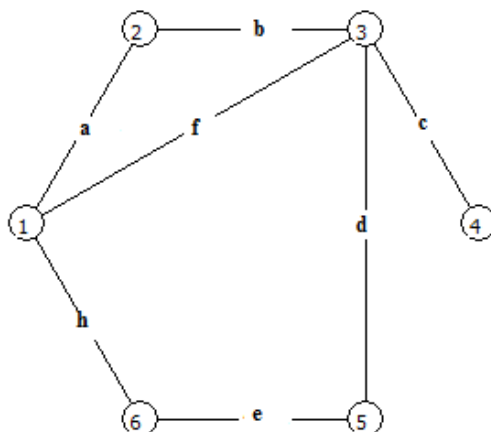


Рис. 3.1 – Граф мережі №1

Таблиця 3.1

Вхідні параметри аналізованої мережі №1

Дуга	a	b	c	d	e	f	h
Вартість $C$	1	2	3	5	6	1	3
Імовірність збереження $p$	0,9	0,85	0,9	0,75	0,9	0,8	0,9

На першому етапі дослідження для забезпечення структурної живучості мережі здійснимо резервування дуг без визначення коефіцієнтів пріоритетності потоків та ваги дуг.

При оцінці надійності та живучості мережі для кожної вхідної заявки формується множина маршрутів  $m_{ij}$ , які придатні для обслуговування вхідних потоків. Для всіх можливих пар вузлів  $i, j$  можуть бути записані ФСП. З отриманої множини маршрутів для кожної вимоги обираються допустимі маршрути, враховуючи задані значення імовірностей збереження дуг (таблиця 3.1). При цьому як застосовні розглядаються ті маршрути, ранг яких не перевищує визначеного значення:  $d \leq 3$ . Множини застосовних маршрутів представлені у диз'юнктивній нормальній формі (ДНФ):

$$\begin{aligned} m_{15}^{d \leq 3} &= he + fd + abd; \\ m_{25}^{d \leq 3} &= bd + ahe + afd; \\ m_{36}^{d \leq 3} &= fh + de + bah. \end{aligned} \quad (3.1)$$

У виразах (3.1) операція диз'юнкції позначена знаком «+».

Прийmemo, що треба забезпечити рівень структурної живучості мережі  $P_{мережі\ зад} = 0,99999$  резервуванням дуг мережі.

Середнє значення імовірності збереження (тобто живучості) усіх зв'язків мережі розраховується за допомогою формули:

$$P_{мережі} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n P_{ij}. \quad (3.2)$$

Для забезпечення структурної живучості мережі використовується так званий градієнтний метод [10]. Для вибору напрямку руху на  $(k + 1)$ -му кроці процесу слід додавати ще один резервний елемент до  $i$ -ї підсистеми, для якої максимізується величина градієнту:

$$\gamma(m_i + 1) = \frac{1}{c_i} \prod_{i=1}^n p_i(m_i) \left[ \frac{p_i(m_i + 1)}{p_i(m_i)} - 1 \right] = P(k) \frac{p_i(m_i + 1) - p_i(m_i)}{c_i \cdot p_i(m_i)}. \quad (3.3)$$

У формулі (3.3)  $P(k)$  є множником при обчисленні величини  $\gamma(m_i + 1)$  для усіх  $i = \overline{1, n}$ . Тому можна спростити процедуру розрахунку без зміни змісту процесу. Для цього на кожному етапі слід вибирати ту підсистему для резервування, в якій максимальною є величина градієнту, яка визначається формулою:

$$\gamma(m_i + 1) = \frac{p_i(m_i + 1) - p_i(m_i)}{c_i \cdot p_i(m_i)} \quad (3.4)$$

Результат розрахунку показників живучості кожної дуги зведені в таблицю 3.2:

Таблиця 3.2

Попередні розрахунки значень показника живучості дуг

$m_I$	$P_a$	$P_b$	$P_c$	$P_d$	$P_e$	$P_f$	$P_h$
0	0,90000	0,85000	0,90000	0,75000	0,90000	0,80000	0,90000
1	0,99000	0,97000	0,99000	0,93700	0,99000	0,96000	0,99000
2	0,99900	0,99670	0,99900	0,98500	0,99900	0,99200	0,99900
3	0,99990	0,99960	0,99990	0,99610	0,99990	0,99840	0,99990
4	0,99999	0,99999	0,99999	0,99903	0,99999	0,99999	0,99999

Попередньо розрахуємо імовірність  $P_{ij}$  збереження зв'язку (тобто, власне, живучість)  $m_{ij}$ , як імовірність збереження хоча б одного маршруту  $\mu_{ij} \in m_{ij}$  у відповідності з виразом (2.8). Розрахуємо імовірності збереження (показник живучості) для  $m_{15}^{r \leq 3}$ ,  $m_{25}^{r \leq 3}$ ,  $m_{36}^{r \leq 3}$ :

$$P_{15} = 1 - (1 - 0,90 \cdot 0,85 \cdot 0,75) \cdot (1 - 0,90 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,80 \cdot 0,75) = 0,96760;$$

$$P_{25} = 1 - (1 - 0,85 \cdot 0,75) \cdot (1 - 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,90 \cdot 0,80 \cdot 0,75) = 0,95481;$$

$$P_{36} = 1 - (1 - 0,80 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,75 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,85 \cdot 0,90 \cdot 0,90) = 0,97165.$$

Середню імовірність збереження (живучості) всіх зв'язків  $i, j$  розраховуємо по формулі (3.3).

$$P_{\text{мережі}} = \frac{0,96760 + 0,95481 + 0,97165}{3} = 0,96468.$$

Якщо розраховане значення  $P_{\text{мережі}}$  менше потрібного, його можна підвищити до необхідної величини, застосовуючи резервні елементи.

Щоб показник живучості мережі був  $P_{\text{мережі}} \geq 0,99999$ , необхідно, щоб показник живучості кожної окремо взятої дуги був  $P_i \geq 0,99999$ .

Отримана імовірність збереження (живучість) усіх зв'язків менша за необхідну:  $0,96468 < 0,99999$ . Треба переходити до структурного резервування дуг мережі.

По-перше, необхідно знайти градієнт за формулою (3.4) для всіх дуг мережі. Для розрахунку градієнта будемо враховувати вартість дуг, що наведені у таблиці 3.1.

$$\gamma_a = \frac{0,99 - 0,9}{0,9 \cdot 1} = 0,10;$$

$$\gamma_b = \frac{0,97 - 0,85}{0,85 \cdot 2} = 0,07;$$

$$\gamma_c = \frac{0,99 - 0,9}{0,9 \cdot 3} = 0,03;$$

$$\gamma_d = \frac{0,93 - 0,75}{0,75 \cdot 5} = 0,04;$$

$$\gamma_e = \frac{0,99 - 0,9}{0,9 \cdot 6} = 0,01;$$

$$\gamma_f = \frac{0,96 - 0,8}{0,8 \cdot 1} = 0,20;$$

$$\gamma_h = \frac{0,99 - 0,9}{0,9 \cdot 3} = 0,03.$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після визначення значення градієнта для всіх дуг мережі першим етапом є розрахунок показника структурної живучості мережі, яка забезпечується резервуванням дуги  $f$ .

Після резервування дуги  $f$  перераховуємо імовірності збереження (живучості) зв'язку  $P_{ij}$  з включенням резервного елемента для дуги  $f$  по формулі (2.8):

$$P_{15} = 1 - (1 - 0,96 \cdot 0,75) \cdot (1 - 0,90 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,90 \cdot 0,85 \cdot 0,75) = 0,97733;$$

$$P_{25} = 1 - (1 - 0,85 \cdot 0,75) \cdot (1 - 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,90 \cdot 0,96 \cdot 0,75) = 0,96543;$$

$$P_{36} = 1 - (1 - 0,96 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,75 \cdot 0,90) \cdot (1 - 0,85 \cdot 0,90 \cdot 0,90) = 0,98624.$$

Середнє значення ймовірності збереження (живучості) усіх зв'язків у відповідності до формули (3.2):

$$P_{\text{мережі}} = \frac{0,97733 + 0,96543 + 0,98624}{3} = 0,97633.$$

Подальші розрахунки виконуються за аналогічною схемою. По закінченні останнього розрахунку маємо:

$$P_{15} = 1 - (1 - 0,99 \cdot 0,997 \cdot 0,985) \cdot (1 - 0,99 \cdot 0,99) \cdot (1 - 0,992 \cdot 0,985) = 0,99999;$$

$$P_{25} = 1 - (1 - 0,997 \cdot 0,985) \cdot (1 - 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99) \cdot (1 - 0,99 \cdot 0,992 \cdot 0,985) = 0,99999;$$

$$P_{36} = 1 - (1 - 0,992 \cdot 0,99) \cdot (1 - 0,985 \cdot 0,99) \cdot (1 - 0,997 \cdot 0,99 \cdot 0,99) = 0,99999.$$

Середнє значення імовірності збереження (живучості) всіх зв'язків:

$$P_{\text{мережі}} = \frac{0,99999 + 0,99999 + 0,99999}{3} = 0,99999.$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Вартість резервного устаткування мережі при заданому показнику живучості мережі  $P_{мережі} \geq 0,99999$  склала 31 одиницю.

Результати розрахунків показника живучості і вартості резервного обладнання по завершенні усіх етапів представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати резервування дуг без урахування пріоритетності потоків

№	$m_a$	$P_a$	$m_b$	$P_b$	$m_d$	$P_d$	$m_e$	$P_e$	$m_f$	$P_f$	$m_h$	$P_h$	$P_{мережі}$	$C$
0	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	0	0,800	0	0,900	0,96460	0
1	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,97633	1
2	1	0,990	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98290	2
3	1	0,990	1	0,970	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98783	4
4	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,99523	9
5	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	1	0,990	0,99743	12
6	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	2	0,990	1	0,990	0,99879	13
7	1	0,990	1	0,970	1	0,930	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99974	19
8	1	0,990	1	0,970	2	0,980	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99995	24
9	1	0,990	2	0,990	2	0,980	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99997	26
10	2	0,999	2	0,990	2	0,980	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99998	27
11	2	0,999	2	0,990	2	0,980	2	0,999	3	0,998	1	0,990	0,99998	28
12	2	0,999	2	0,990	2	0,980	2	0,999	3	0,998	1	0,990	0,99999	31

Структуру резерву дуг мережі можна записати у такому вигляді:

$$M = (m_a, m_b, m_c, m_d, m_e, m_f, m_h) = (2, 2, 0, 2, 2, 3, 1).$$

Мінімальна вартість резервного обладнання мережі при цьому складає 31 одиницю при заданому показнику живучості  $P_{мережі} \geq 0,99999$ .

## 3.2 Аналіз ефективності удосконаленого методу структурного резервування дуг

### 3.2.1 Аналіз на мережі №1

Застосуємо тепер удосконалений метод забезпечення структурної живучості мережі №1 за допомогою структурного резервування дуг, задавши вагові коефіцієнти дуг та коефіцієнти пріоритетів потоків. Для потоку  $m_{15}^{d \leq 3} - d_{ij} = 1$ ; для потоку  $m_{25}^{d \leq 3} - d_{ij} = 2$ ; для потоку  $m_{36}^{d \leq 3} - d_{ij} = 3$ . Вхідні потоки для обслуговування ( $\varphi_{15}, \varphi_{25}, \varphi_{36}$ ) і початкові параметри ідентичні попередній задачі (таблиця 3.1). Необхідно забезпечити структурну живучість мережі також на рівні  $P_{\text{мережі}} = 0,99999$ .

