

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему** Дослідження зв'язності мереж mesh-топології  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Корнієнка Ю. К.  
(прізвище, ініціали)  
2 курсу КІ-777 групи

Керівники: доцент Сахарова С. В.  
(посада, прізвище та ініціали)  
ст. викл. Журнова Т. М.  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: проф. Басюркіна Н. Й.  
(посада, прізвище та ініціали)  
доц. Нєнов 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

« 1 » вересня 2023 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Корнієнка Юрія Костянтиновича

1. Тема роботи Дослідження зв'язності мереж mesh-топології

Затверджена наказом університету від « 14 » 08 2023 р., наказ № 415-03

2 Термін здачі здобувачем закінченої роботи 30 листопада 2023 р.

3. Вихідні дані роботи

1. Постановка завдання.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Вступ. 2. Передпроектний аналіз. 3. Постановка задачі дослідження.

4. Математична модель дослідження. 5. Розробка програми для аналізу мережевої зв'язності. 6. Дослідження зв'язності mesh-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. Мережі mesh-топології.

Слайд 3. Показники мережевої зв'язності. Слайд 4. Математична модель дослідження.

Слайд 6. Програмні алгоритми. Слайд 7. Елементи інтерфейсу користувача.

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
<i>Економіка</i>	<i>Басюркіна Н. Й., д. е. н., проф.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>Нєнов О. Л., к. т. н., доц.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>			

7. Дата видачі завдання 01.09.2023

Керівники \_\_\_\_\_ *Світлана САХАРОВА*

\_\_\_\_\_ *Тетяна ЖИРНОВА*

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ *Юрій КОРНІЄНКО*

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд предметної області зв'язності mesh-мереж</i>	<i>18.09.2023</i>	
2.	<i>Постановка задачі дослідження.</i>	<i>21.09.2023</i>	
3.	<i>Побудова математичної моделі дослідження.</i>	<i>28.04.2023</i>	
4.	<i>Розробка програми для автоматизації розрахунків.</i>	<i>05.10.2023</i>	
5.	<i>Дослідження впливу параметрів на зв'язність mesh-мереж.</i>	<i>10.10.2023</i>	
6.	<i>Дослідження процесу загибелі mesh-мереж.</i>	<i>31.10.2023</i>	
7.	<i>Техніко-економічне обґрунтування розробки.</i>	<i>15.11.2023</i>	
8.	<i>Дослідження суміжних питань охорони праці;</i>	<i>15.11.2023</i>	
9.	<i>Оформлення пояснювальної записки і презентації.</i>	<i>30.11.2023</i>	

Керівники роботи \_\_\_\_\_ *Світлана САХАРОВА*

\_\_\_\_\_ *Тетяна ЖИРНОВА*

*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 \_\_\_\_\_ *Юрій КОРНІЄНКО*

## АНОТАЦІЯ

Робота присвячена дослідженню структурної зв'язності і живучості мереж mesh-топології. Застосовуються два підходи до оцінки цільових показників: детермінований та імовірнісний. Аналізуються ймовірності зв'язності мереж, а також моделі загибелі. При детермінованому підході отримано моделі загибелі низки характерних мережевих структур.

Для автоматизації обчислень та наочного представлення результатів дослідження розроблені алгоритми та програмно реалізовані у середовищі Lazarus. У програмі використовується зручне графічне введення, результати обчислень подаються в табличному та графічному вигляді. Алгоритм реалізує повний перебір різних варіантів пошкодження мережі та аналіз параметрів мережі у цих станах. Для зручності перегляду в програмі реалізовано збір результатів дослідження (графів мереж, цифрових значень та графічних залежностей) в окремий файл з можливістю виведення результатів на друк.

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

Пояснювальна записка складається з 96 аркушів основної текстової частини і 35 аркушів додатків.

Ключові слова: *мережа, граф, зв'язність, живучість, mesh-топологія.*

## ABSTRACT

The work is devoted to the study of structural connectivity and survivability of mesh-topology networks. Two approaches to the assessment of target indicators are used: deterministic and probabilistic. Probabilities of network connectivity, as well as death models, are analyzed. With the deterministic approach, models of the death of a number of characteristic network structures were obtained.

Algorithms have been developed and implemented in the Lazarus environment to automate calculations and visualize research results. The program uses convenient graphical input, calculation results are presented in tabular and graphical form. The algorithm implements a complete enumeration of various options for network damage and analysis of network parameters in these states. For ease of viewing, the program implements the collection of research results (network graphs, digital values, and graphical dependencies) into a separate file with the option of printing the results.

This work also examines related issues of economic justification of research and user labor protection.

The explanatory note consists of 96 sheets of the main text part and 35 sheets of appendices.

Keywords: *network, graph, connectivity, survivability, mesh topology.*

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ПЕРЕДПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ .....	11
1.1 Мережі mesh-топології як об’єкт аналізу .....	11
1.2 Мережева зв’язність та її властивості .....	13
1.2.1 Показники загибелі мереж .....	13
1.2.2 Загибель мережі з топологією зірка .....	15
1.2.3 Загибель лінійної мережі .....	19
1.2.4 Загибель кільцевої мережі .....	21
1.2.5 Повнозв’язна мережа .....	22
Висновки до першого розділу .....	23
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ’ЯЗНОСТІ МЕРЕЖЕВИХ СТРУКТУР MESH-ТОПОЛОГІЇ. ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСТОСУНКУ ....	24
2.1 Постановка задачі дослідження .....	24
2.2 Математична модель дослідження. Показник збереження зв’язності .....	24
2.3 Аналіз зв’язності mesh-мережі як сукупності кільцевих підмереж.....	27
2.4 Оцінка впливу розміру комірок на ймовірність збереження зв’язності mesh-мереж .....	29
2.4.1 Дослідження зв’язності кільцевих мереж .....	29
2.4.2 Дослідження зв’язності мереж з містковою структурою.....	31
2.4.3 Дослідження зв’язності мереж типу «пісочний годинник».....	32
2.4.4 Дослідження зв’язності мереж з трьома комірками.....	33

					<i>КРМ.КІ.1.4 15-03.3.3</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Дослідження зв’язності мереж mesh-топології</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркцифр</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Юрій КОРНІЄНКО</i>					6	96
<i>Перевір.</i>		<i>Світлана САХАРОВА</i>				<i>зр. КІ-777 ОНТУ</i>		
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Сергій АРТЕМЕНКО</i>						

2.5	Оцінка впливу кількості надлишкових гілок на ймовірність збереження зв'язності.....	35
2.5.1	Дослідження зв'язності мереж з 5 вузлів .....	35
2.5.2	Дослідження зв'язності мереж з 6 вузлів.....	36
2.6	Постановка завдання на розробку програмного застосунку .....	37
2.7	Опис алгоритмів програми.....	39
	Висновки до другого розділу .....	45

**РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗВ'ЯЗНОСТІ MESH-МЕРЕЖ. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАГИБЕЛІ І ЗВ'ЯЗНОСТІ MESH-МЕРЕЖ .....**

3.1	Вибір засобів реалізації програми .....	46
3.2	Опис призначення основних програмних змінних.....	47
3.3	Інтерфейс користувача .....	48
3.4	Дослідження процесу загибелі мереж внаслідок атаки на вузли та гілки .....	49
3.4.1	Процес загибелі кільцевих структур .....	49
3.4.1	Процес загибелі місткових структур.....	51
3.4.2	Процес загибелі мережевих структур «пісочний годинник» .....	53
3.4.3	Процес загибелі мереж з трьома комірками .....	54
3.4.4	Процес загибелі мереж з 5 вузлів .....	56
3.5	Дослідження зв'язності mesh-мереж.....	57
3.5.1	Дослідження зв'язності структур з однією і трьома комірками ....	58
3.5.2	Дослідження впливу кількості комірок на зв'язність .....	61
	Висновки до третього розділу .....	67

**РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ .....**

4.1	Організаційно-економічне та маркетингове обґрунтування проекту ..	68
4.2	Економічні розрахунки проекту .....	69

4.2.1 Розрахунок трудомісткості розробки методом сітьового планування.....	69
4.2.2 Визначення трудомісткості розробки програмного продукту .....	72
4.2.3 Розрахунок ціни програмного продукту .....	75
4.3 Висновки до четвертого розділу .....	84
<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ .....</b>	<b>85</b>
5.1 Загальні положення .....	85
5.2 Способи зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів при роботі з комп'ютером .....	87
5.3 Правила безпеки при роботі з комп'ютером .....	88
5.4 Пожежна профілактика .....	89
Висновки до п'ятого розділу .....	91
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>92</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>94</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>97</b>
Додаток А Слайди презентації .....	97
Додаток Б Лістинг програми .....	110

## ВСТУП

Мережі телекомунікацій відіграють сьогодні життєво важливу роль для користувачів, підприємств, міст і цілих держав. Це змушує власників мереж, або їхніх довірених організацій – операторів зв'язку, піклуватися про їх якість, ефективність, надійність функціонування тощо. Усі ці властивості мереж телекомунікацій базуються на ключовому критерії оцінки – зв'язності, адже головною функцією мереж телекомунікацій є саме забезпечення зв'язку між передавачами і приймачами даних.

Мережа телекомунікацій – це складна динамічна система як за структурою, так і за потоками, які характеризуються нестабільністю за своєю інтенсивністю, а також випадковістю за місцями появи та зникнення. На зв'язність мережі впливає багато факторів, а вимоги до надійності і якості функціонування сучасних мереж досить високі. Тому оперативний контроль показників зв'язності з часом і по мірі змін структурних параметрів та впливу інших факторів – це об'єктивна необхідність.

Одним з видів сучасних телекомунікаційних мереж, особливо бездротових, є mesh-мережі (сітчасті, коміркові). Завдяки особливостям своєї структури такі мережі характеризуються підвищеною безвідмовністю, розширюваністю і енергоефективністю. Зокрема, за mesh-топологією часто будуються мережі оповіщення в надзвичайних ситуаціях, мережі промислового інтернету речей (IIoT), мережі розумних будинків і розумних міст тощо.

Питання аналізу зв'язності мереж телекомунікацій безперервно знаходиться у полі уваги багатьох дослідників протягом усього існування самих цих мереж. Залишається також безліч задач і проблем, які вимагають подальшого аналізу і вирішення. До них, зокрема, належать питання аналізу зв'язності вузлів в mesh-мережах сітчастої топології за допомогою моделей загибелі їх компонентів, які розглядаються в даній роботі. Подальшого

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

дослідження вимагають також питання впливу певних змін у структурі mesh-мереж на їх зв'язність. Це обумовлює актуальність даної роботи.

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес моделювання і аналізу зв'язності mesh-мереж.

Предметом дослідження є методи дослідження показників зв'язності mesh-мереж, зв'язок між структурою мереж і їх зв'язністю.

Метою даної роботи є виявлення фундаментальних властивостей зв'язності мережевих структур mesh-топології, їх залежності від певних структурних характеристик мереж.

Для здійснення поставленої мети вирішується ряд завдань, серед яких:

- огляд предметної області мереж mesh-топології і мережевої зв'язності;
- постановка дослідження, вибір показників зв'язності;
- розробка методики аналізу зв'язності мережевих структур mesh-топології;
- розробка програми для автоматизації розрахунків обраного показника зв'язності і побудови графічних залежностей;
- оцінка впливу кількості надлишкових гілок, розміру комірок і кількості комірок на зв'язність mesh-мереж;
- дослідження процесу загибелі mesh-мереж;
- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- дослідження суміжних питань охорони праці;
- оформлення пояснювальної записки та підготування презентації.

Наукова новизна роботи полягає в розробці і використанні оригінальної методики оцінки зв'язності за показником імовірності збереження зв'язності після атаки на вузли та гілки мережі, а також у винайденні певних закономірностей між структурними характеристиками мережі і зв'язністю мережі за обраним показником.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

# РОЗДІЛ 1

## ПЕРЕДПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ

### 1.1 Мережі mesh-топології як об'єкт аналізу

Mesh-топологія (сітчаста топологія) — це тип топології комп'ютерної мережі, в якій робочі станції мережі з'єднані між собою і можуть виконувати функцію комутатора для інших учасників. Така організація мережі є більш складною в налаштуванні, однак при цьому забезпечується висока відмовостійкість.

В загальному випадку mesh-мережа представляє собою сукупність комірок, суміжних спільним вузлом або дугами. Комірка – це кільце розміром три вузли і більше. Нерідко вузли mesh-мереж з'єднуються за принципом «кожен з кожним» (так звана повністю підключена mesh-мережа). Велика кількість з'єднань забезпечує широкий вибір маршруту трафіку всередині мережі – отже, втрата одного з'єднання не порушить функціонування мережі в цілому. Для розробки mesh-мереж нерідко використовуються методи теорії ігор, які допомагають аналізувати стратегії розподілу ресурсів і побудови маршрутів.

До загальних особливостей mesh-мереж можна віднести «розумність», самовідновлення та самоадаптацію і швидке та недороге розгортання.

«Розумність» – одна з ключових особливостей mesh-мережі. «Розумність» означає, що при підключенні кожна точка автоматично отримує інформацію про всі інші точки доступу в мережі та визначає свою роль. Така поведінка виключає необхідність постійного адміністрування та сприяє швидкому розгортанню. Крім того, завдяки такій «розумності» при виході з ладу одного з вузлів мережа здатна перенаправити дані, тобто переозначити маршрути автоматично. Це забезпечує самовідновлення та самоадаптацію mesh-мережі до зміни її структури.

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Розгортання mesh-мережі, як правило, не вимагає дорогої інфраструктури та прокладки кабелів. А завдяки можливостям самовідновлення та самоадаптації ця мережа є досить економічною в експлуатації. Взагалі, вважається, що mesh-мережі – це важливий крок у напрямку створення економічно ефективних і динамічних мереж з високою пропускну здатністю [21].

Mesh-мережі, як правило, використовують бездротові канали зв'язку. За останній час розмір пристроїв, їх вартість і енергоспоживання знизилися, що дало можливість оснащувати один вузол декількома радіомодулями. Завдяки цьому кожна комірka отримала можливість одночасно виконувати декілька функцій, таких як доступ клієнтів, сканування та інші.

Mesh-топологія за необхідності дозволяє передавати дані на великі відстані шляхом розбиття довгого маршруту на серію коротких переходів між вузлами – так званих хопів (*hops*). Проміжні вузли не тільки посилюють сигнал, але й спільно передають його від вузла-джерела до вузла-приймача, здійснюючи при цьому переадресацію на основі відомих даних про мережу в цілому. Така топологія, по суті, є мережею маршрутизаторів. При ретельному розробленні та аналізі вона може забезпечити високу пропускну здатність, спектральну ефективність і економічну перевагу в зоні покриття.

У випадках раптового відключення або додавання нових вузлів ініціюються процеси зміни структури mesh-мережі. Якщо це відбувається не дуже часто, маршрут трафіку, сформований великою кількістю кінцевих користувачів, також є стабільним.

Mesh-топологія може бути децентралізованою або централізованою – в залежності від присутності в мережі головного сервера. Обидва підходи відносно недорогі, надійні й відмовостійкі, оскільки задачею кожного вузла є передача трафіку тільки до наступного вузла мережі. Кожен пристрій виконує функції маршрутизатора по передачі даних від сусідніх вузлів до віддалених учасників мережі, для досягнення яких недостатньо одного переходу. В результаті утворюється мережа, здатна покривати величезні відстані, не втрачаючи своєї стійкості. Надійність mesh-топології

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

забезпечується тим, що кожен вузол з'єднаний з декількома сусідами. Це означає, що при вибутті вузла з топології («загибелі») його сусіди можуть швидко перебудувати маршрут для трафіку, використовуючи свої протоколи маршрутизації.

## 1.2 Мережева зв'язність та її властивості

### 1.2.1 Показники загибелі мереж

Зв'язність мереж різної структури і призначення є об'єктами численних досліджень як вітчизняних [4, 22], так і зарубіжних учених [24, 26]. Моделі структурної надійності мереж за ймовірністю зв'язності вузлів розроблялися з середини минулого століття [19] і з того часу отримали значний розвиток [24].

При визначенні ймовірності збереження зв'язності мережі передбачається, що в мережі є надлишкові (порівняно з деревом) гілки (дуги, ребра), розрив яких не призводить до втрати зв'язності. Вираз для оцінки ймовірності збереження зв'язності дерева має вигляд одночлена, в якому число множників (ймовірність розриву гілки  $q$  або навпаки, ймовірність збереження гілки  $p = 1 - q$ ) дорівнює числу гілок незалежно від структури дерева.

Розрізняють два підходи до дослідження зв'язності та процесу загибелі мереж зв'язку — детермінований і ймовірнісний. При аналізі загибелі мережі, що складається з  $n$  вузлів та  $r$  гілок, на детермінованих моделях задається число уражених гілок або вузлів  $m$ , причому  $0 < m < n$ ,  $r$ . Для кожного значення  $m$  вилучених гілок та (або) загиблих вузлів можлива множина варіантів розміщення пошкоджень. Кількісно ця множина визначається як число комбінацій  $C_r^m C_n^m$ . При ймовірнісному підході задається ймовірність  $q$  розриву (вилучення) гілки або загибелі вузла.

При заданому числі  $m$  уражених (загиблих) елементів аналіз загибелі та розпаду мережі розміром  $n$  вузлів та  $r$  гілок ведеться за такими

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

показниками:

- $S_p, S_y$  – кількість загиблих (*Shipwreck – аварія*) елементів мережі – гілок (індекс  $p$ ) або вузлів (індекс  $y$ );
- $S_i$  – кількість загиблих елементів мережі при  $i$ -му варіанті ураження  $m$  елементів;
- $U_i$  – кількість елементів, які вижили (*Undestroyed*), при  $i$ -му варіанті ураження  $m$  елементів мережі;  $S_i + U_i = n$ ;
- $w = C_{n,r}^m$  – кількість варіантів ураження  $m$  елементів мережі;
- $\sum_i^w S_i$  – загальна сума загиблих елементів для  $w$  варіантів ураження  $m$  елементів мережі;
- $\sum_i^w U_i$  – загальна сума елементів, які вижили, для  $w$  варіантів ураження  $m$  елементів мережі;
- $\bar{U}_p, \bar{U}_y = \frac{\sum_i^w U_i}{w}$  – середня кількість елементів, які вижили при ураженні  $m$  елементів мережі для всіх  $w$  варіантів ураження;
- $\bar{S}_p, \bar{S}_y = \frac{\sum_i^w S_i}{w}$  – середня кількість загиблих вузлів при ураженні  $m$  елементів для всіх  $w$  варіантів.

Для порівняння мереж різних розмірів і структур зручніше використовувати відносні величини:

- $d(S_p), d(S_y) = \frac{\sum_i^w S_i}{n \cdot w}$  – середня частка загиблих вузлів при ураженні  $m$  елементів мережі, показник ступеня ураження мережі;
- $d(U_p), d(U_y) = \frac{\sum_i^w U_i}{n \cdot w}$  – середня частка вузлів, що вижили при ураженні  $m$  елементів мережі, показник ступеня цілісності мережі.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Середня частка елементів, які вижили і загинули, задовольняє наступним умовам:

$$d(S) + d(U) = 1;$$

$$d(U), d(S) = 0, \text{ якщо } m = 0;$$

$$d(U), d(S) = 1, \text{ якщо } m = r, n;$$

$$d(U) = [1, 0], d(S) = [0, 1], \text{ якщо } 0 < m < n.$$

Ступінь зв'язності вузлів – ще один важливий показник, який досліджується при аналізі зв'язності мереж: це кількість гілок, інцидентних даному вузлу.

На даний час розроблені детерміновані моделі загибелі мереж трьох основних топологій: зірка, лінія і кільце – як при розриві гілок, так і при загибелі вузлів. Вони розглядаються в подальших підрозділах в якості основи дослідження і для подальшого порівняння з сітчастою топологією.

### 1.2.2 Загибель мережі з топологією зірка

Найбільш просто залежності середньої кількості та частки загиблих вузлів при вилученні (розриві)  $0 \leq m \leq r$  гілок визначаються для мереж з топологією зірка – найпоширенішою топологією у високошвидкісних локальних обчислювальних мережах (рис. 1.1).

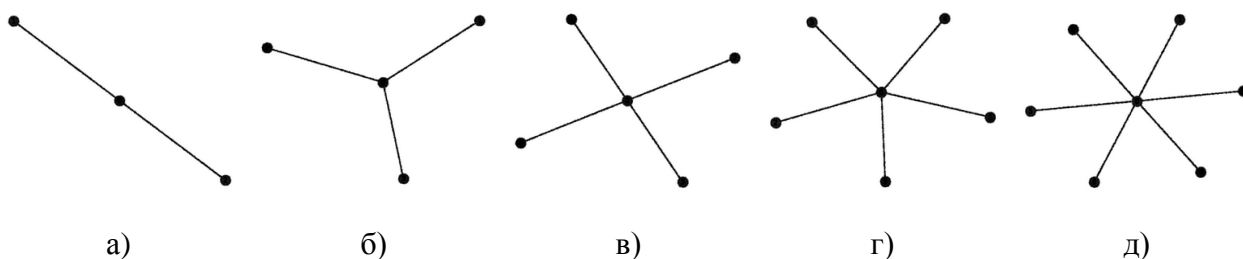


Рис. 1.1 – Мережі з топологією зірка

Вилучення кожної з  $0 \leq m \leq n-1$  гілок одночасно означає загибель суміжних із ними периферійних вузлів. Розмір частини, що вижила, складає

при цьому  $U = n - m$  вузлів.

Розглянемо на прикладах, показаних на рис. 1.1, як змінюватимуться показники загибелі й цілісності мереж при різній кількості вилучених (розірваних) гілок.

При  $n = 3$  та  $m = 0$  (рис. 1.1, а) мережа діє у нормальних умовах. Число загиблих вузлів дорівнює нулю, кількість живих вузлів, відповідно,  $U = n$ . При  $m = 1$  (одне ребро загинуло) мережа розпадається на дві частини: розміром в один вузол ( $S_p = 1$ ) і два вузли ( $U_p = 2$ ) відповідно. Перший фрагмент вважається загиблим, другий – тим, що вижив. Частка ураження гілок становить  $d_{np} = m / (n - 1) = 1/2$ , частка загиблих вузлів  $d(S_p) = 1/3$ , частка вузлів, що вижили –  $d(U_p) = 2/3$ . При  $m = 2$  мережа розпадається три частини, кожна розміром в один вузол, що означає загибель всієї мережі.

Мережа розміром  $n = 4$  вузли (рис. 1.1, б) при  $m = 0$  (загиблих елементів немає) діє у нормальних умовах експлуатації. Кількість живих вузлів  $U_p = n$ ,  $d(S_p) = 0$ ,  $d(U_p) = 1$ . Якщо  $m = 1$ , то мережа розпадається на частини розміром  $S_p = 1$  вузол (загинув) і  $U_p = 3$  три вузли (частина, що вижила). Тому  $d(S_p) = 1/4$ ,  $d(U_p) = 3/4$  за частки ураження гілок  $d_{np} = 1/3$ . При  $m = 2$  мережа розпадається три частини розміром  $S_{p1} = 1$ ,  $S_{p2} = 1$  і  $U_p = 2$ .  $\sum S_p = 2$ , тому  $d(S_p) = 2/4$ ,  $d(U_p) = 2/4$ . При  $m = 3$  мережа розпадається на чотири частини, кожна розміром в 1 вузол. Загальна кількість загиблих вузлів при цьому:  $\sum S_p = 4$ , а доля загиблих вузлів –  $d(S_p) = 1$ .

Мережа розміром  $n = 4$  вузли при  $m = 0$  (рис. 1.1, в) діє у нормальних умовах експлуатації, загиблих вузлів немає. Кількість живих вузлів  $U_p = n$ ,  $d(S_p) = 0$ ,  $d(U_p) = 1$ . Якщо  $m = 1$  ( $d_{np} = 1/4$ ), то мережа розпадається на дві частини розміром в один ( $S_p = 1$ ) і чотири вузли ( $U_p = 4$ ), тоді  $d(S_p) = 1/5$ ,  $d(U_p) = 4/5$ . Якщо  $m = 2$  ( $d_{n,p} = 1/2$ ), то мережа розпадається три частини розміром  $S_{p1} = 1$ ,  $S_{p2} = 1$  і  $U_p = 3$ . Загальна кількість загиблих вузлів  $\sum S_p = 2$ , тому  $d(S_p) = 2/5$ ,  $d(U_p) = 3/5$ . При  $m = 3$  ( $d_{np} = 3/4$ ) мережа розпадається на чотири частини за будь-якого варіанта вилучення трьох гілок. Три частини,

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

кожна розміром один вузол, гинуть,  $\sum S_p = 3$ . Одна частина розміром у два вузли виживає. Тому  $d(S_p) = 3/5$ ,  $d(U_p) = 2/5$ . Нарешті, при  $m = 4$  ( $d_{np} = 1$ ) мережа розпадається п'ять частин, кожна розміром одиниця, усі вузли гинуть:  $\sum S_p = 5$ ,  $d(S_p) = 1$ ,  $d(U_p) = 0$ .

Результати аналізу усіх варіантів мереж, представлених на рис. 1.1, зведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Доля загиблих вузлів у мережах з топологією зірка

Кількість $m$ вилучених гілок	а) $n = 3$	б) $n = 4$	в) $n = 5$	г) $n = 6$	д) $n = 7$
0	0	0	0	0	0
1	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7
3	1	3/4	3/5	3/6	3/7
4		1	4/5	4/6	4/7
5			1	5/6	5/7
6				1	6/7
7					1

З даних таблиці 1.1 видно, що чисельник дорівнює  $m$ , знаменник –  $n$ . Тому частка загиблих вузлів при вилученні  $m$  гілок, коли залишається хоча б одна гілка, дорівнює:

$$d(S_p) = m / n . \quad (1.1)$$

Відповідно, частка вузлів, що вижили:

$$d(U_p) = (n - m) / n . \quad (1.2)$$

У випадку коли вилучається остання гілка, гинуть обидва вузли, які вона з'єднувала. Тобто,  $d(S_p) = 1$  при  $m = m_{\max}$ .

Графічні залежності частки вузлів, що загинули, від частки гілок, що вилучені, для проведеного розрахунку показані на рис. 1.2.

Наслідки атак на вузли для зіркоподібних мереж істотно гірше порівняно з вилученням гілок. Втрата периферійного вузла означає зменшення мережі на один вузол, а ось втрата центрального вузла призведе до розпаду

мережі на  $n - 1$  частину, кожна розміром 1 вузол, усі зв'язки між вузлами при цьому розриваються, і мережа гине (стає недієздатною).

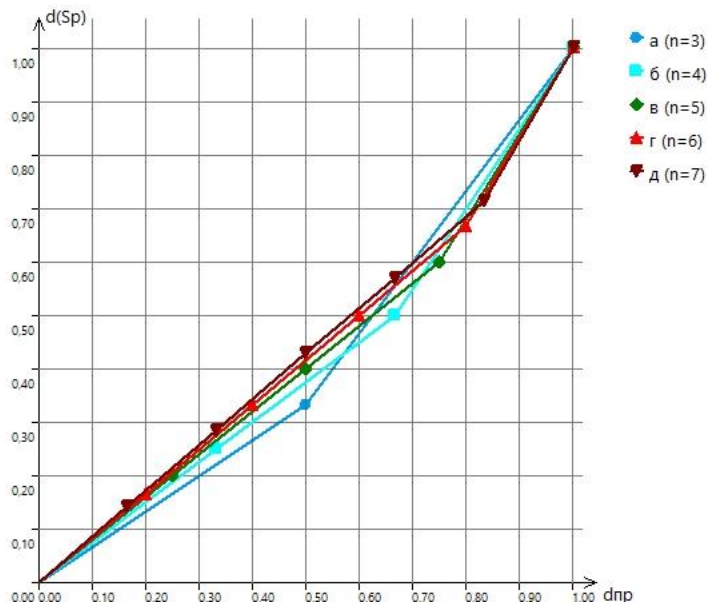


Рис. 1.2 — Графічні залежності частки вузлів, що загинули, від частки вилучених гілок для мереж з топологією «зірка» розміром  $n = 3..7$  вузлів

На основі аналізу динаміки розпаду мереж з топологією «зірка» за показниками  $d(U_y)$  та  $d(S_y)$  при поступовому вилученні з них вузлів  $0 < m < n - 2$  були знайдені загальні залежності, які представлені, відповідно, формулами (1.3) та (1.4).

$$d(U_y) = \frac{(n - m)^2}{n^2}, \quad (1.3)$$

$$d(S_y) = 1 - d(U_y) = \frac{2 \cdot n \cdot m - m^2}{n^2} = 2d_{ny} - d_{ny}^2. \quad (1.4)$$

Графічні залежності частки вузлів, що загинули, від частки вилучених вузлів показані на рис. 1.3. При  $m = n - 1$  залишається лише один вузол, що означає загибель всієї мережі. Тому графіки залежності  $d(S_y) = f(d_{ny})$  закінчуються на лінії  $d(S_y) = 1$  у точках  $d_{ny} = (n - 1)/n$ . Зі збільшенням  $n$  графік  $d(S_y)$  зміщується у правий верхній кут.

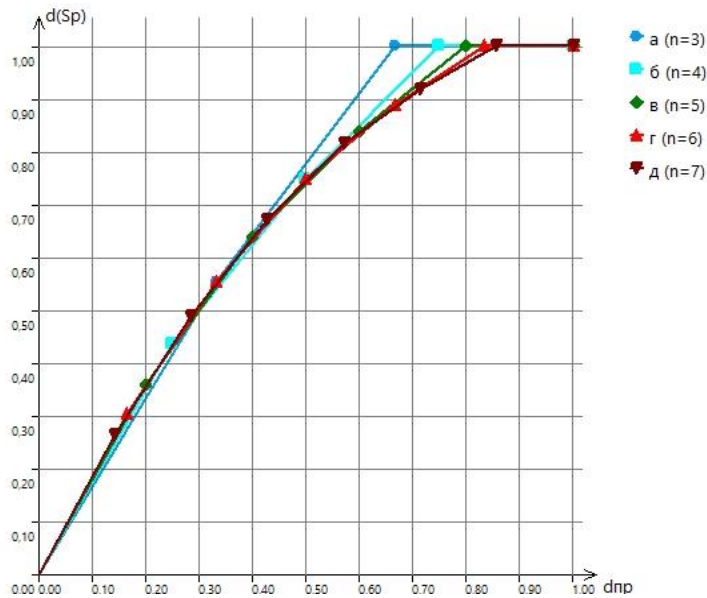


Рис. 1.3 — Графічні залежності частки вузлів, що загинули, від частки вилучених вузлів для мереж з топологією «зірка» розміром  $n = 3..7$  вузлів

### 1.2.3 Загибель лінійної мережі

При вилученні гілок загиблим вважається вузол, суміжні гілки якого вилучені. Якщо вузол висячий, то для його загибелі достатньо вилучити суміжну з ним гілку. Таких вузлів у будь-якій лінійній мережі два. Такими, що вижили, вважаються вузли (два або більше), що зв'язані гілками. Тому в лінійній мережі цілком можливі випадки, коли вилучених гілок може бути декілька, а загальна сума фрагментів, що вижили, залишається рівною  $n$ . При будь-якому значенні  $n$  і вилученні однієї гілки сума загиблених вузлів дорівнює двом; сума вузлів, що вижили, утворює арифметичний ряд другого порядку з параметрами  $a_1 = 4$ ,  $b_1 = 6$ ,  $c = 2$ . Тому частка загиблених вузлів при  $m = 1$  вилучених гілок складе  $d(S_p) = 2 / (n(n - 1))$ , відповідно частка вузлів, що вижили:  $d(U_{p1}) = 1 - 2 / (n(n - 1))$ . Якщо  $m = n - 2$ , то  $d(U_{p(n-2)}) = 2 / (m + 2)$ . У загальному випадку:

$$d(S_p) = m(m + 1) / (n(n - 1)); \quad (1.5)$$

$$d(U_p) = 1 - d(S_p) = 1 - m(m + 1) / (n(n - 1)). \quad (1.6)$$

Залежність частки загиблих вузлів від частки вилучених гілок представ-  
лені на рис. 1.4.

При атаці на вузли лінійної мережі середня частка вузлів, що вижили,  
знаходиться з співвідношень:

$$d(U_{mp}) = (n - m) / n; \quad d(S_{my}) = 1 - d(U_{my}),$$

$$d(U_{my}) = d(U_{mp}) - (n - m) / n; \quad d(U_{my}) = 1 - d(U_{my}).$$

Після підстановки значень  $d(U_{my})$  та спрощення отримаємо:

$$d(S_y) = \frac{m}{n} + \frac{m(m+1)}{(n-1)n} - \frac{m^2(m+1)}{n^2(n-1)}. \quad (1.7)$$

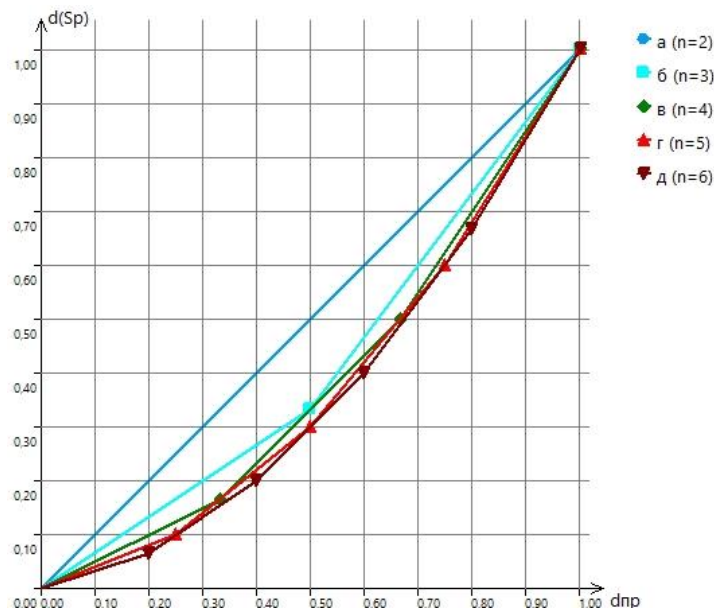


Рис. 1.4 — Графічні залежності частки вузлів, що загинули, від частки вилучених гілок  
для мереж з лінійною топологією розміром  $n = 3..7$  вузлів

Графічні залежності  $d(S_y)$  від  $n$  та  $d_{ny}$  показані на рис. 1.5. Вони мають  
опуклий вигляд, тобто втрати при загибелі вузлів суттєво зростають.