Таблиця 3.4

Вагові коефіцієнти дуг

Дуги	$W_a$	$W_b$	$W_c$	$W_d$	$W_e$	$W_f$	$W_h$
$W$	8	6	0	9	6	6	9
$\gamma \cdot W$	0,80	0,42	0	0,36	0,06	1,20	0,27

Оскільки  $W_e < W_h < W_d < W_b < W_a < W_f$ , першим треба зарезервувати дугу  $f$ . Результати першого етапу розрахунку представлені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Результат першого етапу резервування дуг удосконаленим методом

Крок	$m_a$	$P_a$	$m_b$	$P_b$	$m_d$	$P_d$	$m_e$	$P_e$	$m_f$	$P_f$	$m_h$	$P_h$	$P_{\text{мережі}}$	$C$
<b>0</b>	0	0,90	0	0,85	0	0,75	0	0,90	0	0,80	0	0,90	0,96536	0
<b>1</b>	0	0,90	0	0,85	0	0,75	0	0,90	1	0,96	0	0,90	0,97781	1

Оскільки  $W_e < W_h < W_f < W_d < W_b < W_a$ , на другому етапі виконуємо резервування дуги  $a$ . Подальші розрахунки здійснюються за аналогічним алгоритмом, а результати вносяться до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Результати розрахунків резервування дуг удосконаленим методом

№	$m_a$	$P_a$	$m_b$	$P_b$	$m_d$	$P_d$	$m_e$	$P_e$	$m_f$	$P_f$	$m_h$	$P_h$	$P_{мережі}$	$C$
0	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	0	0,800	0	0,900	0,96536	0
1	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,97781	1
2	1	0,990	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98443	2
3	1	0,990	1	0,970	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98931	4
4	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,99567	9
5	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	1	0,990	0,99779	11
6	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99916	12
7	1	0,990	1	0,970	2	0,985	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99933	17
8	1	0,990	2	0,997	2	0,985	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99993	19
9	2	0,999	2	0,997	2	0,985	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99995	20
10	2	0,999	2	0,997	2	0,985	1	0,990	2	0,992	1	0,990	0,99999	26

Структура резерву дуг мережі № 1:

$$M = (m_a, m_b, m_d, m_e, m_f, m_h) = (2, 2, 2, 1, 2, 1).$$

Мінімальна вартість резервного обладнання мережі при цьому складає 26 одиниць при заданому значенні показника живучості  $P_{мережі} \geq 0,99999$ .

Можна бачити, що удосконалений метод підвищення структурної живучості оптимальним структурним резервуванням дуг в даному випадку зменшив число етапів на 2, тобто на  $100\% - (10 / 12) \cdot 100\% = 16,7\%$ , а необхідну вартість витрат на резервне обладнання – на 5 одиниць, що відповідає  $100\% - (26 / 31) \cdot 100\% = 16,1\%$ .

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>				Арк.
									51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

### 3.2.2 Аналіз на мережі №2

Перевіримо тепер застосовність удосконаленого методу підвищення структурної живучості на мережі №2 більш великого розміру, структура якої показана на рисунку 3.2.

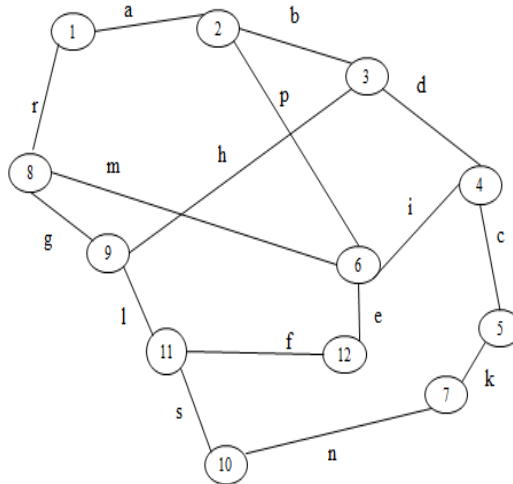


Рис. 3.2 – Граф мережі №2

Мережа обслуговує такі вхідні потоки:  $\varphi_{41}, \varphi_{92}, \varphi_{83}, \varphi_{312}$ :

$$\begin{aligned}
 m_{41}^{d \leq 4} &= dba + ipa + imr + dhgr; \\
 m_{92}^{d \leq 4} &= hb + gra + gmp + lfep; \\
 m_{83}^{d \leq 4} &= gh + mpb + rab + mid; \\
 m_{312}^{d \leq 4} &= hlf + die + bpe.
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Необхідно забезпечити аналогічний рівень структурної живучості мережі  $P_{\text{мережі зад}} = 0,99999$  вирішенням задачі оптимального структурного резервування дуг. У таблиці 3.7 наведені вхідні характеристики мережі №2.

Таблиця 3.7

## Вхідні характеристики мережі №2

Дуга	a	b	c	d	e	f	h	i	k	m	n	l	g	r	p	s
<i>C</i>	1	2	3	5	6	1	3	1	2	3	5	6	1	3	3	5
<i>p</i>	0,90	0,85	0,90	0,75	0,90	0,80	0,90	0,90	0,85	0,90	0,75	0,90	0,80	0,90	0,90	0,85

Спочатку виконаємо резервування дуг мережі без урахування вагових коефіцієнтів дуг та коефіцієнтів пріоритетності потоків.

На першому етапі резервується дуга *f*. Результати резервування по наступних етапах представлені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

## Результат розрахунку резервування дуг мережі №2 без урахування пріоритетності потоків

Етап	$P_a$	$P_b$	$P_d$	$P_e$	$P_f$	$P_h$	$P_i$	$P_m$	$P_l$	$P_g$	$P_r$	$P_p$	$P_{мережі}$	<i>C</i>
0	0,90	0,85	0,75	0,90	0,8	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90	0,97951	0
1	0,90	0,85	0,75	0,90	0,96	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90	0,98432	1
2	0,90	0,85	0,75	0,90	0,96	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,98741	2
3	0,99	0,85	0,75	0,90	0,96	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,98885	3
4	0,99	0,97	0,75	0,90	0,96	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99257	5
5	0,99	0,97	0,93	0,90	0,96	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99784	10
6	0,99	0,97	0,93	0,90	0,96	0,99	0,90	0,90	0,9	0,96	0,90	0,90	0,99877	13
7	0,99	0,97	0,93	0,90	0,99	0,99	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99890	14
8	0,99	0,97	0,93	0,90	0,99	0,99	0,90	0,99	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99927	17
9	0,99	0,97	0,93	0,90	0,99	0,99	0,90	0,99	0,90	0,96	0,99	0,90	0,99961	20
10	0,99	0,97	0,93	0,90	0,99	0,99	0,90	0,99	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99979	23
11	0,99	0,97	0,93	0,90	0,99	0,99	0,90	0,99	0,90	0,99	0,99	0,99	0,99980	22
12	0,99	0,97	0,93	0,90	0,99	0,99	0,90	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99992	28
13	0,99	0,99	0,93	0,90	0,99	0,99	0,90	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99995	30
14	0,99	0,99	0,985	0,90	0,99	0,99	0,90	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99998	32
15	0,99	0,99	0,985	0,99	0,99	0,99	0,90	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99999	38

Результуюча структура резерву задіяних дуг мережі №2 матиме такий вигляд:

$$M = (m_a, m_b, m_d, m_e, m_f, m_h, m_i, m_m, m_l, m_g, m_r, m_p) = (1, 2, 2, 1, 2, 1, 0, 1, 1, 2, 1, 1).$$

При цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 38 одиниць при заданому значенні показника живучості  $P_{мережі} \geq 0,99999$ .

Тепер виконаємо резервування з використанням удосконаленого методу забезпечення структурної живучості, задавши коефіцієнти ваги дуг та пріоритетності потоків.

Для потоків задамо такі значення коефіцієнтів пріоритетності:

$$m_{41}^{d \leq 4} - d_{ij} = 1;$$

$$m_{92}^{d \leq 4} - d_{ij} = 2;$$

$$m_{312}^{d \leq 4} - d_{ij} = 3;$$

$$m_{83}^{d \leq 4} - d_{ij} = 4.$$

Вхідні параметри візьмемо ідентичні попередньому варіанту (таблиця 3.7), як і необхідний рівень структурної живучості  $P_{мережі\ зад} = 0,99999$ .

Вагові коефіцієнти дуг з урахуванням пріоритетності відповідно до формули (2.3) зведені у таблицю 3.9.

Таблиця 3.9

Вагові коефіцієнти дуг

Дуги	$W_a$	$W_b$	$W_d$	$W_e$	$W_f$	$W_h$	$W_i$	$W_m$	$W_l$	$W_g$	$W_r$	$W_p$
$W$	11	17	8	11	5	9	9	15	5	8	15	11
$\gamma \cdot W$	1,10	1,17	0,32	0,11	1,00	0,27	0,90	0,45	0,05	1,60	0,45	0,33

Зважаючи на те, що

$$W_l < W_e < W_h < W_d < W_p < W_r < W_m < W_i < W_f < W_a < W_b < W_g,$$

першою зарезервуємо дугу  $g$ .

Наступні розрахунки відбуваються за розглянутим вище алгоритмом.

Результати розрахунків за цим та усіма наступними етапами зведені в таблицю 3.10.

Таблиця 3.10

Результати розрахунків резервування дуг мережі №2  
удосконаленим методом

№	$P_a$	$P_b$	$P_d$	$P_e$	$P_f$	$P_h$	$P_i$	$P_m$	$P_l$	$P_g$	$P_r$	$P_p$	$P_{мережі}$	$C$
0	0,90	0,85	0,75	0,90	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90	0,97552	0
1	0,90	0,85	0,75	0,90	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,98256	1
2	0,90	0,97	0,75	0,90	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,98410	3
3	0,99	0,97	0,75	0,90	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99568	4
4	0,99	0,97	0,75	0,90	0,96	0,90	0,90	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99676	5
5	0,99	0,97	0,75	0,90	0,96	0,90	0,99	0,90	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99772	6
6	0,99	0,97	0,75	0,90	0,96	0,90	0,99	0,99	0,90	0,96	0,90	0,90	0,99832	9
7	0,99	0,97	0,75	0,90	0,96	0,90	0,99	0,99	0,90	0,96	0,99	0,90	0,99900	12
8	0,99	0,97	0,75	0,90	0,96	0,90	0,99	0,99	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99945	15
9	0,99	0,97	0,93	0,90	0,96	0,90	0,99	0,99	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99970	20
10	0,99	0,97	0,93	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99982	23
11	0,99	0,97	0,93	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99	0,90	0,992	0,99	0,99	0,99985	24
12	0,99	0,99	0,93	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99	0,90	0,992	0,99	0,99	0,99989	26
13	0,99	0,99	0,93	0,99	0,96	0,99	0,99	0,99	0,90	0,992	0,99	0,99	0,99999	32

Структура резерву дуг мережі прийме такий вигляд:

$$M = (m_a, m_b, m_d, m_e, m_f, m_h, m_i, m_m, m_l, m_g, m_r, m_p) =$$

$$= (1, 2, 2, 1, 2, 1, 1, 1, 0, 2, 1, 1).$$

Мінімальна вартість резервного обладнання мережі при цьому складатиме 32 одиниці при забезпеченні необхідного показника живучості мережі  $P_{мережі} \geq 0,99999$ .