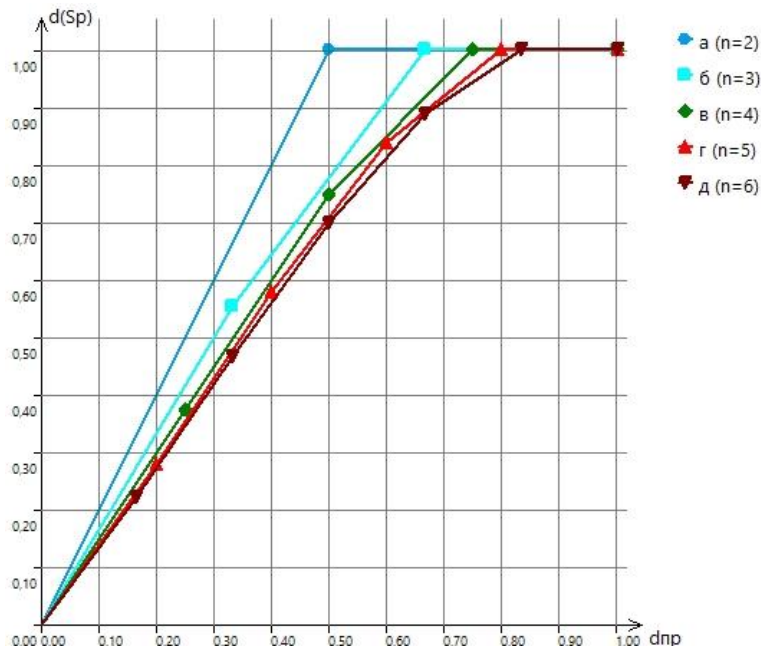


Рис. 1.5 — Графічні залежності частки вузлів, що загинули, від частки вилучених вузлів для мереж з лінійною топологією розміром  $n = 3..7$  вузлів

### 1.2.4 Загибель кільцевої мережі

Видалення однієї надмірної гілки залишає мережу зв'язаною розміром  $n$ . Частка загиблих вузлів дорівнює нулю в діапазоні частки ураження гілок  $0 < d_{np} < n^{-1}$ . Зі збільшенням  $n$  цей діапазон звужується, наближаючись до лівого нижнього кута (рис. 1.6). У загальному випадку частка загиблих вузлів при вилученні гілок:

$$d(S_p) = m(m - 1) / (n(n - 1)). \quad (1.8)$$

Відповідно, частка вузлів, що вижили:

$$d(U_p) = 1 - d(S_p) = 1 - m(m - 1) / (n(n - 1)). \quad (1.9)$$

При  $m = 0$  або  $1$  чисельник у формулі (1.8) стає рівним  $0$ , відповідно,  $d(S_p)$  також дорівнює нулю. Зі збільшенням  $n$  при однаковій частці ураження гілок значення  $d(U_p)$  зменшується, наближаючись до границі  $(1 - m^2/n^2)$ . На початковій ділянці залежності  $d(S_p)$  проходять по осі  $X$

( $d(S_p) = 0$ ), далі повторюють аналогічні залежності лінійних мереж зі зміщенням  $n^{-1}$ .

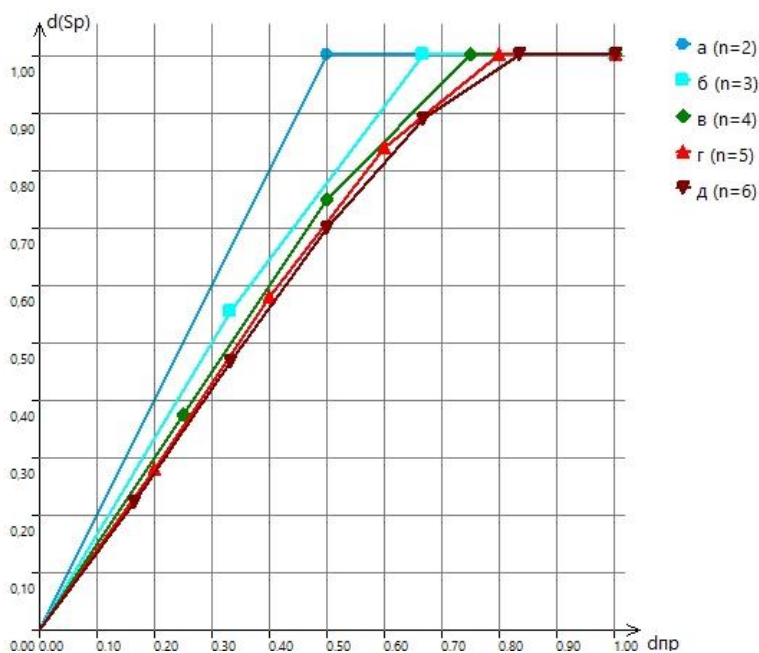


Рис. 1.5 — Графічні залежності частки загиблих вузлів від частки вилучених гілок для мереж з кільцевою топологією розміром  $n = 3..7$  вузлів

Кільцева мережа при атаках на один з вузлів трансформується в лінійну мережу розміром  $(n - 1)$  вузол. При збільшенні числа пошкоджених вузлів  $m > 2$  частка вузлів, що вижили при  $m = 1$ , множиться на частку вузлів, що вижили, в лінійній мережі розміром  $(n - 1)$  при кількості уражених вузлів, рівній  $(m - 1)$ :

$$d(U_y) = \frac{n - m}{n} \left( 1 - \frac{m(m - 1)}{(n - 1)(n - 2)} \right); \quad (1.10)$$

$$d(S_y) = \frac{m}{n} - \frac{m(m - 1)}{(n - 1)(n - 2)} - \frac{m^2(m - 1)}{n(n - 1)(n - 2)} \quad (1.11)$$

### 1.2.5 Повнозв'язна мережа

При атаці на  $m$  вузлів повнозв'язної мережі (при будь-якому варіанті) частина, що вижила, буде також повнозв'язною, але розміром  $n - m$ . Тому частка загиблих вузлів під час атаки на  $m$  вузлів:

$$d(S_y) = \frac{m}{n}. \quad (1.12)$$

Відповідно, частка вузлів, що вижили:

$$d(U_y) = \frac{n-m}{n}. \quad (1.13)$$

Інші структури мереж, крім зірки, лінії, кільця і повнозв'язної структури, вимагають розрахунків, а у випадку розгалужених мереж – програмної реалізації алгоритму дослідження загибелі мереж для автоматизації розрахунків.

### **Висновки до першого розділу**

Представлені в розділі результати досліджень зв'язності і живучості мереж класичних топологій складають базис подальшого дослідження мереж mesh-топології. Відсутність аналітичних залежностей для зв'язності розгалужених mesh-мереж обумовлює актуальність і доцільність подальшої роботи.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ МЕРЕЖЕВИХ СТРУКТУР MESH-ТОПОЛОГІЇ. ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСТОСУНКУ

#### 2.1 Постановка задачі дослідження

Аналітичне дослідження, яке представлено в даному розділі, має на меті проаналізувати вплив параметрів простих мережеских структур, характерних для mesh-топології, на ймовірність їх зв'язності. Для цього вирішуються такі задачі:

- вибір параметрів та показників, розробка математичної моделі;
- вибір мережеских структур для аналізу;
- складання розрахункових формул;
- проведення розрахунків;
- аналіз результатів.

#### 2.2 Математична модель дослідження. Показник збереження зв'язності

Для математичного моделювання mesh-мереж будемо використовувати класичний графовий підхід. Мережа при цьому представляється як простий зв'язний неорієнтований граф  $G = (V, E)$ , де  $V$  – кількість вершин, які відповідають вузлам мережі, а  $E$  – кількість ребер, що відповідають гілкам мережі.

Аналіз зв'язності mesh-мереж може базуватися на складанні так званого многочлена збереження зв'язності, який дозволяє оцінити ймовірність того, що мережа залишиться зв'язною після вилученні з неї (розриві) надлишкових гілок. При цьому надлишковими вважаються гілки, які не входять до кістякового дерева, що зв'язує усі вузли мережі. Один з методів

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

складання многочлена збереження зв'язності заснований на повному переборі варіантів вилучення надлишкових гілок – від 0 до  $r_{\text{надл}}$ .

Використовуючи підхід, що базується на теорії ймовірностей і теорії графів, можна розрахувати ймовірність  $P_c$  того, що граф  $G$  залишиться зв'язним після того, як деяке ребро буде вилучено з графу – ймовірність цієї події позначимо як  $q$ .

Кількість вилучених гілок, яка дорівнює нулю, відповідає нормальним умовам експлуатації. Імовірність цього стану дорівнює:

$$P_{(m=0)} = p^r, \quad (2.1)$$

де  $p$  – ймовірність збереження гілки,  $p = 1 - q$ ;

$r$  – кількість гілок.

Розглянемо стани мережі, які відповідають усім можливим випадкам вилучення однієї гілки. Кількість таких станів дорівнює  $r$ , а ймовірність одного такого стану:

$$P_{(m=1)} = p^{r-1} q. \quad (2.2)$$

За відсутності висячих гілок та вузлів при вилученні однієї гілки мережа залишається зв'язною.

Далі переходимо до випадку вилучення двох гілок. Імовірність цього стану становить:

$$P_{(m=2)} = p^{r-2} q^2. \quad (2.3)$$

При цьому виключаємо кільце, оскільки в ньому є лише одна надлишкова гілка. Вилучення двох гілок у кільці у будь-якому варіанті призводить до втрати зв'язності мережі, і живучість її стає рівною нулю. Кількість варіантів вилучення двох гілок дорівнює числу комбінацій з  $r$  по 2:  $C_r^2$ . Так, у відомій мережі виду «місток» ( $n=4$ ,  $r=5$ ,  $r_{\text{надл}}=2$ ) кількість варіантів вилучення двох гілок дорівнює 10. З цих 10 виключаються два варіанти вилучення двох суміжних із вузлами гілок, ступінь зв'язності яких дорівнює

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2, оскільки при цьому мережа втрачає вузол  $i$ , відповідно, втрачає зв'язність.

Після аналізу варіантів вилучення  $m$  гілок ( $0 \leq m \leq r_{\text{надл}}$ ) складається многочлен збереження зв'язності (живучості) зі змінними  $p$  і  $q$ . Оскільки  $p + q = 1$ , то можна звести многочлен до однієї лише змінної  $p$ .

$P_c$  можна розрахувати за допомогою перерахування кістяків графу  $G$ . На практиці цей метод пов'язаний з многочленом Татта, який є інваріантом у теорії графів. Многочлен Татта – це функція  $G \rightarrow T_G(x, y)$  переходу з множини неорієнтованих графів (можливо, з петлями і кратними ребрами) в множину багаточленів від двох змінних, що має такі властивості:

- якщо граф  $G$  не має ребер, то  $T_G(x, y) = 1$ ;
- якщо ребро  $e$  – міст (перешийок), то  $T_G(x, y) = xT_{G/e}(x, y)$ ;
- якщо ребро  $e$  – петля, то  $T_G(x, y) = T_{G \setminus e}(x, y)$ ;
- якщо ребро  $e$  – не петля і не міст, то  $T_G(x, y) = T_{G \setminus e}(x, y) + T_{G/e}(x, y)$ .

Многочлен Татта розраховується за формулою [8]:

$$T(G, x, y) = \sum_{A \subseteq E} (x-1)^{f(E)-f(A)} (y-1)^{|A|-f(A)}, \quad (2.4)$$

де  $f: 2^E \rightarrow Z$  – ранжуюча функція графу  $G$ ;

$f(A)$  – ранг підграфу  $G' = (V(A), A)$ : кількість вершин  $|V(A)|$  мінус кількість зв'язних компонентів  $G'$ .

Виходячи з визначення многочлену Татта, його значення у певних точках будуть наступними:

- $T(G; 1, 1)$  – кількість кістякових дерев  $G$ , яке обчислюється поліноміально;
- $T(G; 2, 1)$  – кількість лісів  $G$ , обчислення якої є  $NP$ -складною задачею;

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

–  $T(G; 2, 1)$  – кількість кістяків  $G$ , обчислення якої є також  $NP$ -складною задачею.

Оцінка ймовірності збереження зв'язності мережі розраховується за допомогою многочлену Татта за формулою:

$$P_c = p^{|E|-p(E)} (1-p)^{p(E)} T\left(G, 1, \frac{1}{p}\right). \quad (2.5)$$

Даний метод вимагає значного обсягу обчислень, особливо для розгалужених мережевих структур, і не виключає помилок при розрахунку вручну. Тому для виключення цих помилок і збільшення аналізованих мереж потрібна розробка і використання відповідних програмних засобів.

### 2.3 Аналіз зв'язності mesh-мережі як сукупності кільцевих підмереж

Мережа mesh-топології може розглядатися як сукупність зв'язаних між собою кільцевих підмереж (рис. 2.1), де кожне кільце утворює комірку mesh-мережі.

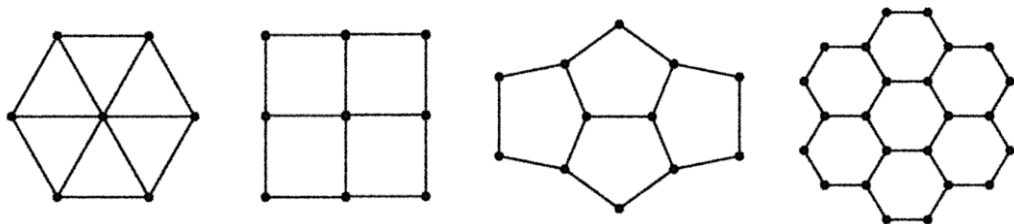


Рис. 2.1 — Mesh-мережі на основі кілець різної конфігурації

Ступінь зв'язності вузлів кільця – 2, оскільки кожен вузол з'єднаний з двома гілками. Для кільцевої мережі будь-якого розміру  $n$  ймовірність збереження зв'язності дорівнює:

$$P_c = n \cdot p^{n+1} - (n-1) \cdot p^n. \quad (2.6)$$

Для формули (2.6) при будь-яких  $n$  виконуються граничні умови:

- якщо  $p = 0$ , то  $P_c$  також дорівнює нулю;
- якщо  $p = 1$ , то  $P_c = 1$ ;
- в діапазоні  $0 \leq p \leq 1$  функція  $P_c$  безперервна.

З аналізу числових значень та графічних залежностей  $P_c = f(n, p)$  видно, що  $P_c$  зменшується зі збільшенням розмірів кільця при тих самих значеннях  $p$ . Верхню межу  $P_c$  дає кільце розміром три вузли.

Розглянемо тепер найпростішу сітчасту мережу, в якій є дві трикутні комірки і відсутні висячі вузли та гілки (рис. 2.2).

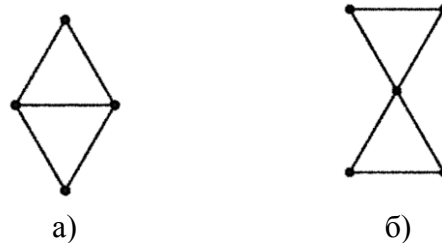


Рис. 2.2 — Елементарні mesh-мережі з трикутними комірками  
а) «місток»; б) «пісочний годинник»

При контакті двох комірок суміжною гілкою отримуємо так званий «місток» (рис. 2.2а) з параметрами  $n = 4$ ,  $r = 5$ . Многочлен збереження зв'язності в цьому випадку має вигляд тричлена:

$$P_c = 8p^3 - 11p^4 + 4p^5. \quad (2.7)$$

У многочлені, члени якого розташовані в порядку зростання ступенів, знаки чергуються, починаючи з плюсу.

Мінімальна зв'язність за показником кількості гілок у вихідному стані мережі дорівнює 3, максимальна — 5 (кількість дуг у вихідному стані мережі).

Аналіз числових значень та графічних залежностей показує, що зі збільшенням розміру комірок при однакових ймовірностях вилучення гілок

ймовірність збереження зв'язності мережі зменшується. Верхню межу  $P_c$  дає «місток».

При з'єднанні трикутних комірок вузлом виходить мережа типу «пісочний годинник» (рис. 2.2б) з параметрами  $n = 5$ ,  $r = 6$ . Многочлен збереження зв'язності такої мережі має вигляд:

$$P_c = 9p^4 - 12p^5 + 4p^6. \quad (2.8)$$

У порівнянні з «містком» ця структура менш зв'язна (і, відповідно, менш живуча), тобто вона дає менше значення  $P_c$  за однакової ймовірності вилучення гілок.

При будь-якій (але постійній) кількості надлишкових гілок та однакової ймовірності  $p$  збільшення розміру комірок призводить до зменшення величини  $P_c$ , тобто зниження запасу її зв'язності. Верхню межу  $P_c$  дає мережа, що складається з трикутних комірок. Кількість гілок зв'язаного дерева цього ж розміру на одиницю більша за кількість надлишкових гілок (комірок). Мінімальний ступінь характеризує кількість гілок зв'язаного дерева цього ж розміру. Розмір (кількість вузлів) кільцевої мережі складає  $r_{\min} + 1$ .

Істотний вплив на ймовірність збереження зв'язності надає число надлишкових гілок. Послідовне їх додавання призводить до зростання числа членів многочлена зв'язності і, відповідно, збільшення значень  $P_c$  при однакових значеннях  $p$ .

## 2.4 Оцінка впливу розміру комірок на ймовірність збереження зв'язності mesh-мереж

### 2.4.1 Дослідження зв'язності кільцевих мереж

Розглянемо зв'язність кільцевих мереж різного розміру (рис. 2.3) за показником  $P_c$ . Для всіх кільцевих мереж параметр  $r_{\text{надл}} = 1$ .

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

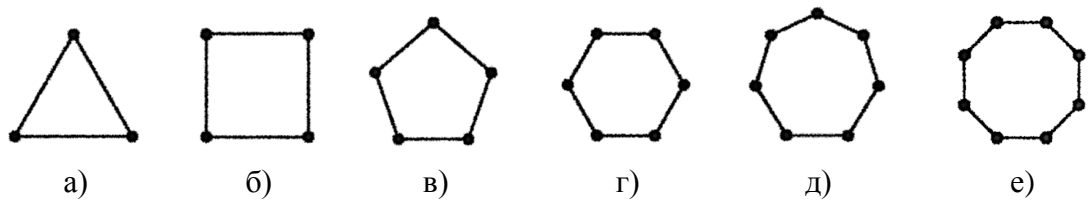


Рис. 2.3 — Кільцеві мережі різного розміру – від 3 до 8 вузлів

Формули для розрахунку многочлену збереження зв'язності кільцевих мереж наведені в формулах (2.9) – (2.14). Імовірність збереження гілки  $p$  вважається однаковою для усіх гілок.

$$P_{c(n=3)} = 3p^2 - 2p^3. \quad (2.9)$$

$$P_{c(n=4)} = 4p^3 - 3p^4. \quad (2.10)$$

$$P_{c(n=5)} = 5p^4 - 4p^5. \quad (2.11)$$

$$P_{c(n=6)} = 6p^5 - 5p^6. \quad (2.12)$$

$$P_{c(n=7)} = 7p^6 - 6p^7. \quad (2.13)$$

$$P_{c(n=8)} = 8p^7 - 7p^8. \quad (2.14)$$

Графічні залежності, побудовані за основи розрахунків за формулами (2.9) – (2.14), наведені на рис. 2.4.

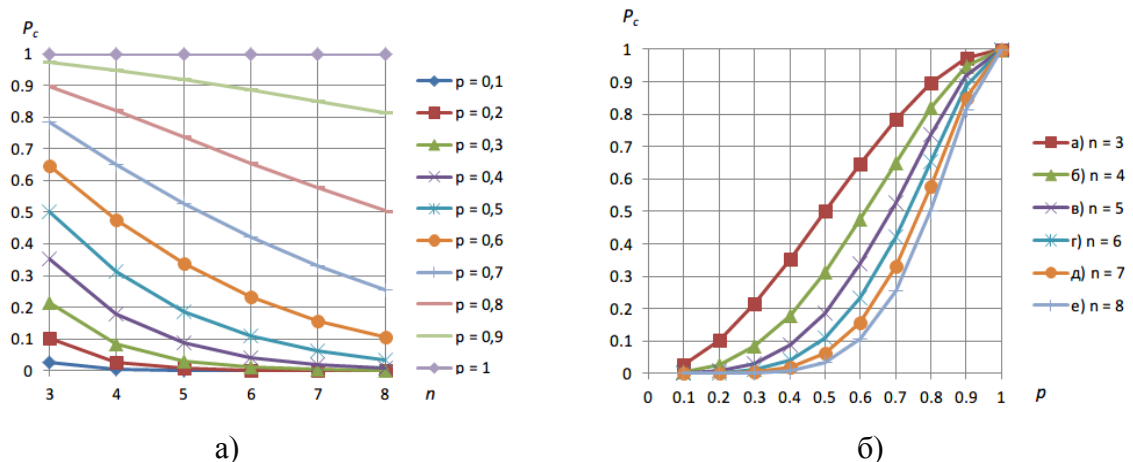


Рис. 2.4 — Графіки зміни ймовірності збереження зв'язності кільцевих мереж а) в залежності від кількості вузлів  $n$ ; б) в залежності від ймовірності збереження гілки  $p$

## 2.4.2 Дослідження зв'язності мереж з містковою структурою

Дослідимо за показником  $P_c$  зв'язність місткових мереж, утворених комірками (кільцями) різного розміру (рис. 2.5). При цьому  $r_{\text{надл}} = 2$ , а загальне  $n$  змінюється від 4 до 8.

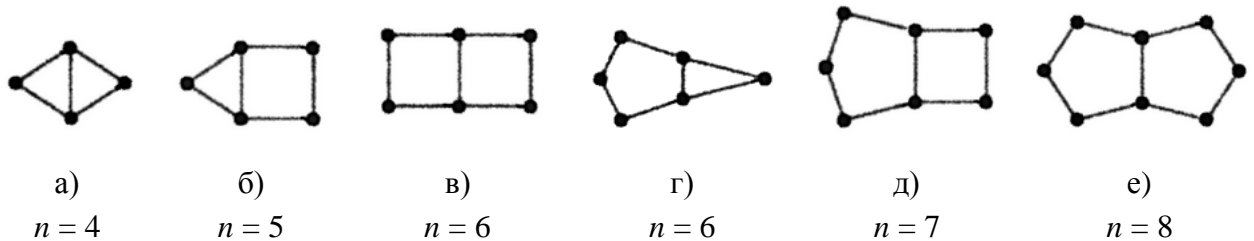


Рис. 2.5 — Місткові мережі, утворені з комірок розміром від 3 до 5 вузлів

Розрахункові формули для наведених місткових мереж у припущенні рівності параметра  $p$  для усіх гілок мережі:

$$P_{c(a)} = 8p^3 - 11p^4 + 4p^5. \quad (2.15)$$

$$P_{c(б)} = 11p^4 - 16p^5 + 6p^6. \quad (2.16)$$

$$P_{c(в)} = 15p^5 - 23p^6 + 9p^7. \quad (2.17)$$

$$P_{c(г)} = 14p^5 - 21p^6 + 8p^7. \quad (2.18)$$

$$P_{c(д)} = 19p^6 - 30p^7 + 12p^8. \quad (2.19)$$

$$P_{c(е)} = 24p^7 - 39p^8 + 16p^9. \quad (2.20)$$

Графічні залежності  $P_c$  від імовірності  $p$  збереження гілки, побудовані за основі розрахунків за формулами (2.15) – (2.20), наведені на рис. 2.6. Показник  $P_c$  очікувано зростає при збільшенні  $p$  і зменшується при збільшенні розміру комірок.

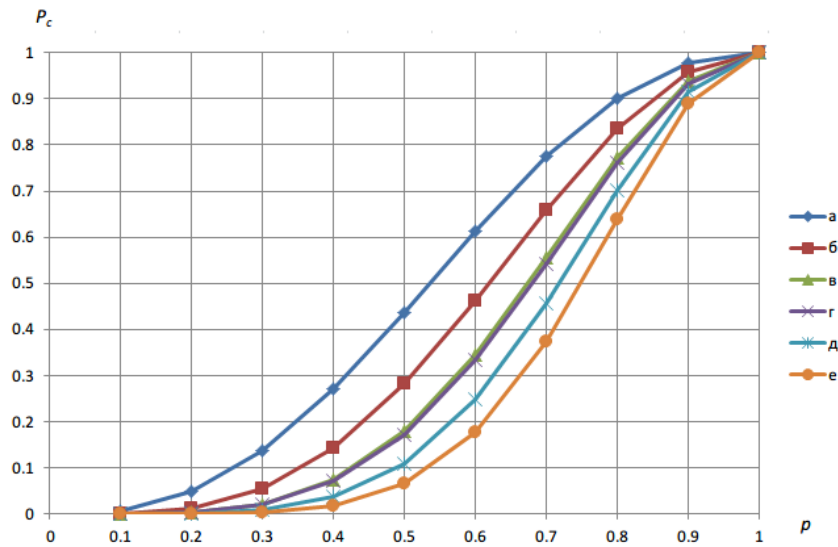


Рис. 2.6 — Графіки залежності  $P_c$  від  $p$  для місткових мереж різної структури з параметрами  $r_{\text{надл}} = 2, n = 4..8$

### 2.4.3 Дослідження зв'язності мереж типу «пісочний годинник»

Далі проаналізуємо за показником  $P_c$  зв'язність мереж типу «пісочний годинник», утворених кільцями різного розміру (рис. 2.7). При цьому  $r_{\text{надл}} = 2$ , а загальна кількість вузлів  $n$  варіюється в діапазоні від 5 до 9.

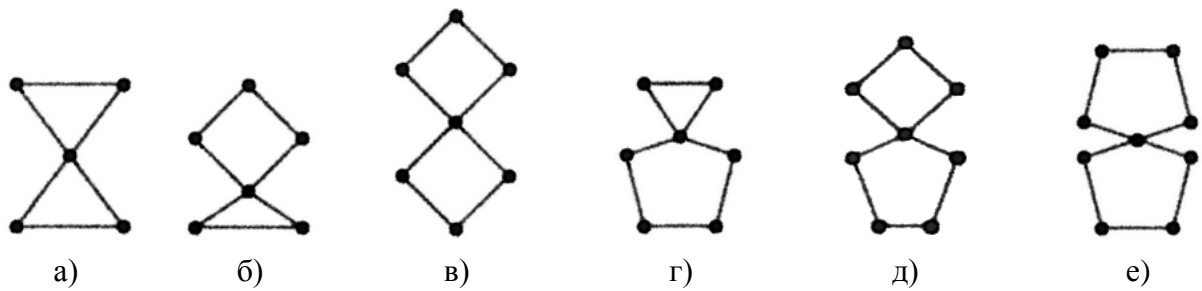


Рис. 2.7 — Мережі типу «пісочний годинник», утворені з комірок розміром від 3 до 5 вузлів

Розрахункові формули для наведених мереж типу «пісочний годинник» при рівних  $p$  для усіх гілок мережі:

$$P_{c(a)} = 9p^4 - 12p^5 + 4p^6. \quad (2.21)$$

$$P_{c(б)} = 12p^5 - 17p^6 + 6p^7. \quad (2.22)$$

$$P_{c(в)} = 16p^6 - 24p^7 + 9p^8. \quad (2.23)$$

$$P_{c(г)} = 15p^6 - 22p^7 + 8p^8. \quad (2.24)$$

$$P_{c(д)} = 20p^7 - 31p^8 + 12p^9. \quad (2.25)$$

$$P_{c(е)} = 25p^8 - 40p^9 + 16p^{10}. \quad (2.26)$$

Графічні залежності  $P_c$  від значення  $p$ , які відповідають формулам (2.21) – (2.26), наведені на рис. 2.8. Показник  $P_c$  аналогічно зростає при збільшенні  $p$ , а при збільшенні розміру комірок – зменшується.

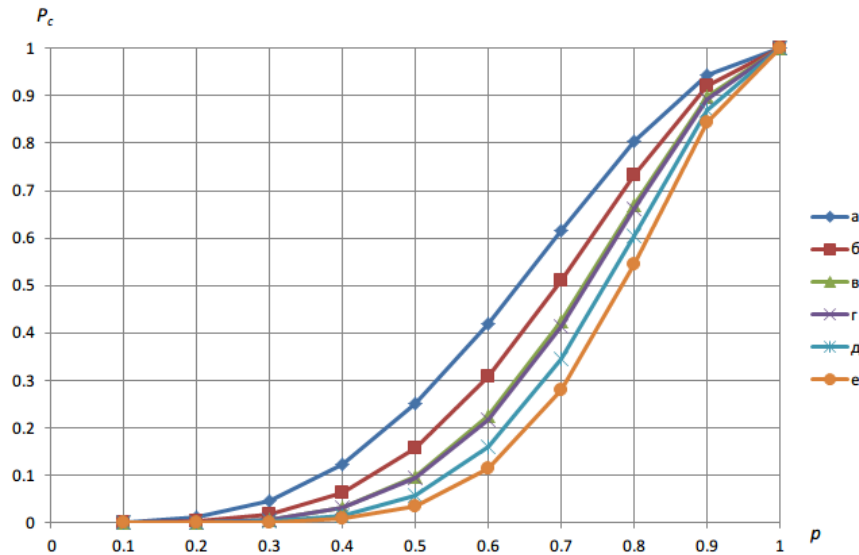


Рис. 2.8 — Графіки залежності  $P_c$  від  $p$  для мереж типу «пісочний годинник», утворених з комірок різного розміру

#### 2.4.4 Дослідження зв'язності мереж з трьома комірками

Далі проаналізуємо за показником  $P_c$  зв'язність декількох mesh-мереж різної конфігурації, утворених з трьох комірок різного розміру. Параметри цих мереж:  $n = 4..7$ ,  $r_{\text{надл}} = 3$  (рис. 2.9). Можна очікувати, що і в цьому випадку збільшення розміру комірок призведе до зменшення ймовірності збереження зв'язності мереж.

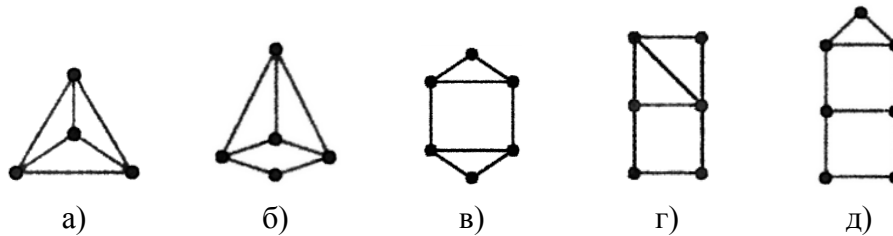


Рис. 2.9 — Mesh-мережі з параметром  $r_{\text{надл}} = 3$

Розрахункові формули для мереж, наведених на рис. 2.9, при рівних  $p$  для усіх гілок мережі:

$$P_{c(a)} = 16p^3 - 33p^4 + 24p^5 - 6p^6. \quad (2.27)$$

$$P_{c(б)} = 24p^4 - 52p^5 + 39p^6 - 10p^7. \quad (2.28)$$

$$P_{c(в)} = 30p^5 - 65p^6 + 48p^7 - 12p^8. \quad (2.29)$$

$$P_{c(г)} = 29p^5 - 63p^6 + 47p^7 - 12p^8. \quad (2.30)$$

$$P_{c(д)} = 41p^6 - 92p^7 + 70p^8 - 18p^9. \quad (2.31)$$

Графічні залежності  $P_c$  від значення  $p$ , які відповідають формулам (2.27) – (2.31), наведені на рис. 2.10.

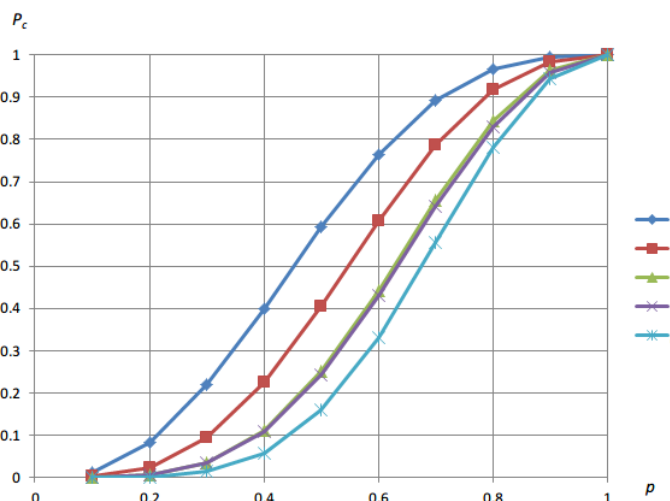


Рис. 2.10 — Графіки залежності  $P_c$  від  $p$  для mesh-мереж з трьома комірками ( $r_{\text{надл}} = 3, n = 4..7$ )

В даному випадку збільшення розміру комірок, з яких складається мережа, також призводить до зменшення ймовірності збереження зв'язності  $P_c$ , а підвищення надійності гілок – до її збільшення.

## 2.5 Оцінка впливу кількості надлишкових гілок на ймовірність збереження зв'язності

### 2.5.1 Дослідження зв'язності мереж з 5 вузлів

Розглянемо за показником  $P_c$  зв'язність мереж розміру  $n = 5$ , які мають різну кількість надлишкових гілок: від  $r_{\text{надл}} = 0$  до  $r_{\text{надл}} = 6$  (повнозв'язна мережа) (рис. 2.11). Параметр  $p$ , як і раніше, вважається однаковим для усіх гілок.

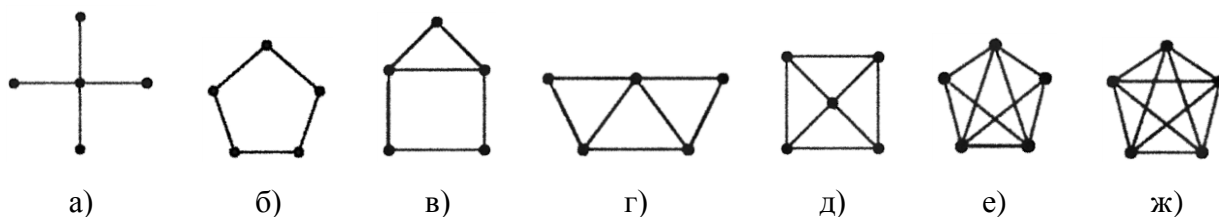


Рис. 2.11 – Мережі розміру  $n = 5$  з різною кількістю надлишкових гілок

а)  $r_{\text{надл}} = 0$ ; б)  $r_{\text{надл}} = 1$ ; в)  $r_{\text{надл}} = 2$ ; г)  $r_{\text{надл}} = 3$ ; д)  $r_{\text{надл}} = 4$ ; е)  $r_{\text{надл}} = 5$ ; ж)  $r_{\text{надл}} = 6$

Розрахункові формули мереж, зображених на рис. 2.11, наведені нижче:

$$P_c (r_{\text{надл}} = 0) = p^4. \quad (2.32)$$

$$P_c (r_{\text{надл}} = 1) = 5p^4 - 4p^5. \quad (2.33)$$

$$P_c (r_{\text{надл}} = 2) = 11p^4 - 16p^5 + 6p^6. \quad (2.34)$$

$$P_c (r_{\text{надл}} = 3) = 21p^4 - 44p^5 + 32p^6 - 8p^7. \quad (2.35)$$

$$P_c (r_{\text{надл}} = 4) = 45p^4 - 128p^5 + 142p^6 - 72p^7 + 14p^8. \quad (2.36)$$

$$P_c (r_{\text{надл}} = 5) = 75p^4 - 264p^5 + 388p^6 - 294p^7 + 114p^8 - 18p^9. \quad (2.37)$$

$$P_c (r_{\text{надл}} = 6) = 125p^4 - 528p^5 + 970p^6 - 980p^7 + 570p^8 - 180p^9 + 24p^{10}. \quad (2.38)$$

Графічні залежності зв'язності  $P_c$ , побудовані за основи розрахунків за формулами (2.32) – (2.38), представлені на рис. 2.12. Як можна бачити на рис. 2.12б, зі збільшенням кількості надлишкових гілок  $r_{\text{надл}}$  ймовірність збереження зв'язності  $P_c$  очікувано збільшується.