Таким чином, можна порахувати, що удосконалений метод підвищення структурної живучості мережі оптимальним структурним резервуванням дуг забезпечує зменшення кількості етапів процесу на 13,4 %, а потрібний обсяг витрат на резервне устаткування – на 15,7 %.

### 3.3 Аналіз ефективності удосконалення методу резервування вузлів з урахуванням посередництва

#### 3.3.1 Аналіз на мережі №1

В цьому підрозділі виконано експериментальне порівняння існуючих методів резервування вузлового устаткування з урахуванням посередництва та удосконаленого в даній роботі методу з урахуванням посередництва вузлів, який було розглянуто в підрозділі 2.2.

З метою забезпечення живучості мережі, здійснимо резервування вузлів мережі спочатку без урахування вагових коефіцієнтів вузлів та коефіцієнтів пріоритетності потоків. Процедуру резервування виконаємо для мережі №1, структура якої була показана на рисунку 2.3 вище.

Вартість резервного обладнання (в умовних одиницях) та імовірності збереження вузлів і дуг наведені у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Задані характеристики мережі

Дуга	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>	<b>h</b>
Імовірність збереження	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Вузол	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
Вартість (одиниць)	2	6	4	1	5	3	
Імовірність збереження	0,80	0,90	0,85	0,90	0,75	0,90	

Потоки, які обслуговує мережа, задані виразами (2.12).

Заданося рівнем структурної живучості вузлів мережі, який треба забезпечити:  $P_{дон} = 0,9880$ .

Значення градієнта для всіх вузлів мережі визначається з урахуванням вартості вузлів, які представлені в таблиці 3.11.

Імовірність  $P_{ij}$  збереження зв'язку  $m_{ij}$  (показник живучості) будемо обчислювати як імовірність збереження хоча б одного маршруту  $\mu_{ij}^k \in m_{ij}$  у відповідності до формули (2.8).

Посередництво вузла визначатимемо як відношення кількості маршрутів, що проходять через вузол  $q$ , до загальної кількості маршрутів з вузла  $i$  у вузол  $j$  відповідно до формули (2.14).

Аналіз списку вузлів, для яких умова (2.20) не виконується, показав, що найбільший показник посередництва серед усіх вузлів мережі – у вузла 1:  $N_{q1} = 0,28$ . Тому першим резервуємо саме вузол 1. Результати першого етапу представлені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Результат першого етапу резервування вузлів мережі № 1  
без урахування пріоритетності потоків

Етап	$N_{q1}$	$a$	$N_{q2}$	$b$	$N_{q3}$	$d$	$N_{q5}$	$e$	$N_{q6}$	$f$	$h$	$P_{мережі}$	$C$
<b>0</b>	0,80	0,90	0,90	0,90	0,85	0,90	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,9407	0
<b>1</b>	0,96	0,90	0,90	0,90	0,85	0,90	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,9611	2

Після резервування вузла 1 треба перерахувати імовірність збереження зв'язку  $P_{ij}$  з включенням резервного елемента для вузла 1, середню імовірність збереження всіх зв'язків та значення градієнта для вузла 1.

На початку другого етапу найбільше значення градієнта – у вузла 5, тому другим резервуємо саме вузол 5. Подальші розрахунки виконуємо за тим самим алгоритмом, а результати заносимо у таблицю 3.13.

Таблиця 3.13

Результат усіх етапів резервування вузлів мережі № 1  
без урахування пріоритетності потоків

	$N_{q1}$	$a$	$N_{q2}$	$b$	$N_{q3}$	$d$	$N_{q5}$	$e$	$N_{q6}$	$f$	$h$	$P_{\text{мережі}}$	$C$
<b>0</b>	0,800	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9407	0
<b>1</b>	0,960	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9611	2
<b>2</b>	0,960	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9653	7
<b>3</b>	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9784	11
<b>4</b>	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9817	14
<b>5</b>	0,960	0,990	0,990	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9837	20
<b>6</b>	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9856	22
<b>7</b>	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9863	27
<b>8</b>	0,990	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9875	31
<b>9</b>	0,990	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,992	0,900	0,900	0,9877	34
<b>10</b>	0,998	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,992	0,900	0,9	0,9879	36
<b>11</b>	0,998	0,900	0,999	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,992	0,900	0,900	0,9880	42

По закінченні розрахунків структура резерву вузлів мережі буде мати такий вигляд:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (3, 2, 2, 0, 2, 2).$$

При цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 42 одиниці при допустимому показнику структурної живучості  $P_{\text{дон}} = 0,9880$ .

Тепер застосуємо удосконалений метод забезпечення структурної живучості мережі з урахуванням посередництва, задавши вагові коефіцієнти та коефіцієнти пріоритету потоків мережі.

Вхідні параметри і потоки, що надходять, приймемо такі самі, як і у попередньому прикладі – вони задані у таблиці 3.1. Також задамося тим самим рівнем живучості вузлів мережі, який треба забезпечити:  $P_{don} = 0,9880$ .

Для кожної заданої вимоги формуємо множину маршрутів – (2.12). Далі розраховуємо вагові коефіцієнти, градієнт для всіх вузлів мережі та перевіряємо умову  $N_q \leq N_{q_{don}}$  для кожного  $q$ -го вузла.

На першому етапі резервуємо вузол з найбільшим рівнем посередництва (таблиця 3.14).

Таблиця 3.14

Результати першого етапу резервування вузлів удосконаленим методом

	$N_{q1}$	$a$	$N_{q2}$	$b$	$N_{q3}$	$d$	$N_{q5}$	$e$	$N_{q6}$	$f$	$h$	$P_{мережі}$	$C$
<b>0</b>	0,80	0,90	0,90	0,90	0,85	0,90	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,9361	0
<b>1</b>	0,96	0,90	0,90	0,90	0,85	0,90	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,9620	2

Далі розрахунки виконуємо за розглянутим алгоритмом, а результати заносимо у таблицю 3.15.

Структура резерву вузлів мережі, яка має забезпечити стійке функціонування мережі відповідно до вимог та забезпечуватиме заданий рівень посередництва, має такий вигляд:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (3, 1, 2, 0, 2, 2).$$

Мінімальна вартість резервного устаткування мережі при цьому складає 36 одиниць при допустимому рівні живучості  $P_{don} = 0,9880$ .

Таким чином, як можна бачити, удосконалений метод зменшує кількість етапів процесу на 9 %, а вартість витрат на резервне устаткування – на 14,2 %.

## Результат резервування вузлів мережі № 1 удосконаленим методом

	$N_{q1}$	$a$	$N_{q2}$	$b$	$N_{q3}$	$d$	$N_{q5}$	$e$	$N_{q6}$	$f$	$h$	$P_{\text{мережі}}$	$C$
<b>0</b>	0,800	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9360	0
<b>1</b>	0,960	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9620	2
<b>2</b>	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9723	6
<b>3</b>	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9785	11
<b>4</b>	0,990	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9812	13
<b>5</b>	0,990	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9836	16
<b>6</b>	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9854	22
<b>7</b>	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9865	27
<b>8</b>	0,998	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,980	0,900	0,990	0,90	0,900	0,9869	29
<b>9</b>	0,998	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9878	33
<b>10</b>	0,998	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,999	0,900	0,900	0,9880	36

**3.3.1 Аналіз на мережі № 2**

Проаналізуємо ефективність удосконаленого методу забезпечення живучості для мережі більшого розміру, структура якої наведена на рисунку 3.2.

Задамося вхідними параметрами. Потіки, яка обслуговує мережа, представлені у (3.5). Заданий рівень живучості мережі, який треба забезпечити, –  $P_{\text{дон}} = 0,9880$ .

У таблиці 3.16 наведені задані імовірності збереження дуг і вузлів мережі, а також вартість вузлів.

Спочатку виконаємо процедуру резервування вузлів мережі без впливу вагових характеристик вузлів на визначення рівня посередництва вузла. Результати резервування зведені у таблицю 3.17.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Задані характеристики мережі №2

Дуги	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>	<b>h</b>	<b>i</b>	<b>k</b>	<b>m</b>	<b>n</b>	<b>l</b>	<b>g</b>	<b>r</b>	<b>p</b>	<b>s</b>
Імовірність збереження	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Вузли	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>				
Імовірність збереження	0,8	0,9	0,85	0,9	0,75	0,9	0,85	0,75	0,8	0,9	0,9	0,8				
Вартість	2	6	4	1	5	3	5	3	4	2	4	5				

Таблиця 3.17

Результат розрахунку резервування вузлів мережі №2  
без урахування пріоритетності потоків

	$N_{q1}$	$N_{q2}$	$N_{q3}$	$N_{q4}$	$N_{q6}$	$N_{q8}$	$N_{q9}$	$N_{q11}$	$N_{q12}$	$P_{мережі}$	$C$
<b>0</b>	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,75	0,80	0,90	0,80	0,9449	0
<b>1</b>	0,96	0,90	0,85	0,90	0,90	0,75	0,80	0,90	0,80	0,9484	2
<b>2</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,90	0,75	0,80	0,90	0,80	0,9521	3
<b>3</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,90	0,93	0,80	0,90	0,80	0,9581	6
<b>4</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,90	0,93	0,96	0,90	0,80	0,9687	10
<b>5</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,90	0,93	0,96	0,90	0,96	0,9696	15
<b>6</b>	0,96	0,90	0,97	0,99	0,90	0,93	0,96	0,90	0,96	0,9736	19
<b>7</b>	0,96	0,90	0,97	0,99	0,99	0,93	0,96	0,90	0,96	0,9812	22
<b>8</b>	0,96	0,90	0,97	0,99	0,99	0,93	0,96	0,99	0,96	0,9831	26
<b>9</b>	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99	0,93	0,96	0,99	0,96	0,9867	32
<b>10</b>	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99	0,98	0,96	0,99	0,96	0,9878	35
<b>11</b>	0,99	0,99	0,97	0,99	0,99	0,98	0,96	0,99	0,96	0,9880	37

Структура резерву має такий вигляд:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}) =$$

$$= (2, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 2, 1, 0, 1, 1).$$

Мінімальна вартість резервного устаткування мережі складає 37 одиниць при заданому показнику живучості мережі  $P_{дон} = 0,9880$ .

Тепер вирішимо аналогічну задачу удосконаленим методом забезпечення живучості мережі.

Вхідними параметрами задамося такими ж, як і у попередньому випадку: мережа обслуговує ті ж самі потоки (3.5), вимога до рівня структурної живучості  $P_{дон} = 0,9880$ .

Першим виконуємо резервування вузла 4, вносячи результати розрахунків у таблицю 2.18.

Структура резерву використовуваних вузлів мережі:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}) = (1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 2, 1, 0, 1, 1).$$

При заданому показнику живучості мережі  $P_{дон} = 0,9880$  мінімальна вартість резервного устаткування мережі складатиме 35 одиниць.

Таблиця 3.18

Результати розрахунків резервування вузлів удосконаленим методом

	$N_{q1}$	$N_{q2}$	$N_{q3}$	$N_{q4}$	$N_{q6}$	$N_{q8}$	$N_{q9}$	$N_{q11}$	$N_{q12}$	$P_{мережі}$	$C$
<b>0</b>	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,75	0,80	0,90	0,80	0,9433	0
<b>1</b>	0,80	0,90	0,85	0,99	0,90	0,75	0,80	0,90	0,80	0,9493	1
<b>2</b>	0,80	0,90	0,85	0,99	0,99	0,75	0,80	0,90	0,80	0,9625	4
<b>3</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,99	0,75	0,80	0,90	0,80	0,9650	6
<b>4</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,99	0,93	0,80	0,90	0,80	0,9702	9
<b>5</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,99	0,93	0,96	0,90	0,80	0,9763	13
<b>6</b>	0,96	0,90	0,85	0,99	0,99	0,93	0,96	0,90	0,96	0,9770	18
<b>7</b>	0,96	0,99	0,85	0,99	0,99	0,93	0,96	0,90	0,96	0,9806	24
<b>8</b>	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99	0,93	0,96	0,90	0,96	0,9828	28
<b>9</b>	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99	0,93	0,96	0,99	0,96	0,9852	32
<b>10</b>	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99	0,98	0,96	0,99	0,96	0,9897	35

Як показує розрахунок ефективності, удосконалений метод зменшує кількість етапів процесу на 9 %, а вартість витрат на резервне устаткування – на 5,4 %.

### **Висновки до третього розділу**

Ефективність удосконалених методів, представлений у другому розділі роботи, вимагала перевірки і кількісної оцінки. В результаті проведених експериментальних досліджень було отримано такі результати:

1. Показано, що використання методу структурного резервування дуг мережі, удосконаленого врахуванням вагових коефіцієнтів дуг та пріоритетності потоків, призводить до зменшення трудомісткості процесу на 10-12% і підвищення ефективності орієнтовно на 13-15% у порівнянні з базовим методом.

2. Показано, що використання методу підвищення структурної живучості елементів мережі, удосконаленого врахуванням характеристики посередництва вузлів, призводить до зменшення трудомісткості процесу приблизно на 8-10% і до підвищення його ефективності приблизно на 5% у порівнянні з базовим методом.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

#### 4.1 Організаційно-економічна характеристика роботи

У даній кваліфікаційній роботі розроблено систему дослідження живучості мереж довільної структури, включаючи методичну і програмну складові. Для розробки методів і програмних алгоритмів було проаналізовано математичні моделі дослідження живучості мереж і відповідні показники.

Мета проекту: запропонувати методику розрахунку показників живучості мереж різної конфігурації з урахуванням особливостей їх побудови декількома різними методами.

Класифікаційна оцінка різновиду проекту наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Класифікаційна оцінка проекту

Клас	Монопроект
Тип	Технічний
Вид	Дослідницький
Тривалість	Короткостроковий
Ступінь складності	Проект середньої складності
Рівень	Корпоративний

Етапи виконання проекту:

- підготовчий етап (вересень) – аналіз предметної галузі, аналіз аналогічних досліджень і систем, вибір засобів реалізації, збір технічних і економічних даних необхідних для проекту;
- основний (вересень-листопад) – проведення експерименту, опис

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

методики дослідження, розробка структурних схем, створення концепту потрібної системи;

- заключний (листопад-грудень) – техніко-економічне обґрунтування проекту, аналіз отриманих результатів, тестування, виявлення та виправлення недоліків.

У даній кваліфікаційній роботі магістра представлений наступний склад робіт:

1. Технічне завдання. Термін виконання – від 10 до 14 днів.
2. Розробка алгоритму програмного продукту. Термін виконання – від 20 до 30 днів.
3. Розробка робочого проекту. Термін виконання – від 1 місяця до 45 днів.
4. Впровадження проекту. Термін виконання – за 1 тиждень.

Розрахунок живучості мереж полягає у знанні структурних характеристик мережі на момент розрахунку. Для кожної з оцінок створюється таблиця перекладу діапазону можливих значень у шкалу балів в 1 до 5.

Для реалізації програмної підтримки дослідження був виконаний аналіз існуючих методів збору та аналізу даних про структурні характеристики мережі, включаючи важливість окремих ділянок і напрямків зв'язку.

До очікуваних конкурентних переваг розробленої системи можна віднести те, що вона є зрозумілою, пропонує для використання зручні способи розрахунку, просту інтерпретацію результатів і, відповідно, забезпечує ефективний процес управління мережевою живучістю. Все це має забезпечити її затребуваність серед проектувальників і дослідників телекомунікаційних мереж.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.2 Аналіз науково-технічної ефективності проекту

### 4.2.1 Методика розрахунку науково-технічної ефективності проекту

Ефективність це здатність приносити ефект, результативність процесу, проекту, які визначаються як відношення ефекту, результату до витрат, що забезпечили результат.

Основні категорії ефективності науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) є економічний, науково-технічний, соціальний, маркетинговий та екологічний ефект.

Економічний ефект розробки та впровадження проекту оцінюється системою вартісних показників і проявляється у підвищенні економічної ефективності роботи підприємства, раціональному використанні ресурсів, збільшенні прибутку від реалізації продукції, покращенні використання виробничих потужностей, впровадженні корисних винаходів.

Науково-технічний ефект полягає у прирості практично орієнтовних науково-технічних знань і умінь. На етапах практичного використання науково-технічний ефект:

- підвищення науково-технічного рівня виробництва;
- підвищення організаційного рівня виробництва;
- кількість зареєстрованих охоронних документів;
- збільшення частки використання нових інформаційних технологій;
- збільшення частки нових технологічних процесів;
- зростання кількості і статусу науково-технічних публікацій;
- підвищення конкурентоспроможності підприємства та його продукції.

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Соціальний ефект сприяє розвитку суспільства та задовольняє його потреби, проявляється у досягненні якісно нового рівня життя населення, підвищенні рівня освіти та створенні нових нематеріальних цінностей й оцінюється в основному якісними показниками. Крім позитивних впливів також треба враховувати потенційні негативні впливи тривалого використання техніки під час гри. Щоб їх знизити, треба обмежувати час, який користувач (особливо, якщо він дитина) витрачає на гру.

Екологічний ефект – впливання інновацій на розв’язання проблем охорони довкілля, що особливо важливо у реалізації інноваційних проєктів, які можуть змінювати рівень екологічної безпеки території.

Маркетинговий ефект відображає потреби ринку в наукових дослідженнях, реалізації маркетингової стратегії, сукупності заходів, що проводяться, виражений через збільшення показників задоволеності споживачів, поліпшення бізнес-показників компанії.

«Науково-технічну ефективність (НТЕ) результатів прикладних робіт визначаємо на основі показників науково-технічного рівня. Оцінка науково-технічної ефективності НДДКР відбувається на основі показника ( $O_{НТЕ}$ ), який представляє собою ступінь досягнення максимально можливого рівня, значення якого дорівнює 1 (одиниці)» [1]:

$$O_{НТЕ} = K^{\Phi}_{НТЕ} / K^{\Pi}_{НТЕ}, \quad (4.1)$$

де  $K^{\Phi}_{НТЕ}$  – показник (коефіцієнт) фактичного рівня науково-технічної ефективності;

$K^{\Pi}_{НТЕ}$  – показник (коефіцієнт) потенційно можливого рівня науково-технічної ефективності (дорівнює одиниці).

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Значення показника  $K_{НТЕ}^{\Phi}$  визначаємо на основі шкали експертних оцінок (табл. 4.2) [1].

Таблиця 4.2

Шкала експертних оцінок для виміру рівня науково-технічної ефективності проектів

№	Групи показників	Характеристика показників	Інтервал рейтингового числа	Коефіцієнт значущості показників
1	Науково-технічний рівень	Перевищує кращі світові аналоги	10	0,30
		Відповідає світовому рівню	7 – 9	
		Нижче кращих світових аналогів	5 – 6	
		Перевищує кращі вітчизняні аналоги	3 – 4	
		Відповідає вітчизняному рівню	1 – 2	
		Нижче вітчизняного рівня	0	
2	Перспективність	Першочергова значущість	8 – 10	0,25
		Значущий	5 – 7	
		Корисний	1 – 4	
3	Потенційний масштаб практичного використання	Світовий ринок	10	0,20
		Галузі національної економіки	7 – 9	
		Галузь (регіон)	3 – 6	
		Окремі підприємства (об'єднання)	1 – 2	
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	Великий	10	0,25
		Середній	5 – 9	
		Малий	1 – 4	

(Таблиця узята з [1])

«Об’єкт оцінки і аналоги, які порівнюють за однаковими показниками, наведеними у співставленому вигляді відхилення в значеннях кожного з показників, мають бути однаковими для варіантів, що порівнюються». [1]

#### 4.2.2 Проведення оцінки науково-технічного рівня розробки

Визначаємо  $K^{\Phi}_{НТЕ}$  на основі експертної оцінки науково-технічного рівня розробки.

«З цією метою:

- розробляємо перелік специфічних показників, необхідних для виміру науково-технічного рівня розробки;
- формуємо групу аналогів, які реалізовані на світовому і вітчизняному ринках;
- здійснюємо відповідні розрахунки для співставлення показників і визначення балів по таблиці 4.2.

До числа специфічних показників відносять:

- для нової техніки: продуктивність, споживання інженерних ресурсів на виробітку одиниці продукції, потреба в робочих, які обслуговують обладнання, експлуатаційні витрати на одиницю продукції;
- для нових матеріалів і речовин: вміст корисних речовин для виробітки готової продукції, питома вага відходів у загальному обсязі переробленої сировини, вартість одиниці нового матеріалу, додаткові витрати на екологічну компенсацію;
- для нових технологій: якість виробленої продукції, енергоємність і трудомісткість продукції, собівартість одиниці продукції.» [1]

На основі співставлення даних таблиці 4.3 встановлюємо бали по характеристиках чотирьох груп і на цій основі розраховуємо значення інтегрального показника НТЕ [1]:

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$HTE = \sum B_i \cdot K_i^3, \quad (4.2)$$

де  $i = 1 \div 4$ ,

$B_i$  – бали (рейтингове число),

$K$  – коефіцієнт значущості показників.

Таблиця 4.3

Порівняльні показники для виконання оцінки НТЕ

ПОКАЗНИКИ	Варіанти технології	
	Розробленої	співвідносної (аналога)
Рівень новизни	Високий	Середній
Якість продукції	Висока	Середня
Споживання на 1 версію продукту		
– тепла, Гкал	5	8
– електроенергії, кВт·годину	900	1200
– води, м <sup>3</sup>	3	6
Трудомісткість виробництва, людино-годин	70	60

Рівень науково-технічної ефективності НДДКР розраховано на основі наведених даних прикладу (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4

Експертна оцінка і розрахунок величини інтегрального показника НТЕ

№	Групи показників	Рейтинг експертів			Середня за експертними оцінками	НТЕ
		1	2	3		
1	Науково-технічний рівень	8	7	8	7,7	2,7 (7,7 · 0,35)
2	Перспективність	7	6	8	7	2,45 (7 · 0,35)
3	Потенційний масштаб практичного використання	7	8	7	7,3	1,46 (7,3 x 0,20)
4	Ступінь вирогідності досягнення позитивних	9	8	9	8,66	0,87 (8,66 · 0,1)

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

	результатів					
Всього						7,48

$$HTE = 7,7 \cdot 0,35 + 7 \cdot 0,35 + 7,3 \cdot 0,20 + 8,66 \cdot 0,1 = 2,7 + 2,45 + 1,46 + 0,87 = 7,48.$$

Отриманий результат слід порівняти з максимально можливим значенням, яке дорівнює 10 балам ( $10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,20 + 10 \cdot 0,1$ ).