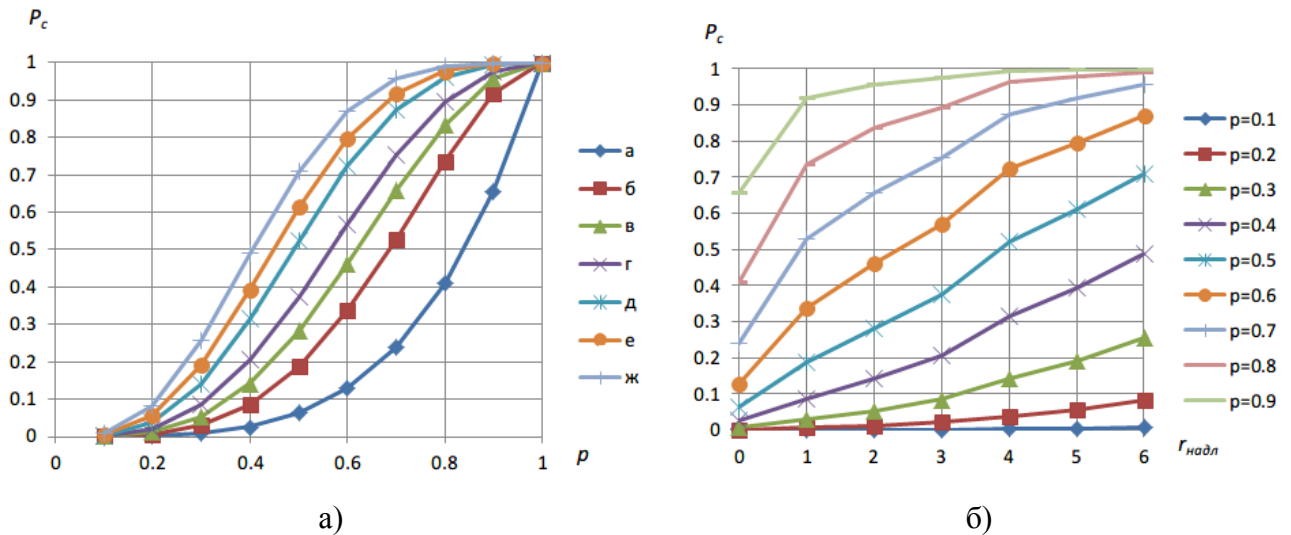


Рис. 2.12 — Графіки залежності ймовірності збереження зв'язності мереж розміру  $n = 5$  з різною кількістю надлишкових гілок  $r_{\text{надл}} = 0..6$

а) від імовірності вилучення гілок  $p$ ; б) від кількості надлишкових гілок  $r_{\text{надл}}$

### 2.5.2 Дослідження зв'язності мереж з 6 вузлів

Розглянемо тепер за показником  $P_c$  зв'язність мереж розміру  $n = 6$ , що мають різну кількість надлишкових гілок  $r_{\text{надл}}$ : від 4 до 7 (рис. 2.13). Гілки, як і раніше, мають однакову ймовірність вилучення ( $p = \text{const}$ ).

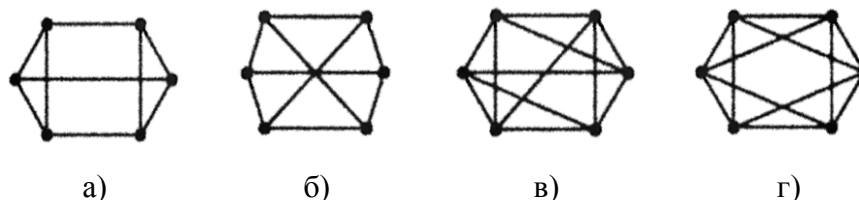


Рис. 2.13 — Мережі розміру  $n = 6$  з різною кількістю надлишкових гілок

а)  $r_{\text{надл}} = 4$ ; б)  $r_{\text{надл}} = 5$ ; в)  $r_{\text{надл}} = 6$ ; г)  $r_{\text{надл}} = 7$

Розрахункові формули для мереж, зображених на рис. 2.13, наведені нижче:

$$P_{c(a)} = 75p^5 - 223p^6 + 255p^7 - 132p^8 + 26p^9. \quad (2.39)$$

$$P_{c(б)} = 81p^5 - 246p^6 + 288p^7 - 153p^8 + 31p^9. \quad (2.40)$$

$$P_{c(в, г)} = 384p^5 - 1948p^6 + 4368p^7 - 5571p^8 + 4344p^9 - 2064p^{10} + 552p^{11} - 64p^{12}. \quad (2.41)$$

Графічні залежності зв'язності  $P_c$ , побудовані за основи розрахунків за формулами (2.39) – (2.41), наведені на рис. 2.14. Як і у попередньому дослідженні, зі збільшенням кількості надлишкових гілок  $r_{\text{надл}}$  ймовірність збереження зв'язності  $P_c$  збільшується.

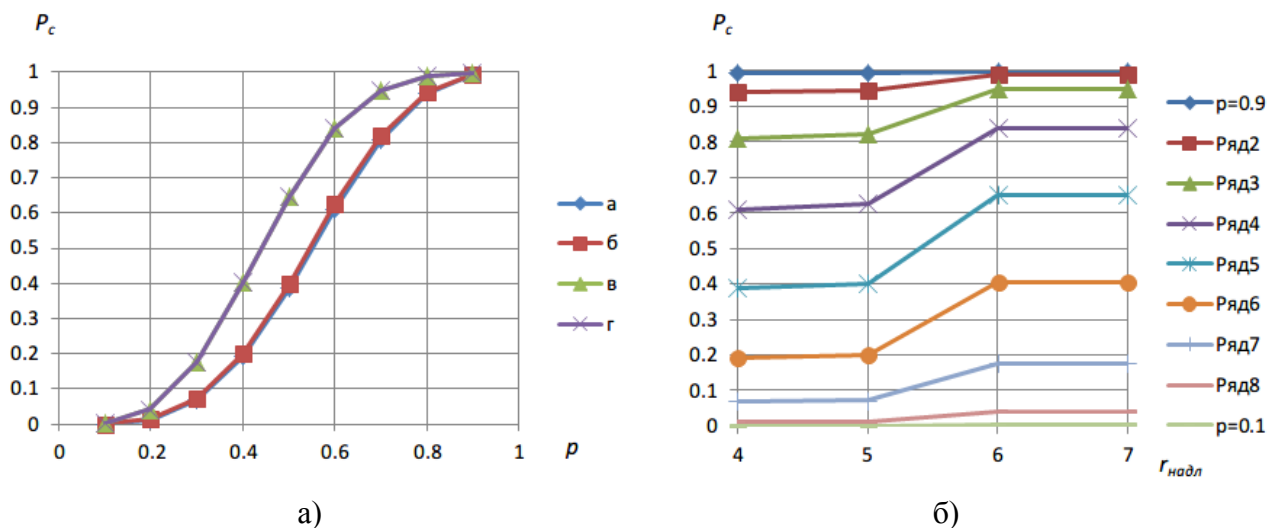


Рис. 2.14 — Графіки залежності ймовірності зв'язності мереж розміру  $n = 6$  з різною кількістю надлишкових гілок  $r_{\text{надл}} = 4..7$

а) від ймовірності вилучення гілок  $p$ ; б) від кількості надлишкових гілок  $r_{\text{надл}}$

## 2.6 Постановка завдання на розробку програмного застосунку

У першому розділі та підрозділах 2.1–2.5 були представлені детерміновані моделі типових структур лінія, зірка, кільце та низки мережевих структур mesh-топології як при вилученні гілок, так і при загибелі вузлів.

Однак, взагалі мережевих структур, зокрема – mesh-мереж, значно більше. Для великих структур аналітична побудова їх моделей вручну дуже ускладнюється. Розробка відповідних алгоритмів та програмних засобів могли б значно спростити аналіз таких структур.

Далі описані початкові положення, на основі яких здійснена програмна підтримка дослідження зв'язності mesh-мереж.

Мережа формалізована графом, що містить  $n$  вузлів та  $r$  гілок. Якщо мережа деревоподібна, то  $r = n - 1$ . У mesh-мережі число гілок більше на кількість комірок. Якщо  $r > m - 1$ , де  $m$  – це кількість уражених гілок або вузлів, то вважаємо, що мережа має надмірні гілки в порівнянні з деревом.

Вузли мережі є повнодоступними як для вихідних, так і для вхідних потоків. Вузли і гілки можуть знаходитися лише у двох станах: працездатному (функціонують, присутні) або непрацездатному (відсутні). Загибель вузла означає одночасно вилучення (розрив) суміжних із ним гілок, і навпаки: вилучення гілок, інцидентних вузлу, означає його загибель. Після вилучення однієї і більше гілок, загибелі одного або декількох вузлів ( $0 < m < n, r$ ) частини, що залишилися, продовжують діяти, якщо хоча б два вузли в ній з'єднані гілкою. При цьому технічно кожен з пари вузлів, що вижили, повинен мати незалежне живлення та управління. Кількість зв'язаних частин, на які розпадається мережа після пошкодження, залежить від кількості уражених гілок або вузлів, від варіанта їх розміщення, від виду та розміру мережі. Так, якщо в зіркоподібній мережі після атаки гине центр, то розриваються суміжні (інцидентні) з ним гілки, периферійні вузли виявляються відрізаними (наодинці), відповідно, гине вся мережа цілком.

Необхідно розробити програму, яка відповідатиме таким функціональним вимогам:

- графічне введення мереж;
- складання незведених рівнянь зв'язності;
- приведення рівнянь зв'язності до  $p$ ;
- розрахунок ймовірностей зв'язності та виведення їх у таблицю;

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- побудова графічних залежностей;
- формування звіту за результатами дослідження.

## 2.7 Опис алгоритмів програми

Загальний алгоритм роботи програмного застосунку при його типовому використанні показаний на рис. 2.15.

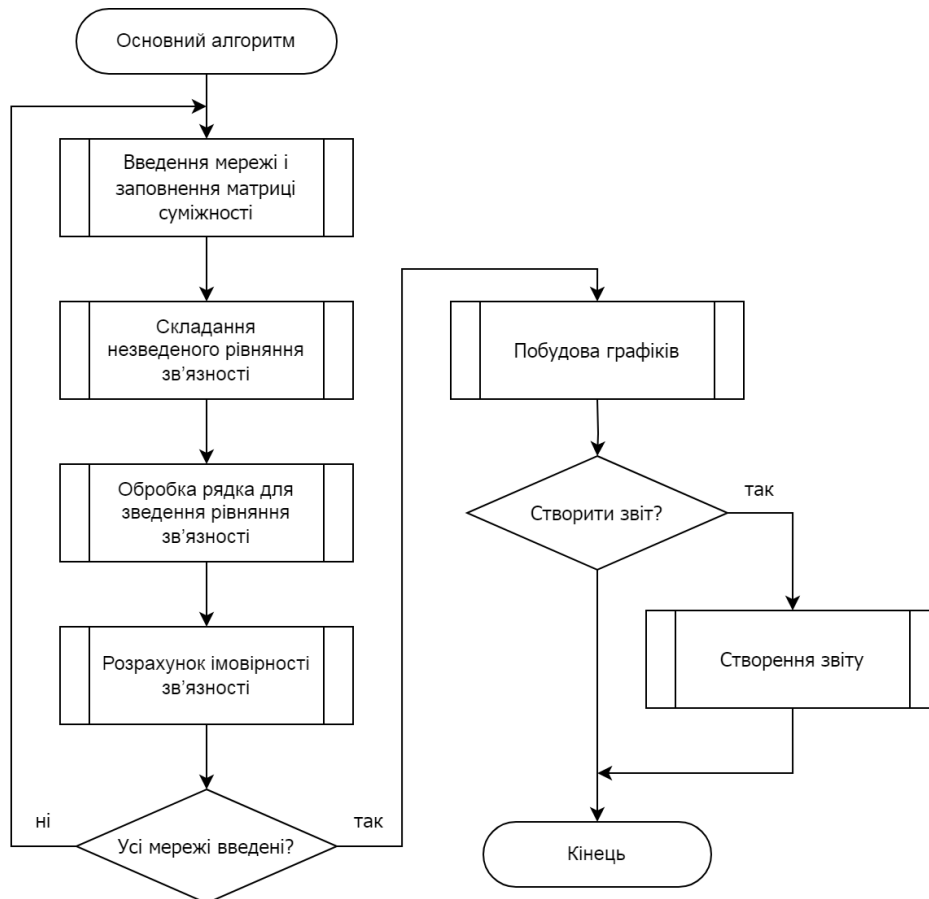


Рис. 2.15 — Основний алгоритм роботи програмного застосунку

Послідовність етапів загального алгоритму визначається діями (командами) користувача.

Блок-схема алгоритму формування користувачем структури мережі для подальшого аналізу наведена на рис. 2.16.

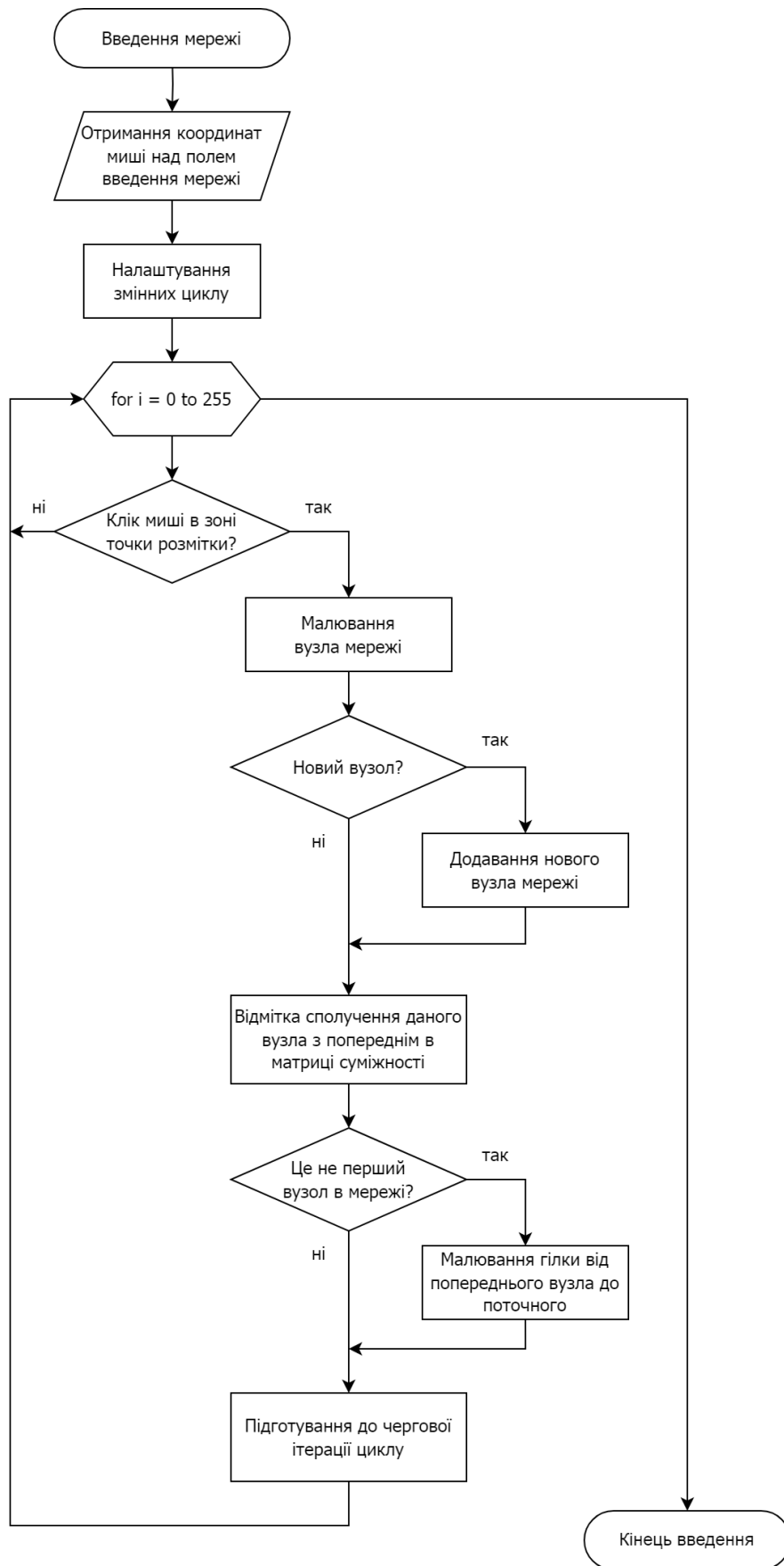


Рис. 2.16 – Алгоритм введення мережі користувачем

Блок-схема алгоритму складання незведеного рівняння многочлену зв'язності мережі наведена на рис. 2.17.