Отже, оцінка рівня *HTE* може бути зроблена за допомогою інтегрального коефіцієнта оцінки *HTE* ( $K_{HTE}$ ) [1]:

$$K_{HTE} = \frac{HTE}{10} \cdot 100 \% . \quad (4.3)$$

На основі даних таблиці 4.3, можна дійти до висновку, що  $K_{HTE}$  відповідає 74,8 %, тобто:

$$\frac{7,48}{10} \cdot 100 = 74,8 \% .$$

В тому випадку, коли значення  $K_{HTE}$  перевищує середнє значення, яке дорівнює 5,0, має бути зроблено висновок про достатній рівень НТЕ:

- цілком достатній 5,0 – 6,0;
- достатній 6,1 – 8,0;
- достатньо високий 8,1 – 9,0;
- високий 9,1 – 10.

Рівень НТЕ технології визначаємо достатнім. Отже, розроблений ПП пропонується випускати на ринок.

#### 4.2.3 Порівняння методів вирішення задачі

Для вирішення задачі забезпечення і підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж в даному дослідженні використовуються низка методів. Переваги і недоліки цих методів наведені в таблиці 4.5.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

## Методи забезпечення і підвищення структурної живучості мереж зв'язку

Назва методу	Переваги	Недоліки
Структурне резервування	<p>1) спрощене обслуговування (порівняно з ремонтом) без переривання роботи системи;</p> <p>2) легке керування запасними елементами.</p>	<p>1) збільшення вартості на вартість додаткових структурних елементів;</p> <p>2) підвищення вимог до технічного обслуговування;</p> <p>3) зниження ефективності використання ресурсів (надлишкові елементи більшість часу не використовуються).</p>
Функціональне резервування	<p>1) більш ефективне використання ресурсів системи (порівняно зі структурним резервуванням);</p> <p>2) покращена інтеграція компонентів системи, які забезпечують резервування.</p>	<p>1) збільшення складності системи, що тягне за собою складність у використанні і управлінні системою;</p> <p>2) необхідність у синхронізації та узгодженості між функціонально надлишковими компонентами системи.</p>
Розподіл функцій по компонентах системи	<p>1) стійкість до відмов і зміни навантаження;</p> <p>2) легкість масштабування системи;</p> <p>3) висока продуктивність за рахунок розподілу завдань і паралельної обробки;</p> <p>4) гнучкість та мобільність</p> <p>5) легкість оновлень та модернізації.</p>	<p>1) складність управління;</p> <p>2) проблеми узгодження та синхронізації даних та операцій;</p> <p>3) збільшений ризик в галузі безпеки;</p> <p>4) складність налагодження і тестування.</p>

Назва методу	Переваги	Недоліки
Моніторинг і виявлення несправностей	1) своєчасне виявлення проблем та відмов; 2) зібрана в ході моніторингу інформація може допомогти оптимізувати систему (продуктивність, безпеку тощо); 3) зниження часу простою.	1) складність впровадження і налаштування системи моніторингу; 2) додаткова ресурсовитратність на моніторинг; 3) нездатність протидіяти наслідкам відмов; 4) необхідність постійного оновлення і налаштування; 5) складність у обробці великих обсягів даних; 6) залежність від людського фактора (оперативності реакції персоналу на попередження та звіти від системи).
Механізм транзакцій, контроль передачі даних, надмірне кодування даних	1) підвищення стійкості і цілісності даних; 2) стабільність роботи навіть при виникненні локальних збоїв (автоматичне усунення локальних помилок); 3) відсутність необхідності в наявності резервних елементів або ускладненні функціональності системи для користувача.	1) збільшення навантаження на систему (вимагає додаткових ресурсів); 2) певне зниження реакції системи (час на обробку цілісності транзакцій, контроль вірності даних); 4) складність розробки і тестування системи; 5) застосовність лише для систем, що працюють з даними (або на рівні даних); 6) обмежена масштабованість.

#### 4.2.4 Порівняння компаній – розробників мережевого обладнання

Одним з важливих аспектів забезпечення і підвищення живучості телекомунікаційних мереж є використання надійного мережевого обладнання. Запорукою цього є правильний вибір компанії-розробника обладнання. В таблиці 4.6 перераховані відомі компанії – розробники телекомунікаційного обладнання і вказані характерні для них переваги і недоліки.

Таблиця 4.6

Характеристика компаній-виробників телекомунікаційного обладнання

Назва компанії	Переваги використання продукції компанії	Недоліки використання продукції компанії
Cisco Systems (США)	1) широкий асортимент продукції; 2) інноваційні технології; 3) світова підтримка.	1) висока вартість; 2) складність налаштування та управління; 3) залежність від програмного забезпечення Cisco.
Huawei (Китай)	1) конкурентна ціна; 2) висока продуктивність і надійність; 3) наявність комплексних інфраструктурних рішень.	1) міжнародні санкції обмежують доступ до обладнання та послуг компанії; 2) політичні ризики знижують рівень довіри до компанії; 3) обмежена сумісність та стандартизація.
ZTE (Китай)	1) низька ціна; 2) надійність і безпека; 3) інновації.	1) обмежені можливості для апгрейду та розширення; 2) окремі проблеми з якістю; 3) політичні ризики.

Назва компанії	Переваги використання продукції компанії	Недоліки використання продукції компанії
Juniper Networks (США)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) стандартизація, використання відкритих стандартів;</li> <li>2) екосистема обладнання на основі власної операційної системи;</li> <li>3) висока безпека даних.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) залежність від хмарної інфраструктури Juniper Networks;</li> <li>2) обмежена підтримка від сторонніх компаній-розробників програмного забезпечення і обладнання</li> </ul>
Arista Networks (США)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) висока продуктивність;</li> <li>2) простота управління і адміністрування;</li> <li>3) висока якість.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) досить висока ціна;</li> <li>2) нова компанія (репутаційні ризики);</li> <li>3) обмежена підтримка від сторонніх компаній-розробників програмного забезпечення</li> </ul>
Dell (США)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) сертифікація для використання в різних галузях (державні установи, фінансові установи, медичні заклади тощо);</li> <li>2) розвинена підтримка;</li> <li>3) екологічність.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) обмежений спектр продуктів і рішень в секторі телекомунікаційного обладнання;</li> <li>2) залежність від сторонніх рішень.</li> </ul>
HPE (США)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) передові технології;</li> <li>2) широкий спектр функцій;</li> <li>3) масштабованість;</li> <li>4) безпека.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) висока ціна;</li> <li>2) складність налаштування і управління;</li> <li>3) залежність від програмного забезпечення HPE.</li> </ul>
IBM (США)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) інтеграція з хмарною інфраструктурою IBM;</li> <li>2) функції штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML);</li> <li>3) доступні засоби аналізу великих даних.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) дороговизна;</li> <li>2) складність в управлінні і налаштуванні;</li> <li>3) залежність деяких функцій від хмарної інфраструктури IBM.</li> </ul>

## 4.3 Розрахунок економічної ефективності проекту

### 4.3.1 Визначення складності розробки програмного продукту

Тривалість розробки програмного продукту (ПП) залежить від кількості його компонентів, складності його розробки, кваліфікації персоналу, а також від запланованих термінів, продиктованих ринковими умовами. Вихідними даними для визначення складності розробки ПП є кількість програмного забезпечення в тисячах умовних машинних команд аналогової програми. Вибравши аналог програмного продукту, що містить  $V_0$  умовних машинних команд. У даному проекті розробляється новий програмний продукт, який відповідає аналогу ПП оптимізаційних розрахунків с  $V_0 = 5500$  умовних машинних команд із трудомісткістю  $T_p = 312$  чол/год.

Трудомісткість розробки ПП повинна включати розробку наступних етапів:

- технічного завдання – ТЗ;
- технічного проекту – ТП;
- робочого проекту – РП;
- впровадження – ВП.

Трудомісткість розроблювального ПП визначається на кожному етапу окремо на підставі трудомісткості аналога, з урахуванням складності розробки, ступеня новизни та ступеня використання в розробці стандартних модулів на підставі формул 4.4 – 4.7:

$$T_{\text{ТЗ}} = T_p \cdot L_1 \cdot K_H \quad (4.4)$$

$$T_{\text{ТП}} = T_p \cdot L_2 \cdot K_H \quad (4.5)$$

$$T_{\text{РП}} = T_p \cdot L_3 \cdot K_H \cdot K_T \quad (4.6)$$

$$T_{\text{ВП}} = T_p \cdot L_4 \cdot K_H \quad (4.7)$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $T_p$  – укрупнена норма часу на розробку аналога ПП, чол/год, що коректується поправочним коефіцієнтом, що враховує умови розробки ПП, тобто в умовах комп'ютера,  $K_n = 0,8$ . У даному проекті  $T_p = 312 \cdot 0,8 = 250$  чол/год;

$L_j$  – питома вага  $i$ -го етапу розробки. У даному проекті залежно від ступеня новизни проекту ( $B$ ):  $L_1 = 0,12$ ;  $L_2 = 0,15$ ;  $L_3 = 0,5$ ;  $L_4 = 0,12$ ;

$K_n$  – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь новизни, у даній роботі  $K_n = 1,2$ ;

$K_T$  – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь використання в розробці типових програм,  $K_T = 0,6$ .

При розрахунках прийняті наступні об'єми розробленої документації по етапах проекту:

- $N_{ТЗ} = 6$  – кількість сторінок технічного завдання;
- $N_{ТП} = 9$  – кількість сторінок технічного проекту;
- $N_{рп} = 27$  – кількість сторінок робочого проекту;
- $N_{інстр} = 5$  – кількість сторінок інструкції по налагодженню та впровадженню;
- $N_{пр} = 62$  – кількість сторінок пояснювальної записки.

### 4.3.2 Розрахунок трудомісткості розробки програмного продукту

Технічне завдання:

$$T_{ТЗ} = T_p \cdot L_1 \cdot K_n = 250 \cdot 0,12 \cdot 1,2 = 36;$$

$$\underline{T}_{кк} = 0,7 \cdot N_{ТЗ} = 0,7 \cdot 6 = 4,2;$$

$$T_{нк} = 0,15 \cdot N_{ТЗ} = 0,15 \cdot 6 = 0,9.$$

Розробка технічного проекту (алгоритму й блок-схеми).

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{ТЗ} = T_p \cdot L_2 \cdot K_H = 250 \cdot 0,15 \cdot 1,2 = 45;$$

$$T_{КК} = 0,7 \cdot N_{ТП} = 0,7 \cdot 9 = 6,3;$$

$$T_{НК} = 0,15 \cdot N_{ТП} = 0,15 \cdot 9 = 1,35.$$

Розробка робочого процесу:

$$T_{ТЗ} = T_p \cdot L_3 \cdot K_H \cdot K_T = 250 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 90;$$

$$T_{КК} = 0,7 \cdot N_{ТП} = 0,7 \cdot 9 = 6,3;$$

$$T_{НК} = 0,15 \cdot N_{ТП} = 0,15 \cdot 9 = 1,35.$$

Налагодження і впровадження:

$$T_{ТЗ} = T_p \cdot L_4 \cdot K_H = 250 \cdot 0,12 \cdot 1,2 = 36;$$

$$T_{КК} = 0,7 \cdot N_{інст} = 0,7 \cdot 5 = 3,5;$$

$$T_{НК} = 0,15 \cdot N_{інст} = 0,15 \cdot 5 = 1,5.$$

Пояснювальна записка:

$$T_{ТЗ} = 1,5 \cdot N_{ПЗ} = 1,5 \cdot 62 = 93;$$

$$T_{КК} = 0,7 \cdot N_{ПЗ} = 0,7 \cdot 62 = 43,4;$$

$$T_{НК} = 0,15 \cdot N_{ПЗ} = 0,15 \cdot 62 = 9,3.$$

Всього:

$$T_p = 36 + 45 + 90 + 36 + 93 = 300;$$

$$T_{КК} = 4,2 + 6,3 + 6,3 + 3,5 + 43,4 = 63,7;$$

$$T_{НК} = 0,9 + 1,35 + 1,35 + 0,75 + 9,3 = 13,65;$$

$$T_{общ} = 300 + 63,7 + 13,65 = 377,35.$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Тривалість розробки ПП у днях визначається за формулою 4.8:

$$T_{\text{пп}} = \sum T_{ij} / (8,0 \cdot 0,73) \text{ (днів)}, \quad (4.8)$$

де  $\sum T_{ij}$  – сумарна тривалість розробки, год;

8 – тривалість робочого дня (коефіцієнт переведення в робочі дні), год;

0,73 – коефіцієнт переведення в календарні дні;

$T_{ij}$  – трудомісткість  $j$ -го виду робіт по  $i$ -му етапу.

$$T_{\text{пп}} = 377,35 / (8 \cdot 0,73) = 64,61 \text{ днів.}$$

Порівнюючи отримані результати з розрахунками тривалості розробки ПП за допомогою мережевої моделі, вибираємо для подальших розрахунків останнє значення, так як воно, на наш погляд, ближче до фактичної тривалості розробки ПП.

### 4.3.3 Визначення вартості програмного продукту

Ціна визначається за формулою:

$$Ц = K \cdot B_{\text{ндр}} + P_{\text{р}}, \quad (4.9)$$

де  $B_{\text{ндр}}$  – витрати на розробку програмної продукції (кошторисна собівартість);

$K = 1,1$ ;

$P_{\text{р}}$  – нормативний прибуток, розраховується за формулою:

$$P_{\text{р}} = C_{\text{м}} \cdot P_{\text{н}} / 100, \quad (4.10)$$

де  $P_{\text{н}}$  – норматив рентабельності, %;  $P_{\text{н}} = 25$  %;

$C_{\text{м}}$  – матеріальні витрати.

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$V_{\text{ндр}}$  визначаються на підставі складання кошторису витрат на проведення НДР у таблиці 4.9.

При визначенні витрат на матеріали враховують: вартість сировини та матеріалів для проведення досліджень з урахуванням додаткових накладних витрат (витрат на транспорт, комісійних зборів тощо), вартість канцелярських матеріалів (паперів тощо), вартість ліцензій інтернет-сервісів (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Витрати на матеріали

Найменування матеріалів	Ціна, грн/од	Кількість	Сума, грн.
Папір	330	2	660
Ручки	22,4	2	44,8
Інформаційні носії	550	1	550
Чемодан фасилітатора	14495	1	14495
Разом			15749,8

Витрати по заробітній платі визначаються як сума заробітної плати усіх учасників НДР. Орієнтовний склад учасників, ступінь їх участі у НДР та заробітна плата наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Орієнтовний склад учасників НДР, їх заробітна плата та ступінь участі

Учасник НДР	Місячна заробітна плата, грн	Тривалість роботи, днів	Ступінь участі, %
Студент – дослідник	7000	150	100
Науковий керівник роботи	12000	44	25

Основна заробітна плата виконавця з урахуванням окладу і часу.

$$B_{зп} = \frac{\sum z_i \cdot K_0 \cdot \tau_i}{D_p} = \frac{(7000 \cdot 150) + (1200 \cdot 0,25 \cdot 44)}{22} = 52344,64 \text{ грн,}$$

де  $z_i$  – середньомісячний оклад;

$D_p$  – середня кількість робочих днів ( $D_p = 22$ );

$\tau_i$  – трудомісткість робіт ( $\tau_i = 150$ );

$K_0$  – коефіцієнт обліку окладу керівників і консультантів проекту ( $K_0 = 0,1$ ).

$$B_{зд} = 52344,64 \cdot 0,1 = 5234,5 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок беруть у розмірі 22 % від величини заробітної плати  $C_{сс} = 0,22 \cdot C_{зд}$ .

Додаткова заробітна плата  $C_{зд} = C_{зо} \cdot K_d$ ,

де  $K_d$  – коефіцієнт відрахувань на заробітну плату,  $K_d = 0,1$ .

$$C_{сс} = 0,22 \cdot (52344,64 + 5234,5) = 12667,4 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування  $C_a$  беруть від вартості основних виробничих фондів за встановленими нормативами до кожної групи фондів, які використовують при проведенні НДР (основного та додаткового обладнання, комп'ютерної техніки, інших фондів, крім приміщення). Амортизаційні відрахування необхідно розраховувати, виходячи з терміну їх використання.

Таблиця 4.7

Розрахунок сум амортизаційних відрахувань за відповідний рік

Група	Елементи основних засобів	Первісна вартість, грн	На, %	Вартість, грн.
1	Комп'ютерна техніка	20000	25	5000
Всього				5000

Річна вартість споживаної електроенергії  $C_{ел}$  визначається по формулі:

$$C_{ел} = M_y \cdot T_{ко} \cdot C_e \cdot K_i,$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

де  $M_y$  – установлена сумарна потужність комп'ютерного устаткування, кВт;

$T_{ко}$  – річний фонд роботи ЕОМ з урахуванням часу на профілактичні огляди;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електричної енергії;

$K_i$  – коефіцієнт інтенсивного використання потужності (рекомендоване значення  $K_i = 0,9$ ).

$$C_{ел} = 0,6 \cdot 1224 \cdot 3,45 \cdot 0,9 = 2280,31 \text{ грн.}$$

Отже, витрати на електроенергію складуть 2280,31 грн.

Таблиця 4.8

Кошторис витрат на проведення прикладних НДР

Найменування статей витрат	Сума витрат, грн
1. Матеріали	15749,8
2. Заробітна плата (основна і додаткова)	52344,64
3. Єдиний соціальний внесок	12667,4
4. Амортизаційні відрахування	5000
5. Витрати на електроенергію	2280,31
6. Виробнича собівартість	88042,15
7. Адміністративні витрати 3,5% від виробничої собівартості	3081,5
8. Витрати на збут – 1% від виробничої собівартості	880,4
Всього повна собівартість	92004,05

Нормативний прибуток:

$$П_p = (92004,05 - 15749,8) \cdot 0,25 = 19063,5 \text{ грн.}$$

Ціна програмного продукту складе:

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Pi = 1,1 \cdot 92004,05 + 19063,5 = 120267,95 \text{ грн.}$$

#### 4.3.4 Визначення капітальних витрат

Розрахунок капітальних витрат, пов'язаних з впровадженням (вдосконаленням) ПП здійснюється за формулою:

$$K = K_{\Pi} + K_{\text{ко}} + K_{\text{во}} + K_{\text{с}}, \quad (4.11)$$

- де  $K_{\Pi}$  – довиробничі витрати;  $K_{\Pi} = \Pi = 120267,95$  грн;  
 $K_{\text{ко}}$  – вартість комп'ютерного устаткування:  $K_{\text{ко}} = 5000$  грн;  
 $K_{\text{во}}$  – вартість допоміжного устаткування:  $K_{\text{во}} = 250$  грн;  
 $K_{\text{с}}$  – вартість будівництва у зв'язку з впровадженням:  $K_{\text{с}} = 0$ .

$$K = 120267,95 + 5000 + 250 + 0 = 125517,95 \text{ грн.}$$

Розрахунок поточних (експлуатаційних) витрат:

$$C = C_{\text{опл}} + C_{\text{а}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{п}} + C_{\text{р}} + C_{\text{всп}}, \quad (4.12)$$

- де  $C_{\text{опл}}$  – річний фонд основної і додаткової оплати праці персоналу;  
 $C_{\text{а}}$  – сума річних амортизаційних відрахувань від вартості основного і допоміжного устаткування;  
 $C_{\text{ел}}$  – вартість витрат на енергію за рік;  
 $C_{\text{р}}$  – вартість річного ремонту:  $6\% K_{\text{ко}} = 300$  грн;  
 $C_{\text{всп}}$  – річна вартість допоміжних матеріалів, пов'язаних з експлуатацією ПП:  $2\% K_{\text{ко}} = 100$  грн;  
 $C_{\text{п}}$  – вартість утримання приміщень;  $C_{\text{п}} = 2500$  грн.

Програмне забезпечення буде корисне для компаній та звичайних користувачів, що шукають інструмент оцінювання живучості мереж довільної структури і управління нею.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Річний фонд заробітної плати. До впровадження програмного продукту дана задача вирішувалася двома співробітниками з окладом по 12000 грн/міс:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{доп}} = (12000 \cdot 2) \cdot 12 = 288000 \text{ грн.}$$

Після впровадження програмного продукту чисельність фахівців скоротилася до одного фахівця – оператора комп'ютерного набору із зарплатою у 8000 грн.:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{доп}} = 8000 \cdot 12 = 96\ 000 \text{ грн.}$$

Фонд додаткової заробітної плати:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}},$$

де  $K_{\text{доп}}$  – коефіцієнт додаткової заробітної плати: визначається в розмірі  $K_{\text{доп}} = 0,1$ .

$$Z_{\text{осн}}^{\text{до}} = 288\ 000 \cdot 0,1 = 28800 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{після}} = 96\ 000 \cdot 0,1 = 9600 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок 22 %:

$$Z_{\text{есв}}^{\text{до}} = (288\ 000 + 28800) \cdot 0,22 = 69696 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{есв}}^{\text{після}} = (96\ 000 + 9600) \cdot 0,22 = 23232 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на оплату праці:

$$C_{\text{опл}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{есв}}, \quad (4.13)$$

Разом:

$$C_{\text{опл}}^{\text{до}} = 288000 + 28800 + 69696 = 386496 \text{ грн.}$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{опл}}^{\text{після}} = 96000 + 9600 + 23232 = 128832 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань визначається за формулою:

$$C_a = K_{\text{кко}} \cdot H_a / 100$$

де  $H_a$  – норма амортизаційних відрахувань ( $H_a = 60 \%$ ).

$$C_a = 5000 \cdot 0,6 = 3000 \text{ грн.}$$

Річна вартість споживаної електроенергії, визначається за формулою:

$$C_{\text{ел}} = M_y \cdot T_{\text{ко}} \cdot Ц_э \cdot K_{\text{и}} \quad (4.14)$$

де  $M_y$  – установлена сумарна потужність комп'ютерного устаткування:

$$M_y = 0,6 \text{ кВт};$$

$T_{\text{ко}}$  – річний фонд роботи комп'ютера з урахуванням часу на профілактичні огляди:  $T_{\text{ко}} = 5500 \text{ год};$

$Ц_э$  – вартість 1 кВт – години ел. енергії 3,45 грн;

$K_{\text{и}}$  – коефіцієнт інтенсивного використання потужності,  $K_{\text{и}} = 0,9.$

$$C_{\text{ел}} = 0,6 \cdot 5500 \cdot 3,45 \cdot 0,9 = 10246,5 \text{ грн.}$$

Разом:

$$C = C_{\text{опл}} + C_a + C_{\text{ел}} + C_p + C_{\text{п}}:$$

$$C^{\text{до}} = 386496 \text{ грн (тільки вартість труда).}$$

$$C^{\text{після}} = 128832 + 3000 + 10246,5 + 300 + 100 + 2500 = 144950,5 \text{ грн.}$$

Річна економія на поточних витратах:  $\mathcal{E}_r = (C^{\text{до}} - C^{\text{після}}) + \Delta\Pi,$

де  $\Delta\Pi$  – приріст прибутку господарчого суб'єкта та його структурного розподілу  $\Delta\Pi = 0.$

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Xi_r = 386496 - 144950,5 + 0 = 241545 \text{ грн.}$$

$$\Xi_o = 241545,2 - 0,25 \cdot 125517,95 = 210165,7 \text{ грн.}$$

Рентабельність інвестицій:

$$E = \frac{\Xi_r}{K_n} \cdot 100\% = \frac{241545,2}{K_n} \cdot 100\% = 199\% \quad (4.15)$$

199 % > 25 % – відповідно, проект ефективний.