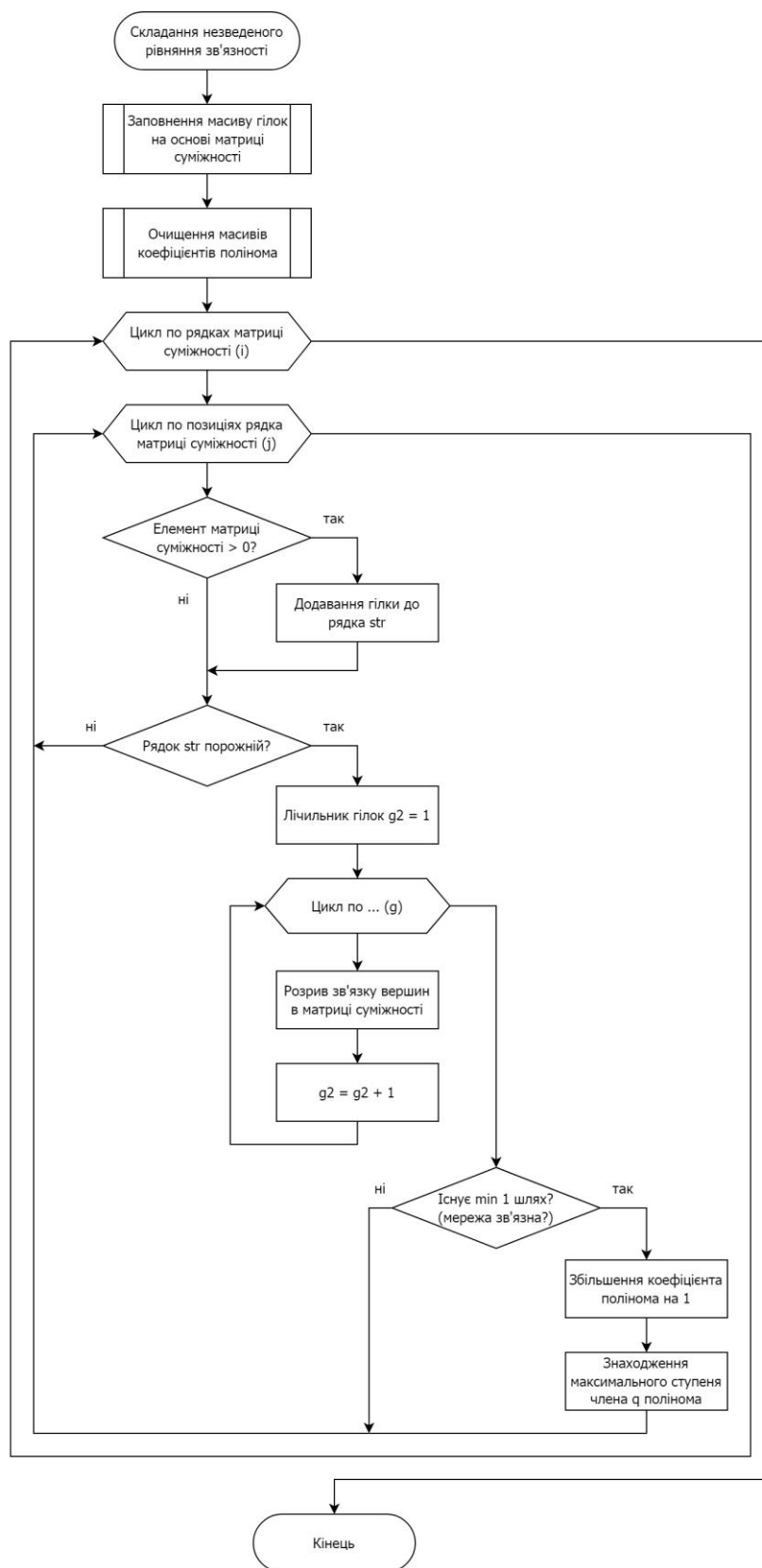


Рис. 2.17 – Алгоритм складання незведеного рівняння зв'язності мережі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.KI.1.415-03.3.3

Арк.

41

Блок-схема алгоритму зведення коефіцієнтів многочлену зв'язності мережі наведена на рис. 2.18.

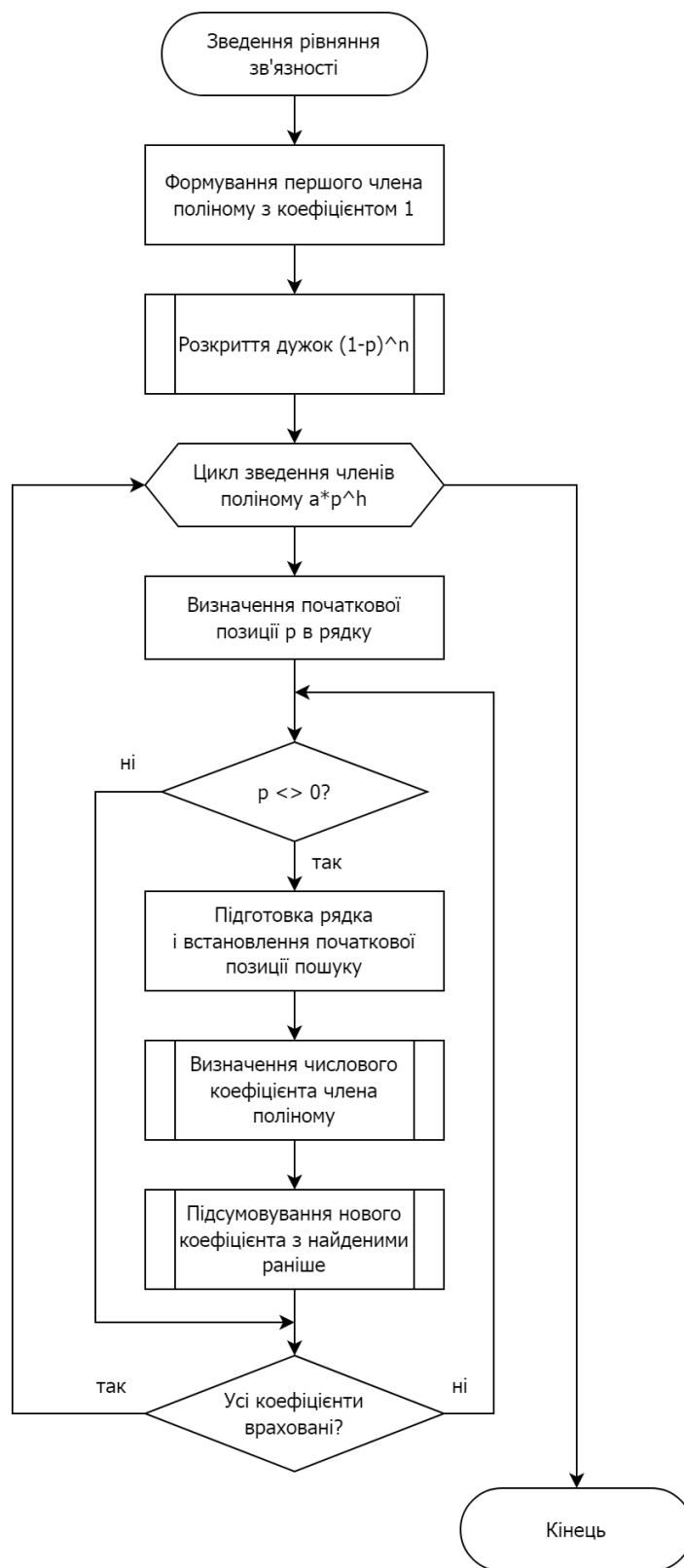


Рис. 2.18 – Алгоритм зведення коефіцієнтів рівняння зв'язності

Блок-схема алгоритму функції знаходження та збирання фрагментів мережі наведена на рис. 2.19.

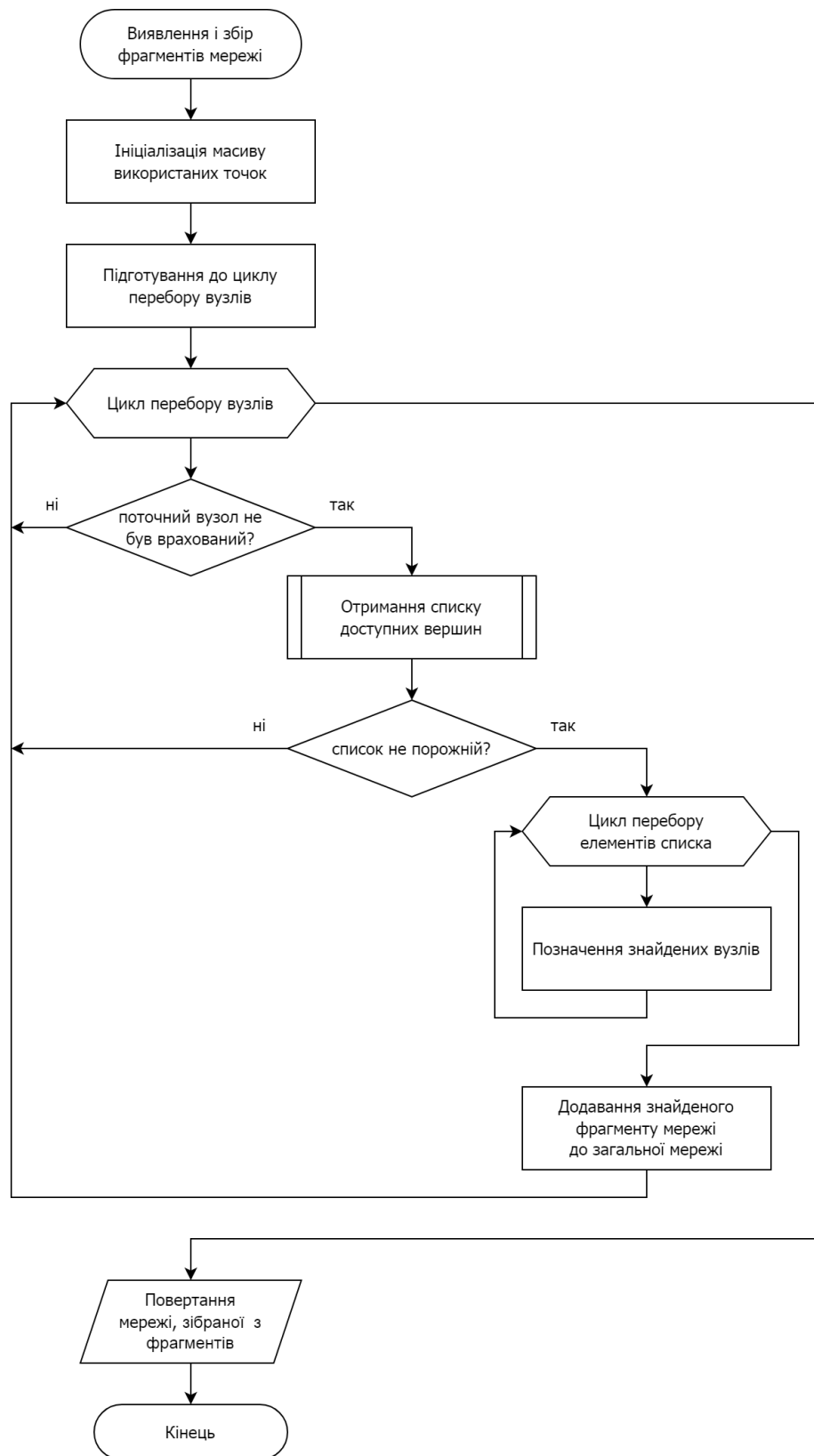


Рис. 2.19 – Алгоритм знаходження та збирання фрагментів мережі

Блок-схема алгоритму процедури пошуку і отримання списку вузлів, доступних із заданого вузла, наведена на рис. 2.20.

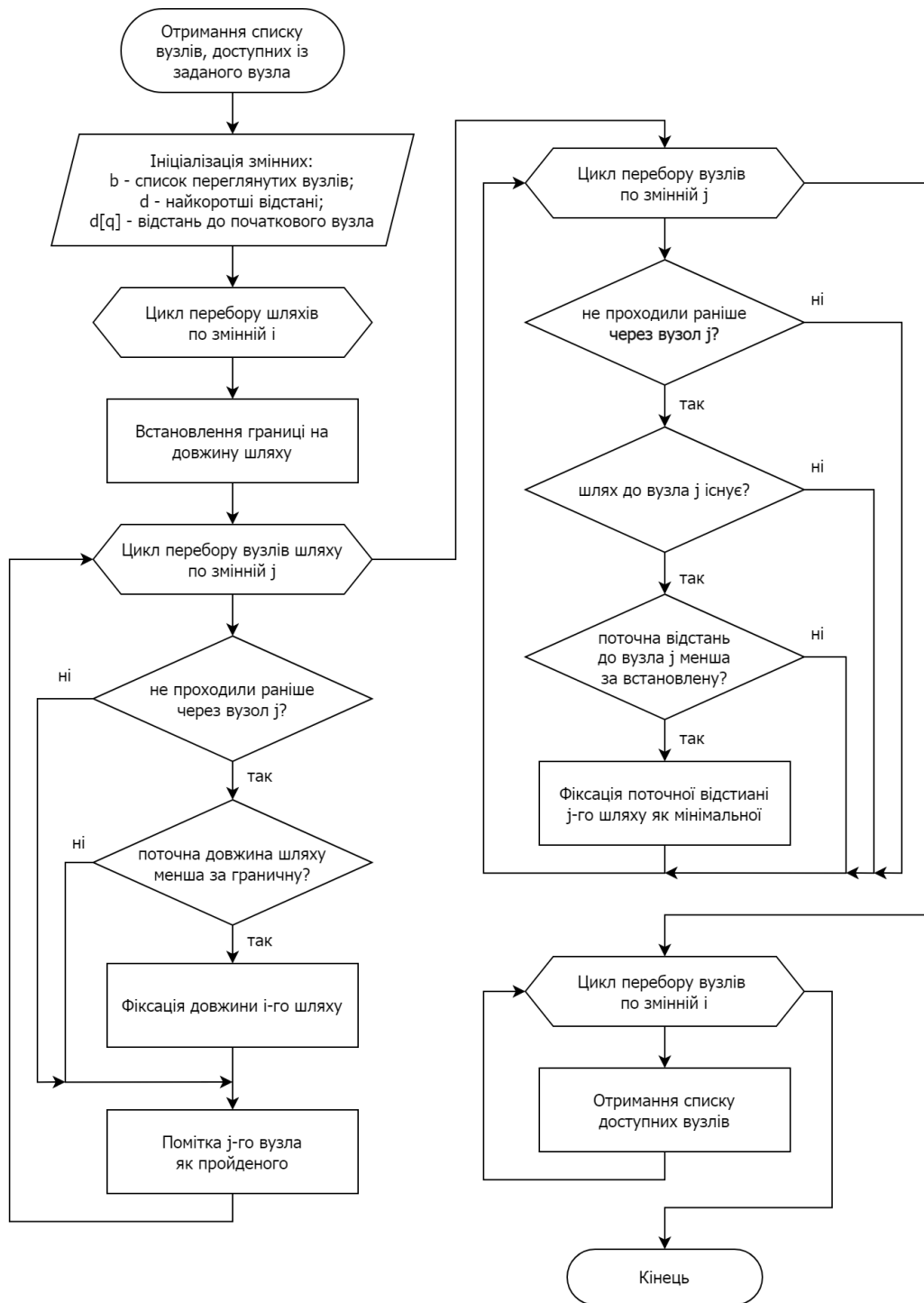


Рис. 2.20 — Алгоритм отримання списку доступних вузлів

Програмний код, що реалізує алгоритми, представлені на рисунках 2.15–2.20, наведений у додатку Б.

## Висновки до другого розділу

В даному розділі була здійснена постановка дослідження і описана його математична модель.

Зроблений аналіз зв'язності низки мережевих структур дозволив зробити такі висновки:

1. У мережі з постійним числом надлишкових гілок збільшення розміру комірок ( $i$ , відповідно, розміру мережі) призводить до зменшення ймовірності збереження зв'язності. Максимальне значення  $P_c$  для мережі дає комірка у три вузли.

2. Підвищення зв'язності (а також структурної надійності і живучості) мережі постійного розміру прокладанням додаткових надлишкових гілок у кількості від нуля до  $\frac{(n-1)(n-2)}{2}$  для повнозв'язної мережі призводить до збільшення ймовірності збереження зв'язності.

Слід відзначити обмеження щодо використаного показника зв'язності  $P_c$ . При загибелі навіть одного з вузлів  $P_c$  для даної мережі дорівнює нулю, що не відповідає сутності зв'язності мережі при практичній експлуатації. Так само,  $P_c = 0$  при розпаді мережі на фрагменти, які продовжують функціонувати, якщо їх розмір має два вузли або більше. Нарешті, показник  $P_c$  не показує, де і на скільки підвищується навантаження на гілки, що залишилися після видалення надлишкових гілок.

Представлена в роботі постановка завдання на розробку комп'ютерного застосунку і розроблені алгоритми створюють проектну основу для програмної реалізації застосунку і його подальшого використання для реалізації мети роботи.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

## РОЗДІЛ 3

# РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗВ'ЯЗНОСТІ MESH-МЕРЕЖ. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАГИБЕЛІ І ЗВ'ЯЗНОСТІ MESH-МЕРЕЖ

### 3.1 Вибір засобів реалізації програми

В якості інструменту реалізації програмного застосунку для моделювання і розрахунку зв'язності mesh-мереж було обрано середовище програмування Lazarus IDE. Lazarus IDE є потужним та ефективним інструментом для програмування на мові програмування Object Pascal. Нижче показані ключові переваги Lazarus.

1. Кросплатформність. Lazarus IDE є кросплатформним середовищем, що дозволяє розробляти програми, які можуть працювати в різних операційних системах, таких як Windows, Linux та macOS. Це забезпечує гнучкість у розгортанні та використанні програми на різних платформах.