Строк окупності витрат проекту складає до одного року.

Таблиця 4.9

Техніко-економічні показники програмного продукту

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення показника	
		до впровадження проекту	після впровадження проекту
Трудомісткість розробки проекту	дні		151
Ціна ПП	грн		115 339,45
Капітальні витрати	грн	–	125517,95
Поточні витрати	грн/рік	386494	144950
Економічний ефект від реалізації проекту	грн/рік		241545,2
Строк окупності	роки		0,5
Рентабельність	%		199

## **4.4 Орієнтовний бізнес-план стартап-проекту на тему дослідження структурної живучості мереж довільної структури**

### **4.4.1 Загальна інформація**

Назва проекту: «Дослідження структурної живучості мереж довільної структури»

Тип проекту: стартап.

Сфера діяльності: комп'ютерна інженерія, комп'ютерні науки, телекомунікації.

Проблемна ситуація.

Сучасні мережі все частіше використовуються для критичних застосувань, таких як управління виробничими процесами, енергетика, транспорт, фінансові послуги. У цих випадках мережі повинні бути стійкими до відмов, тобто продовжувати функціонувати навіть у разі пошкодження або втрати частини обладнання.

Однак, оцінка структурної живучості мереж довільної структури є складною задачею. На відміну від мереж регулярних структур, таких як сітки або дерева, мережі довільної структури можуть мати будь-яку форму, що ускладнює їх аналіз.

### **4.4.2 Ідея, мета і ключові результати проекту**

Ідея проекту. Пропонується розробити новий метод оцінки структурної живучості мереж довільної структури. Метод буде заснований на використанні штучного інтелекту, зокрема, машинного навчання.

Мета проекту – розробити новий метод оцінки структурної живучості мереж довільної структури, який буде більш точним і ефективним, ніж існуючі методи.

Ключовими результатами проекту будуть:

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

- розроблений метод оцінки структурної живучості мереж довільної структури;
- розроблена методика використання і пояснення принципу роботи методу;
- показники ефективності методу.

#### **4.4.3 Ключові етапи**

Проект буде реалізовано в три етапи:

Етап 1 (3 місяці).

1. Дослідження існуючих методів оцінки структурної живучості мереж.
2. Розробка концепції нового методу.

Етап 2 (6 місяців).

1. Розробка прототипу методу.
2. Тестування прототипу на тестових мережах.

Етап 3 (9 місяців).

1. Покращення методу на основі результатів тестування.
2. Опублікування результатів проекту.

#### **4.4.4 Маркетинг і фінансовий план**

Очікується, що основними споживачами методу будуть:

- постачальники телекомунікаційного обладнання;
- організації, які керують критичними мережами.

Для просування методу будуть використовуватися такі канали:

- участь у спеціалізованих конференціях і виставках;
- публічні виступи та інтерв'ю;

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- створення веб-сайту та маркетингових матеріалів.

Загальний бюджет проекту становить 150 000 грн. Фінансування буде здійснюватися за рахунок власних коштів засновників проекту.

#### **4.4.5 Команда проекту**

Команда проекту складається з двох засновників, які мають досвід роботи в галузі комп'ютерних наук і телекомунікацій.

#### **4.4.6 Висновок**

Проект має високий потенціал для успіху. Розроблений метод оцінки структурної живучості мереж довільної структури може задовольнити потребу ринку в більш точних і ефективних методах оцінки живучості мереж.

#### **Висновки до четвертого розділу**

Техніко-економічні показники проекту показують, що:

- трудомісткість розробки не перевищують запланований термін;
- ціна ПП, капітальні та поточні витрати дозволяють окупити проект в термін до одного року;
- рентабельність проекту показує високу якість цінової та комерційної стійкості проекту;

Економічна ефективність цього проекту є перевагою порівняно зі замовленням аналізу живучості заданої мережі у сторонньої організації.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

Дана дипломна робота присвячена створенню комп'ютерної гри. Оскільки об'єкт розробки є типовим представником програмного забезпечення, а розробники ігор працюють за персональним комп'ютером (ПК) багато годин, вони мають слідувати правилам і рекомендаціям, що стосуються охорони праці з комп'ютером.

#### 5.1 Загальні положення

Продуктивність та характер діяльності людини прямо пов'язані з виконанням конкретних робіт та ефективністю праці. Остання визначається як впливом людського фактору, так і використанням засобів виробництва, а також умовами, пов'язаними з технологією та організацією праці. В сучасній промисловій сфері більшість працівників займається роботою, пов'язаною з використанням комп'ютерної техніки. Працюючи за комп'ютером, людина стикається з різноманітними факторами, такими як електромагнітні поля, інфрачервоне та іонізуюче випромінювання, шум, вібрації та статична електрика.

Робота за комп'ютером супроводжується нервовим навантаженням та потребує значної ментальної напруги для операторів. Вона також вимагає високого рівня зорової активності та значного фізичного навантаження на руки під час взаємодії з клавіатурою. Рациональна конструкція та розташування елементів робочого місця мають велике значення для забезпечення оптимальної робочої позиції під час праці за комп'ютером.

Під час роботи з комп'ютером важливо дотримуватись належного режиму праці та відпочинку. В іншому випадку працівники можуть

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

відчувати незадоволення роботою, головний біль, роздратування, порушення сну, втому та відчувати біль в очах, спині, шиї та руках.

Обчислювальна техніка виділяє тепло, що може призвести до підвищення температури та зниження вологості у приміщенні.

Рівень шуму на робочому місці оператора не повинен перевищувати встановлені норми. Для зниження рівня шуму стіни та стеля в приміщенні, де знаходяться комп'ютери, повинні бути облицьовані матеріалами, що поглинають звук.

Оптичне випромінювання включає ультрафіолетове, видиме світло та інфрачервоне випромінювання.

В першу чергу, ультрафіолетове випромінювання впливає на шкіру та очі людини. Проте, аналіз досліджень робочих місць користувачів комп'ютерів показує, що у 86 % випадків ультрафіолетове випромінювання не було виявлено.

Світлове випромінювання, переважно, впливає на очі і може викликати втому та запалення райдужної оболонки. Однак ці симптоми швидко зникають і не спричиняють патологічних змін.

Електромагнітне випромінювання (ЕМВ) у радіочастотному діапазоні є основним джерелом ЕМВ в робочому середовищі, зокрема від монітора. Тому при обиранні місця для комп'ютера необхідно враховувати, що задня і бокові стінки можуть бути джерелом значно більшого ЕМВ, ніж сам екран.

Наукові дослідження свідчать про те, що радіочастотне випромінювання впливає на центральну нервову систему і є значним стрес-фактором.

Щоб зменшити вплив згаданих видів випромінювання, рекомендується використовувати монітори з низьким рівнем випромінювання, а також дотримуватись регламентованого режиму праці та відпочинку.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.2 Способи зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів при роботі з комп'ютером

Щодо зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів під час роботи з комп'ютером, необхідно, зокрема, правильно розташовувати обладнання та електричні кабелі, щоб уникнути ризику ураження електричним струмом. Інші заходи, пов'язані з електробезпекою, відповідають загальним вимогам щодо пожежної та електробезпеки.

Екран монітора повинен бути розташованим перпендикулярно до напрямку погляду. Якщо він нахилений, це може спричинити погіршення постави. Відстань між очима та екраном повинна трохи перевищувати звичайну відстань між очима та книгою. Якщо на моніторі, особливо на старих моделях, відсутній захисний екран, необхідно сидіти на відстані витягнутої руки від нього. Ще одним аспектом, що стосується зору, є створення неоднорідного поля зору. Це можна досягти, розмістивши на стінах плакати або картини з спокійними кольорами, наприклад, пейзажі або натюрморти.

Форма спинки крісла має відповідати формі спини. Висота крісла має бути така, щоб користувач не відчував тиску на стегна або куприк. Крісло бажано обладнати підлокітниками, а його розташування має бути зручним, щоб не доводилося напружуватись, щоб дістатися до клавіатури. Дуже важливими є регулярні переміщення та зміна положення тіла, а також перерви у роботі.

Під час напруженої роботи за комп'ютером рекомендується робити перерви тривалістю 15 хвилин кожну годину і займатися іншими справами. Кілька разів на годину корисно виконати серію легких вправ для розслаблення.

Якщо не дотримуватись заходів безпеки під час роботи за комп'ютером, можуть виникнути такі наслідки, як:

- проблеми з органами зору (спостерігаються у 60 % користувачів);

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

- захворювання серцево-судинної системи (20 % користувачів);
- захворювання шлунково-кишкового тракту (10 % користувачів);
- шкіряні проблеми (5 % користувачів);
- ризик виникнення різноманітних пухлин.

Якщо у приміщенні використовується більше одного комп'ютера, важливо враховувати, що на користувача може впливати випромінювання від інших комп'ютерів, зокрема з бокових, та задньої стінки сусідніх дисплеїв. Тому необхідно встановити спеціальні фільтри та забезпечити, щоб користувач розміщувався на відстані не менше одного метра від бічних і задніх стінок інших дисплеїв.

Отже, для запобігання негативним впливам важливо бути ознайомленим з небезпечними аспектами самого комп'ютера, правилами безпечної роботи з ним, засобами запобігання ризикам, особливо пов'язаним з відомими загрозами, такими як електричні ураження та пожежна небезпека.

### **5.3 Правила безпеки при роботі з комп'ютером**

Перед початком роботи на комп'ютері користувач повинен переконатися у цілісності корпусу та компонентів комп'ютера, а також перевірити наявність заземлення, стан та цілісність живильних кабелів та їх правильне підключення. У разі виявлення несправностей вмикати комп'ютер та розпочинати роботу заборонено.

Під час роботи, після переконання у справності обладнання, можна увімкнути живлення комп'ютера і почати роботу, дотримуючись умов, зазначених у відповідному посібнику з експлуатації.

Заборонено:

- замінювати різні деталі або компоненти під час роботи комп'ютера;
- з'єднувати або від'єднувати вилки та розетки живильної мережі, які знаходяться під напругою;

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відкривати кришки, що закривають доступ до струмопровідних частин живильної мережі під час роботи обладнання;
- використовувати паяльник з не заземленим корпусом;
- замінювати запобіжники під напругою;
- залишати комп'ютер увімкненим без нагляду.