2. Безкоштовність та відкритий код. Lazarus є вільним програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом. Це робить його доступним для широкого кола розробників та забезпечує наявність активної спільноти, що, в свою чергу, може значно полегшити розвиток та підтримку створеного застосунку, а також вирішення робочих проблем, що виникають при програмуванні.

3. Актуальність. Однією з важливих переваг Lazarus IDE є те, що ця програма продовжує активно розвиватися та підтримуватися спільнотою розробників. Регулярні випуски нових версій та оновлень свідчать про постійну увагу до її вдосконалення та вирішення можливих проблем. Це дозволяє забезпечити користувачів сучасними технологіями та інструментами, а також забезпечити сумісність з новими версіями операційних систем та змінами в інших технічних стандартах.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4. Компіляція в ефективний машинний код. Lazarus використовує компілятор Free Pascal, який забезпечує високу ефективність генерації машинного коду та швидкодію самої компіляції. Це досить важливо для застосунків, які вимагають обчислювальної потужності, таких, зокрема, як дана програма моделювання і розрахунку зв'язності мереж.

5. Структурованість проекту і програмного коду. Мова програмування Object Pascal, яку використовує Lazarus, підтримує комбіновану об'єктно- і структурно-орієнтовану парадигму. Це сприяє структуруванню та організації коду, що є важливим для розробки та обслуговування складних програм.

6. Розвинена бібліотека компонентів. Lazarus має широкий вибір готових компонентів, які спрощують розробку графічного інтерфейсу та взаємодії з користувачем. Це дозволяє швидко та ефективно реалізовувати потрібні функції, такі як побудова графіків, таблиць, формування звітів і, взагалі, втілювати розвинений графічний інтерфейс користувача.

Таким чином, обране середовище програмної розробки Lazarus IDE – це зручний та потужний інструмент для реалізації програми дослідження зв'язності mesh-мереж, який забезпечує широкий функціонал, ефективність та можливість подальшого масштабування проекту.

### 3.2 Опис призначення основних програмних змінних

Для моделювання мережі і реалізації необхідних функцій в програмі введені низка змінних:

- *kord* – одномірний масив типу *Point* розмірністю 255 елементів, що містить координати точок можливого розташування вузлів мережі;
- *smez* – двовимірний динамічний масив типу *Integer*, що містить еталонну матрицю суміжності досліджуваної мережі;
- *smez3* – двовимірний динамічний масив, що дублює еталонний масив

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- mez* і служить для дослідження зв'язності мережі при розриві *n* гілок;
- *versh* – одновимірний масив типу *Point* розмірністю 40 елементів, що містить координати вузлів відносно меж поля, відведеного для їх малювання;
- *form* – одновимірний масив рядкового типу, що містить теоретичні залежності для досліджуваної мережі;
- *dug* – одновимірний динамічний масив, що містить усі існуючі в мережі гілки у форматі “0102”, де перші дві цифри – номер першого вузла гілки, а останні дві – номер другого вузла гілки;
- *nversh* – змінна чисельного типу, що містить кількість вузлів мережі;
- *ndug* – змінна чисельного типу, що містить кількість гілок мережі.

### 3.3 Інтерфейс користувача

Зовнішній вигляд вікна розробленої програми представлений на рис. 3.1.

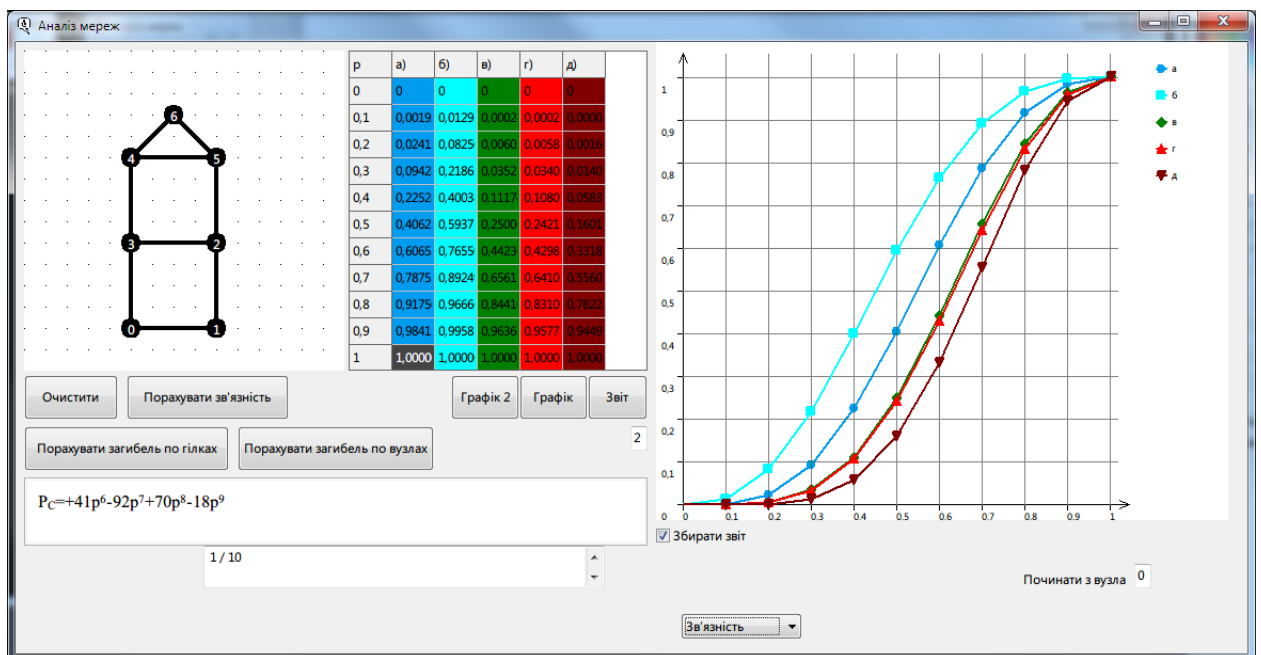


Рис. 3.1 — Зовнішній вигляд вікна програми для аналізу зв'язності мереж

Графічний інтерфейс користувача побудований з використанням стандартних компонентів з бібліотеки візуальних компонентів Lazarus, основними з яких є:

- *TForm* – головне вікно програми;
- *TImage* – область для введення аналізованої мережі і область для графіків;
- *TStringGrid* – таблиця з результатами розрахунків зв'язності по показнику  $P_c$ ;
- *TPrHtmlPanel* – поле для виведення многочлену зв'язності за результатами аналізу;
- *TMemo* – поле для виведення HTML-звіту;
- *TButton* – кнопки;
- *TComboBox* – випадний список з вибором типу розрахунків;
- *TPopupMenu* – контекстне меню по кліку правої кнопки миші;
- *TLabel* – текстові написи.

### 3.4 Дослідження процесу загибелі мереж внаслідок атаки на вузли та гілки

В даному підрозділі наведені результати досліджень цілісності мережевих структур, розглянутих в розділах 1 і 2, після атаки на вузли та гілки. Для цього проаналізовані залежності показника ураження мереж  $d(S_p)$  від кількості вузлів або гілок, які вилучаються з них.

#### 3.4.1 Процес загибелі кільцевих структур

Кільцеві мережеві структури, які аналізуються в даному підрозділі, показані на рис. 2.3 (підрозділ 2.4.1) – для усіх них параметр  $r_{\text{надл}} = 1$ . Проаналізуємо тепер процес загибелі цих мережних структур під час атаки на вузли і гілки.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

В таблицях 3.1 і 3.2 наведені значення ступеня ураження мереж  $d(S_p)$  для різних значень кількості вузлів або гілок (відповідно), які вилучаються з мережі внаслідок атаки.

Таблиця 3.1

Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережевих структур з кільцевою топологією при атаці на вузли

Кількість вилучених вузлів	а) $n = 3$	б) $n = 4$	в) $n = 5$	г) $n = 6$	д) $n = 7$	е) $n = 8$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,333	0,250	0,200	0,167	0,143	0,125
2	1,000	0,667	0,500	0,400	0,333	0,286
3		1,000	0,800	0,650	0,543	0,464
4			1,000	0,867	0,743	0,643
5				1,000	0,905	0,804
6					1,000	0,929
7						1,000

Таблиця 3.2

Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережевих структур з кільцевою топологією при атаці на гілки

Кількість вилучених гілок	а) $n = 3$	б) $n = 4$	в) $n = 5$	г) $n = 6$	д) $n = 7$	е) $n = 8$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,333	0,167	0,100	0,067	0,048	0,036
3	1,000	0,500	0,300	0,200	0,143	0,107
4		1,000	0,600	0,400	0,286	0,214
5			1,000	0,667	0,476	0,357
6				1,000	0,714	0,536
7					1,000	0,750
8						1,000

На рисунку 3.2 показані відповідні графічні залежності, отримані безпосередньо в розробленій програмі. Видно, що ступінь ураження слабо залежить від розміру кілець.

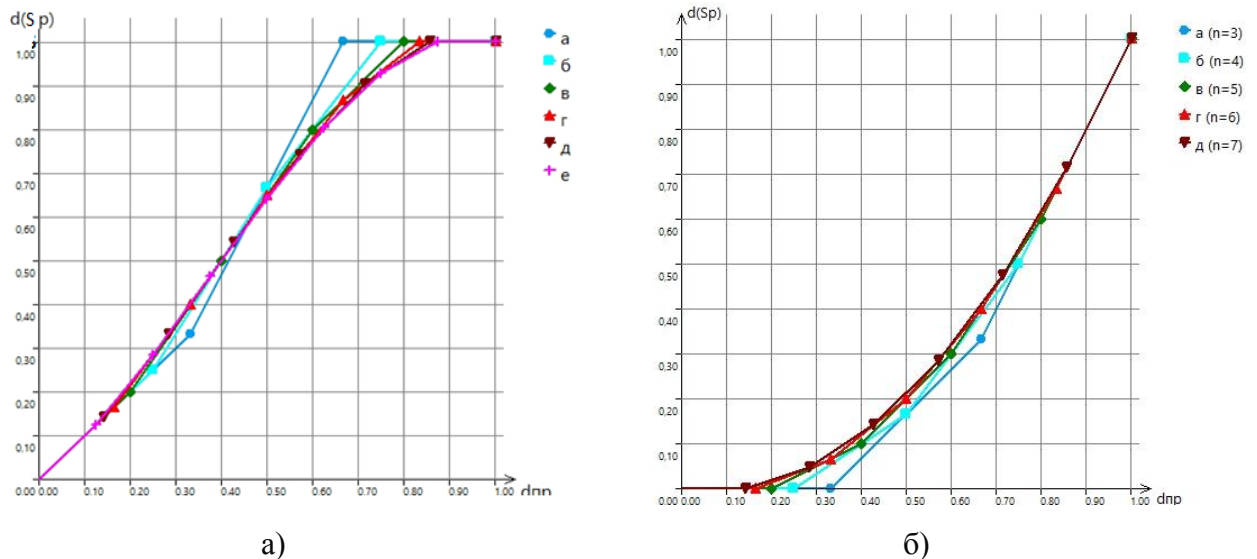


Рис. 3.2 — Графічні залежності ступеня ураження в кільцевих мережах різного розміру  
 а) при атаці на вузли; б) при атаці на гілки

### 3.4.1 Процес загибелі місткових структур

Місткові мережеві структури, які аналізуються далі, показані на рис. 2.5 (підрозділ 2.4.2) і характеризуються параметрами  $r_{\text{надл}} = 2$ ,  $n = \text{var}$ .

В таблицях 3.3 і 3.4 містяться розраховані значення ступеня ураження мереж  $d(S_p)$  для різних значень кількості вузлів або гілок (відповідно), що вилучаються з них.

Таблиця 3.3

Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережевих структур з містковою топологією  
 при атаці на вузли

Кількість вилучених вузлів	а) $n = 4$	б) $n = 5$	в) $n = 6$	г) $n = 6$	д) $n = 7$	е) $n = 8$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,250	0,200	0,167	0,167	0,143	0,125
2	0,583	0,460	0,378	0,378	0,320	0,277
3	1,000	0,760	0,617	0,617	0,518	0,446
4	1,000	1,000	0,844	0,844	0,718	0,621
5		1,000	1,000	1,000	0,891	0,786
6			1,000	1,000	1,000	0,920
7					1,000	1,000

Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережових структур з містковою топологією  
при атаці на гілки

Кількість вилучених гілок	а) $n = 4$	б) $n = 5$	в) $n = 6$	г) $n = 6$	д) $n = 7$	е) $n = 8$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,050	0,040	0,032	0,032	0,026	0,021
3	0,200	0,140	0,105	0,105	0,082	0,065
4	0,500	0,320	0,229	0,229	0,173	0,137
5	1,000	0,600	0,413	0,413	0,306	0,238
6		1,000	0,667	0,667	0,485	0,372
7			1,000	1,000	0,714	0,542
8					1,000	0,750
9						1,000

На рисунку 3.3 показані відповідні графічні залежності, отримані в розробленій програмі. І тут, і з рис. 3.2 видно, що ступінь ураження зростає майже лінійно при атаці на вузли і нелінійно – при атаці на гілки. Проте, розмір комірок майже не впливає на характер цих залежностей.

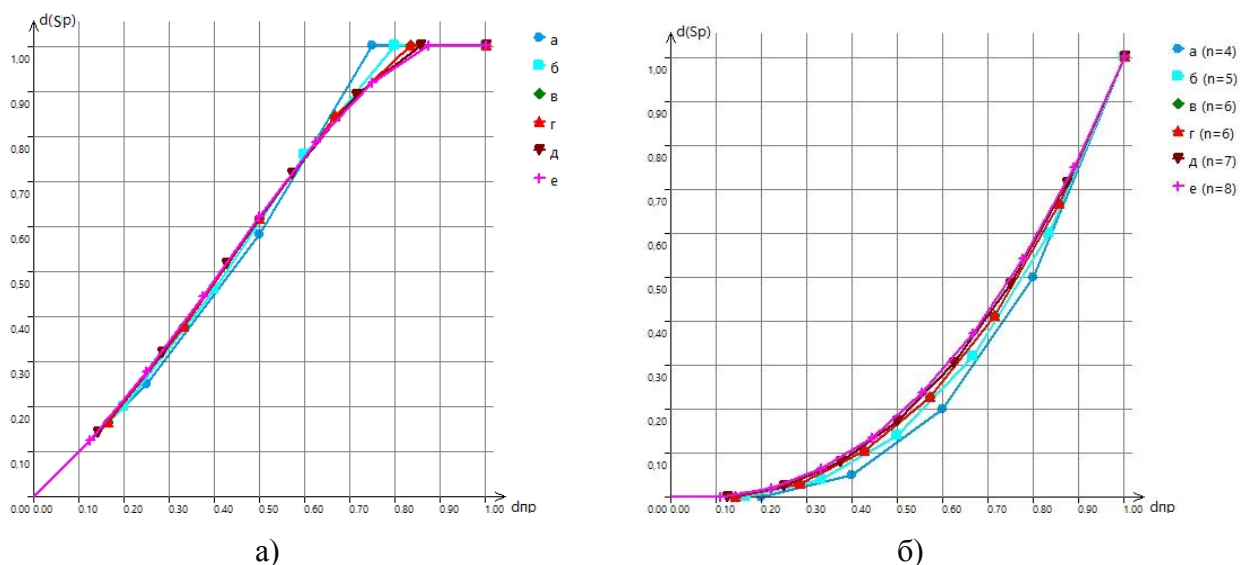


Рис. 3.3 — Графічні залежності ступеня ураження місткових мереж  
різного розміру і конфігурації

а) при атаці на вузли;

б) при атаці на гілки

### 3.4.2 Процес загибелі мережевих структур «пісочний годинник»

Проаналізуємо тепер процес загибелі мережевих структур типу «пісочний годинник» (вони показані на рис. 2.7, підрозділ 2.4.3).

В таблицях 3.5 і 3.6 містяться отримані значення ступеня ураження  $d(S_p)$  мереж для різних значень кількості вузлів, що вилучаються з них.

Таблиця 3.5

Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережевих структур типу «пісочний годинник» при атаці на вузли

Кількість вилучених вузлів	а) $n = 5$	б) $n = 6$	в) $n = 7$	г) $n = 8$	д) $n = 9$	е) $n = 7$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,200	0,167	0,143	0,125	0,111	0,143
2	0,480	0,389	0,327	0,281	0,247	0,327
3	0,760	0,625	0,527	0,453	0,397	0,527
4	1,000	0,844	0,722	0,627	0,551	0,722
5	1,000	1,000	0,891	0,788	0,700	0,891
6		1,000	1,000	0,920	0,833	1,000
7			1,000	1,000	0,938	1,000
8				1,000	1,000	
9					1,000	

Таблиця 3.6

Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережевих структур типу «пісочний годинник» при атаці на гілки

Кількість вилучених гілок	а) $n = 5$	б) $n = 6$	в) $n = 7$	г) $n = 8$	д) $n = 9$	е) $n = 7$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,053	0,040	0,031	0,024	0,020	0,031
3	0,160	0,119	0,092	0,073	0,059	0,092
4	0,333	0,243	0,186	0,147	0,119	0,186
5	0,600	0,421	0,316	0,248	0,200	0,316
6	1,000	0,667	0,490	0,379	0,304	0,490
7		1,000	0,714	0,545	0,433	0,714
8			1,000	0,750	0,590	1,000
9				1,000	0,778	
10					1,000	

На рисунку 3.4 показані відповідні графічні залежності, отримані в розробленій програмі. В даному випадку конфігурація комірок ще слабше впливає на характер зміни ступеня ураження мережі як при атаці на вузли, так і при атаці на гілки.