Після закінчення робочого дня необхідно:

- вимкнути живлення комп'ютера, натиснувши відповідну кнопку та вийнявши вилку живильного кабелю з розетки, дотримуючись інструкцій з експлуатації;
- прибрати робоче місце користувача комп'ютера, відклавши використане обладнання та матеріали на призначені для них місця;
- у разі виявлення дефектів під час роботи комп'ютера – повідомити відповідним посадовим особам та спеціалістам.

#### 5.4 Пожежна профілактика

Для забезпечення пожежної безпеки потрібно, в першу чергу, визначити типи та кількість первинних засобів пожежогасіння. При цьому необхідно враховувати фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості горючих речовин, їх взаємодію з вогнегасниками, а також площу виробничих приміщень, установок та відкритих майданчиків.

Для загасання невеликих вогнищ пожеж, де горіння не може відбуватися без доступу повітря призначені азбестові полотна, грубошерстяні тканини та повсті розміром не менше 1 кв. м.

У пожежному стенді мають бути ємності для піску об'ємом не менше 0,1 куб. м. Конструкція ящика з піском має забезпечувати зручний доступ до нього і запобігати потраплянню опадів або проникненню вологи іншими маршрутами.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплектація технологічного обладнання вогнегасниками повинна відповідати вимогам технічних умов (паспортів) на це обладнання або відповідним правилам пожежної безпеки.

Необхідно вибирати тип вогнегасників і розраховувати їх необхідну кількість залежно від їх вогнегасної здатності, максимальної площі, класу пожежі горючих речовин і матеріалів у закритих приміщеннях або на об'єктах згідно з ISO N 3941-77.

У замкнутих приміщеннях об'ємом до 50 куб. м для загасання пожеж можна використовувати портативні вогнегасники або додатково використовувати порошкові вогнегасники.

При виборі вогнегасника з врахуванням відповідної температурної межі використання необхідно враховувати кліматичні умови, в яких будуть експлуатуватися будівлі та споруди.

Вогнегасники, які були відправлені на перезарядку з підприємства, повинні бути замінені на відповідну кількість заряджених вогнегасників.

При захисті приміщень з ПК слід враховувати особливості взаємодії вогнегасних речовин з обладнанням, виробами, матеріалами та іншими елементами. Для цих приміщень рекомендується встановлювати вуглекислотні вогнегасники, враховуючи максимально допустиму концентрацію вогнегасної речовини.

Приміщення, які обладнані автоматичними стаціонарними установками пожежогасіння, повинні мати вогнегасники на 50 % від їх розрахункової кількості. Відстань від можливого вогнища пожежі до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати: 20 м для громадських будівель і споруд, 30 м для приміщень категорій А, Б і В, 40 м для приміщень категорії Г та 70 м для приміщень категорії Д.

Використання первинних засобів пожежогасіння для господарських та інших потреб, які не пов'язані з гасінням пожежі, заборонено.

З урахуванням типу будівлі (громадське приміщення) та можливого класу пожежі (Е), оскільки у приміщенні є багато комп'ютерів, визначаємо необхідну кількість вогнегасників – один порошковий вогнегасник об'ємом 5 літрів.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

## Висновки до п'ятого розділу

У даній частині дипломного проекту були розглянуті питання щодо гігієнічних норм організації і обладнання робочих місць користувачів персональних комп'ютерів, питання пожежної профілактики приміщень, виконані необхідні розрахунки об'єму недоторканого запасу води для зовнішнього пожежогасіння. Отримані результати дозволяють обладнати приміщення для роботи користувачів обчислювальної техніки з дотриманням вимог безпеки їх праці.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						96
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Науковий результат кваліфікаційної роботи полягає в комплексі положень, методичних рішень і практичних рекомендацій щодо оцінки та підвищення структурної живучості мереж зв'язку довільної структури.

1. Визначено, що задачі оцінки та підвищення структурної живучості мереж виникають у зв'язку з необхідністю підтримки працездатності елементів мережі та її функціонування в умовах дестабілізаційних факторів на мережу. Підвищення структурної живучості стає одним з найбільш важливих напрямків забезпечення ефективного функціонування та працездатності мереж зв'язку в таких умовах.

2. На основі аналізу існуючих методів оцінки та підвищення живучості мереж довільної структури показана необхідність удосконалення існуючих та розробки нових моделей структурної живучості, які мають урахувати різноманітні фактори, що впливають на стабільність функціонування мереж.

3. Удосконалено метод забезпечення структурної живучості мереж на основі оптимального структурного резервування дуг мережі, який, на відміну від існуючих, враховує вагові коефіцієнти дуг мережі та пріоритет потоків заявок, що забезпечує більш стійке функціонування мереж та надає можливість оцінювати ймовірність збереження зв'язків між довільними пари пунктів мережі. Удосконалений метод забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 10-12% і підвищення ефективності орієнтовно на 13-15% у порівнянні з базовим методом.

4. Удосконалено метод підвищення структурної живучості вузлового обладнання мережі з урахуванням характеристики посередництва, який враховує загальну кількість маршрутів, що проходять через певний вузол з використанням протоколів маршрутизації OSPF, IGRP, EIGRP. Це дозволяє отримати більш точне значення цього параметру для забезпечення необхідного рівня структурної живучості мережі. Удосконалений метод

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 8-10% і підвищення його ефективності приблизно на 5% у порівнянні з базовим методом.

5. Виконано техніко-економічний аналіз розробки, а також дослідження питань охорони праці користувача.

Підсумовуючи, варто ще раз зазначити, що в сучасному світі телекомунікації розвиваються стрімкими темпами, і тому важливо мати надійні, стабільно функціонуючі мережі, які здатні забезпечити безперервний доступ до необхідної інформації. І живучість, тобто здатність виконувати свої функції навіть у разі пошкодження окремих елементів, є однією з важливих характеристик мереж. Мережі зв'язку сьогодні працюють в умовах підвищеного ризику пошкоджень в результаті непрогнозованих подій. Тому забезпечення структурної живучості мереж зв'язку є обов'язковою умовою для безвідмовного надання користувачам широкого спектру мережевих послуг. Таким чином, результати даної роботи мають велику потенційну затребуваність і перспективи подальшого розвитку.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

(E)IGRP – (Enhanced) Interior Gateway Routing Protocol, протокол динамічної маршрутизації для багатопрокольних маршрутизаторів компанії Cisco.

OSPF – Open Shortest Path First, протокол динамічної маршрутизації, заснований на технології відстеження стану каналу.

ДНФ – диз'юнктивна нормальна форма.

ЕМВ – електромагнітне випромінювання.

НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

НДР – науково-дослідна робота.

НТЕ – науково-технічна ефективність.

ПК – персональний комп'ютер.

ПП – програмний продукт.

ФСП – функція станів працездатності.

					КРМ.КІ.1.884-03.2.14	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Басюркіна Н. Й., Свистун Т. В. Методичні вказівки до оцінки науково-технічної ефективності розробки нової технології, нового обладнання та інших інновацій. Для студентів всіх спеціальностей СВО «бакалавр» і «магістр» денної і заочної форм навчання. – Одеса : ОНТУ, 2022. – 18 с.
2. Бойко В. Д. Оцінка живучості та стійкості компонентів інформаційних систем за допомогою когнітивно-імітаційного моделювання [Електронний ресурс]. – URL : <http://dspace.onua.edu.ua/bitstream/handle/11300/Бойко%20Віктор%20Дмитрович.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
3. Вігуржинська С. Ю, Колесник В. І. Дипломне проектування економічної частини проекту: Методичні вказівки для студентів, що навчаються за комп'ютерними спеціальностями "Інформаційні управляючі системи та технології", "Інформаційні технології проектування", "Комп'ютерні системи та мережі" та "Спеціалізовані комп'ютерні системи". – Одеса: ОНАХТ, 2016. – 22 с.
4. Вісловух А. М. Охорона праці користувачів персональних комп'ютерів (ПК): Навчальний посібник. – К.: ІПК ДСЗУ, 2007. – 55с.
5. Додонов О. Г. Живучість інформаційних систем [Текст]: / А. Г. Додонов, Д. В. Ланде. – К. : Наукова думка, 2011. – 256 с.
6. Додонов О. Г. Системні дослідження живучості та безпеки складних технічних систем / О. Г. Додонов, О. С. Горбачик, М. Г. Кузнєцова // Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2010, Т. 12, № 2. – С. 202-208. [Електронний ресурс]. – URL : <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/50463/21-Dodonov.pdf?sequence=1>.
7. Зайченко О. Ю. Аналіз та оптимізація показників живучості комп'ютерних мереж з технологією АТМ [Текст] // Вісник національного технічно-

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- го університету «Системи дослідження та інформаційні технології», № 1, 2003. – С. 16–24.
8. Князева Н. О. Метод забезпечення структурної живучості телекомунікаційної мережі [Текст] // ITNEA International Conferences, 2013. – Bulgaria. – С. 275–284.
  9. Князева Н. О. Підвищення структурної живучості телекомунікаційної мережі [Текст] // ITNEA International Conferences, 2013. – Bulgaria. – С. 152–166.
  10. Князева Н. О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Частина 2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних мереж. – Одеса : СПД Бровкін О. В., 2012. – 240 с.
  11. Князева Н. О. Дипломне проектування: Методичні вказівки до дипломної роботи спеціаліста / Н. О. Князева, С. В. Шестопапов, С. Л. Жуковецька. – Одеса : ОНАХТ, 2016. – 46 с.
  12. Ковальов О. П. Про живучість об'єктів енергетики [Текст] / О. П. Ковальов, В. В. Якімішина // Промислова електроенергетика, № 1, 2006. – С. 20–26.
  13. Огороднійчук М. Д. Комплекси і засоби військових телекомунікаційних мереж / М. Д. Огороднійчук, Ю. Д. Чайка, О. Г. Оксіюк, за ред. проф. М. Д. Огороднійчука. – К. : НУОУ, 2010. – 384 с.
  14. Романов О. І. Телекомунікаційні мережі та управління [Текст]. – К. : ВСЦ, «Київський університет», 2003. – 247 с.
  15. Australian mobile telecommunications industry, The Allen Consulting Group Pty Ltd, economic significance of mobile telecommunications, September, 2004.– 84 p.
  16. Friis K., Muller L. P., Gjesvik L. Cyber-weapons in international politics: Possible sabotage against the norwegian petroleum sector // NUPI Report. – NUPI, 2018.
  17. Ellison R. J. Survivable Network Systems: An Emerging Discipline / R. J. Ellison, D. A. Fisher, R. C. Linger, H. F. Lipson, T. Longstaff,

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

N. R. Mead // Carnegie-Mellon Software Engineering Institute Technical Report CMU/SEI-97-TR-013, 1997 revised 1999.

18. Guzie, Gary L. Integrated Survivability Assessment [PDF] // U.S. Army Research Laboratory: 11. – 2004. – URL : <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA422333.pdf>
19. Kniazieva N. Method for assessing the structural reliability of networks with undetermined topology / N. Kniazieva, A. Nenov, I. Kolumba // Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska – IAPGOŚ, 1/2020, pp. 32–35.
20. Rausand M., Høyland A. System reliability theory: Models, statistical methods, and applications, second edition / 2nd ed. – Wiley-Interscience, 2003.
21. Survivability [Електронний ресурс] // Wikipedia. – URL : <https://en.wikipedia.org/wiki/Survivability>.

					<i>KPM.KI.1.884-03.2.14</i>	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		