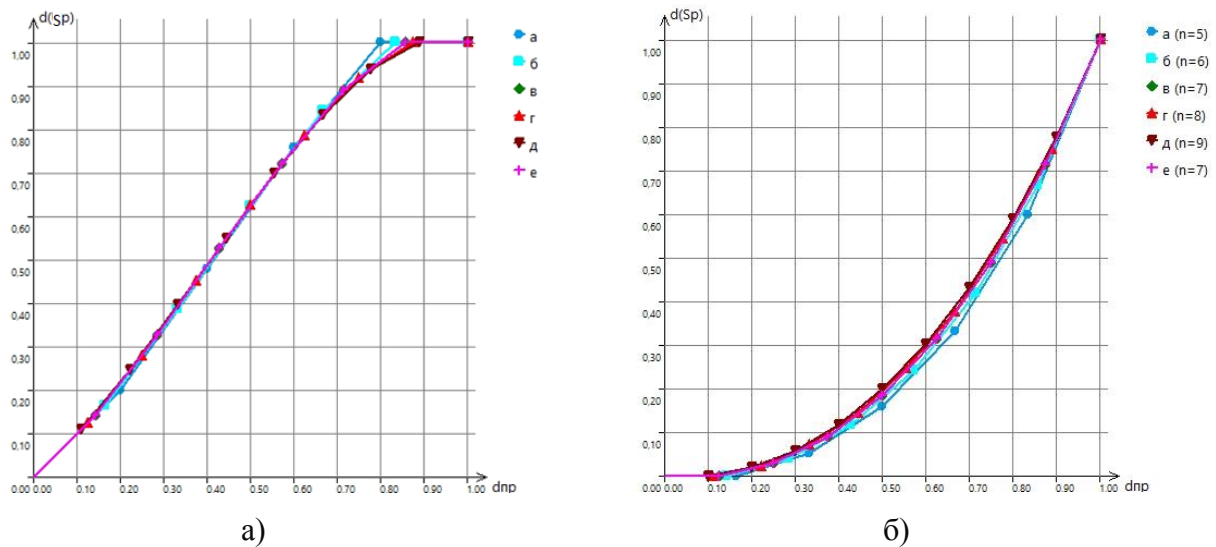


Рис. 3.4 — Графічні залежності ступеня ураження мереж типу «пісочний годинник» різного розміру і конфігурації  
а) при атаці на вузли; б) при атаці на гілки

### 3.4.3 Процес загибелі мереж з трьома комірками

Далі аналізуються показані на рис. 2.9 мережеві структури з трьома комірками (див. 2.4.4).

В таблицях 3.7 і 3.8 наведені отримані значення ступеня ураження мереж  $d(S_p)$  для різної кількості вузлів або гілок, що гинуть.

На рисунку 3.5 показані відповідні графічні залежності, отримані за допомогою розробленої програми. Як і у попередніх дослідженнях процесу загибелі коміркових мережевих структур, в даному випадку також незначна зміна розміру комірок слабо впливає на характер зміни ступеня ураження мережі при зміні кількості загиблих вузлів або гілок. Проте, зі збільшенням розміру комірок ступінь ураження також дещо збільшується.

Таблиця 3.7

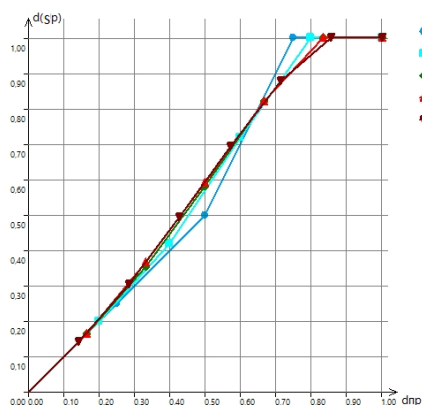
Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережевих структур з трьома комірками  
при атаці на вузли

Кількість вилучених вузлів	а) $n = 4$	б) $n = 5$	в) $n = 6$	г) $n = 6$	д) $n = 7$
0	0	0	0	0	0
1	0,250	0,200	0,167	0,167	0,143
2	0,500	0,420	0,356	0,367	0,306
3	1,000	0,720	0,583	0,592	0,494
4	1,000	1,000	0,822	0,822	0,694
5		1,000	1,000	1,000	0,878
6			1,000	1,000	1,000
7					1,000

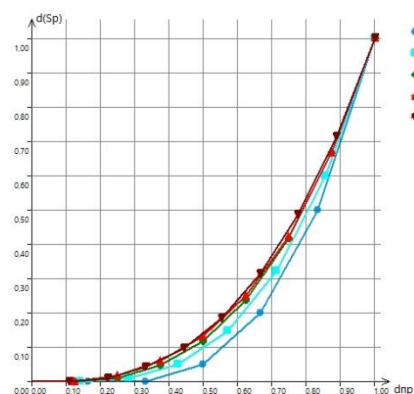
Таблиця 3.8

Ступінь ураження  $d(S_p)$  мережевих структур з трьома комірками  
при атаці на гілки

Кількість вилучених гілок	а) $n = 4$	б) $n = 5$	в) $n = 6$	г) $n = 6$	д) $n = 7$
0	0	0	0	0	0
1	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,400	0,100	0,040	0,019	0,000
3	0,600	0,300	0,140	0,069	0,014
4	1,000	0,600	0,320	0,166	0,060
5	0	1,000	0,600	0,333	0,157
6	0	0	1,000	0,600	0,329
7	0	0	0	1,000	0,600
8	0	0	0	0	1,000



а)



б)

Рис. 3.5 — Графічні залежності ступеня ураження мереж з трьома комірками

а) при атаці на вузли; б) при атаці на гілки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КРМ.КІ.1.415-03.3.3

Арк.

55

### 3.4.4 Процес загибелі мереж з 5 вузлів

В цьому підрозділі аналізуються процес загибелі мережевих структур з 5 вузлів, показаних на рис. 2.11 (див. підрозділ 2.5.1).

В таблицях 3.9 і 3.10 наведені отримані значення показника ураження мережі  $d(S_p)$  для різних значень кількості вузлів або гілок, що гинуть в мережі внаслідок атаки.

Таблиця 3.9

Показник ураження  $d(S_p)$  мережевих структур з 5 вузлів при атаці на вузли

Кількість вилучених вузлів	а) $r_{\text{надл}} = 0$	б) $r_{\text{надл}} = 1$	в) $r_{\text{надл}} = 2$	г) $r_{\text{надл}} = 3$	д) $r_{\text{надл}} = 4$	е) $r_{\text{надл}} = 5$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,360	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
2	0,640	0,500	0,460	0,440	0,400	0,400
3	0,840	0,800	0,760	0,720	0,680	0,640
4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Таблиця 3.10

Показник ураження  $d(S_p)$  мережевих структур з 5 вузлів при атаці на гілки

Кількість вилучених гілок	а) $r_{\text{надл}} = 0$	б) $r_{\text{надл}} = 1$	в) $r_{\text{надл}} = 2$	г) $r_{\text{надл}} = 3$	д) $r_{\text{надл}} = 4$	е) $r_{\text{надл}} = 5$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,400	0,100	0,040	0,019	0,000	0,000
3	0,600	0,300	0,140	0,069	0,014	0,005
4	1,000	0,600	0,320	0,166	0,060	0,024
5	0	1,000	0,600	0,333	0,157	0,071
6	0	0	1,000	0,600	0,329	0,167
7	0	0	0	1,000	0,600	0,333
8	0	0	0	0	1,000	0,600
9	0	0	0	0	0	1,000

На рисунку 3.6 показані відповідні графічні залежності, отримані в розробленій програмі. Як показують графіки, зі збільшенням кількості надлишкових гілок ступінь ураження мережі зменшується при тих самих кількостях загиблих вузлів або гілок.

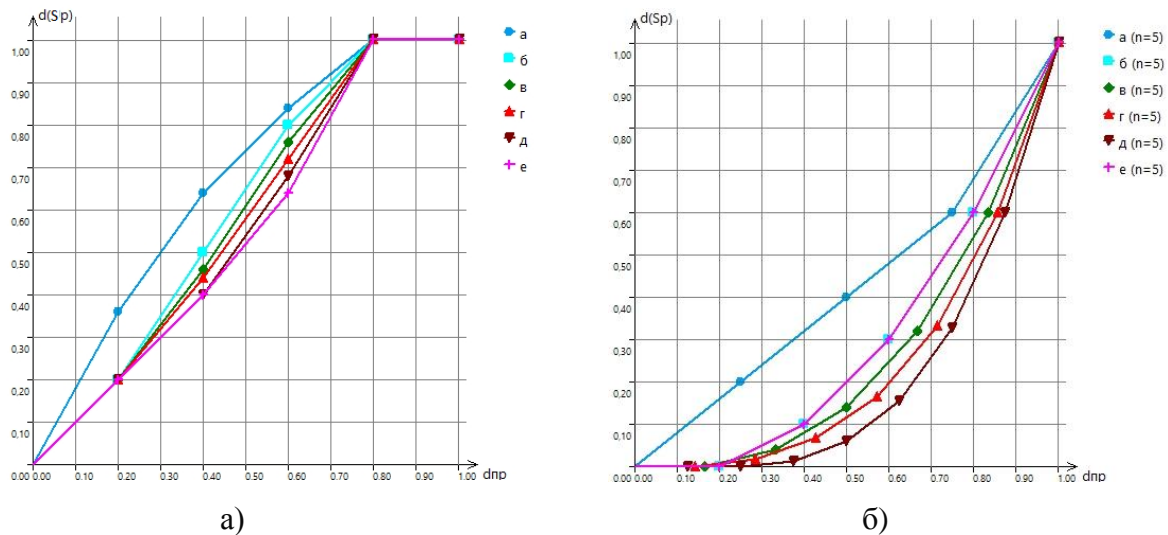


Рис. 3.6 — Графічні залежності ступеня ураження мереж, що містять 5 вузлів і різну кількість гілок  
а) при атаці на вузли; б) при атаці на гілки

### 3.5 Дослідження зв'язності mesh-мереж

В даному підрозділі наведені результати проведених за допомогою розробленої програми досліджень зв'язності мережевих структур, які є характерними для mesh-мереж. Проаналізовані залежності показника зв'язності мереж  $P_c$  від імовірності  $p$  збереження (наявності) довільної гілки після атаки.

Результати програмних досліджень мережевих структур, проаналізованих в підрозділі 2.4, порівнюються з відповідними результатами аналітичного дослідження для отримання висновку про правильність роботи розробленої програми і відповідність комп'ютерного моделювання аналітичному.

### 3.5.1 Дослідження зв'язності структур з однією і трьома комірками

В підрозділі 2.4.1 описані результати аналітичних досліджень зв'язності кільцевих мережевих структур, показаних на рис. 2.3 (для усіх них надлишкова кількість гілок  $r_{\text{надл}} = 1$ ). Для перевірки адекватності комп'ютерного моделювання і правильності відповідних програмних розрахунків дослідження тих самих структур було проведено за допомогою розробленої програми.

В таблиці 3.11 приводяться розраховані значення ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  при різних значеннях ймовірності  $p$  збереження довільної гілки після атаки.

Таблиця 3.11

Ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  у кільцевих мережевих структурах

$p$	а) $n = 3$	б) $n = 4$	в) $n = 5$	г) $n = 6$	д) $n = 7$	е) $n = 8$
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,02800	0,00370	0,00046	0,00006	0,00001	0,00000
0,2	0,10400	0,02720	0,00672	0,00160	0,00037	0,00008
0,3	0,21600	0,08370	0,03078	0,01093	0,00379	0,00129
0,4	0,35200	0,17920	0,08704	0,04096	0,01884	0,00852
0,5	0,50000	0,31250	0,18750	0,10938	0,06250	0,03516
0,6	0,64800	0,47520	0,33696	0,23328	0,15863	0,10638
0,7	0,78400	0,65170	0,52822	0,42018	0,32942	0,25530
0,8	0,89600	0,81920	0,73728	0,65536	0,57672	0,50332
0,9	0,97200	0,94770	0,91854	0,88574	0,85031	0,81310
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Графічні залежності, побудовані за даними таблиці 3.11, показані на рисунку 3.7.

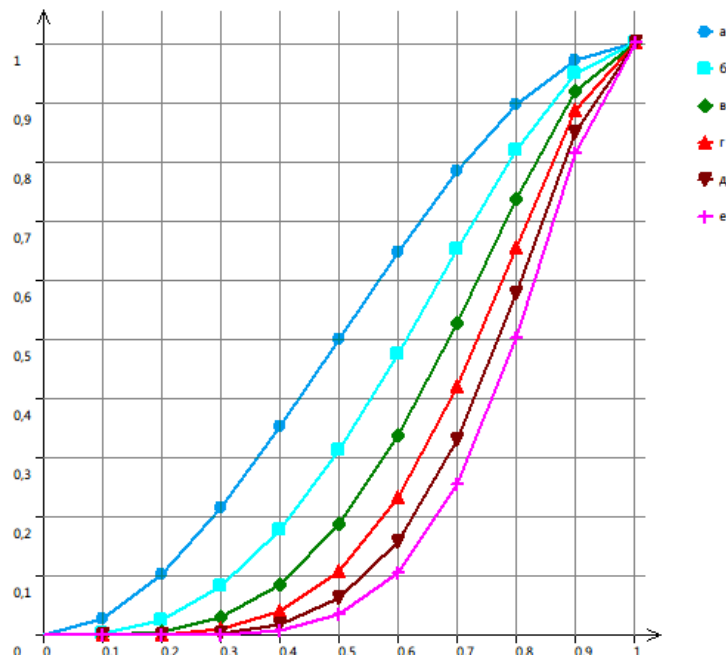


Рис. 3.7 — Графічні залежності ймовірності зв'язності кільцевих мереж з 3..8 вузлів

Якщо порівняти графіки на рис. 3.7 з графіками на рис. 2.4б (підрозділ 2.4.1), можна побачити, що вони ідентичні. Тобто, можна дійти висновку, що комп'ютерне моделювання кільцевих структур відбувається адекватно аналітичному.

Для додаткової перевірки адекватності комп'ютерного моделювання і правильності роботи програми було також проведено дослідження мережеских структур з трьома комірками, проаналізованих у підрозділі 2.4.4 (рис. 2.9) – для усіх цих структур надлишкова кількість гілок  $r_{\text{надл}} = 3$ .

В таблиці 3.12 приводяться програмно розраховані значення ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  при різних значеннях імовірності  $p$  збереження довільної гілки після атаки. На рисунку 3.8 показані відповідні графічні залежності.

Якщо порівняти графіки на рис. 3.8 і на рис. 2.10 (підрозділ 2.4.4), можна побачити, що вони також ідентичні. Тобто, висновок про адекватність комп'ютерного моделювання кільцевих структур аналітичному підтверджується.

Ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  у мережевих структурах  
з трьома комітками

$p$	а) $n = 4$	б) $n = 5$	в) $n = 6$	г) $n = 6$	д) $n = 7$
0	0	0	0	0	0
0,1	0,01293	0,00192	0,00024	0,00023	0,00003
0,2	0,08250	0,02413	0,00602	0,00582	0,00162
0,3	0,21865	0,09428	0,03523	0,03403	0,01401
0,4	0,40038	0,22528	0,11174	0,10805	0,05836
0,5	0,59375	0,40625	0,25000	0,24219	0,16016
0,6	0,76550	0,60653	0,44230	0,42986	0,33182
0,7	0,89249	0,78753	0,65615	0,64102	0,55601
0,8	0,96666	0,91750	0,84410	0,83100	0,78224
0,9	0,99581	0,98415	0,96368	0,95777	0,94490
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

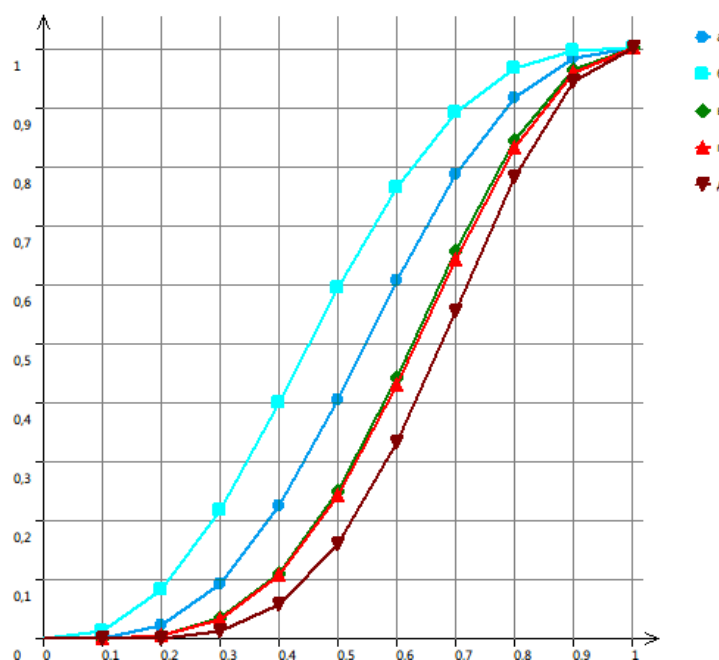


Рис. 3.8 — Графічні залежності ймовірності зв'язності мереж з трьома комітками

### 3.5.2 Дослідження впливу кількості комірок на зв'язність

В даному підрозділі наведено результати дослідження впливу кількості комірок на зв'язність мережі. Проаналізовані структури побудовані з комірок різного розміру при мінімально необхідній кількості вузлів  $n$ .

На першому етапі дослідження розглядалися мережні структури з трикутними комірками (рис. 3.9).

В таблицю 3.13 зведені розрахункові значення ймовірності  $P_c$  зв'язності цих мережевих структур при різних значеннях ймовірності  $p$  збереження довільної гілки.

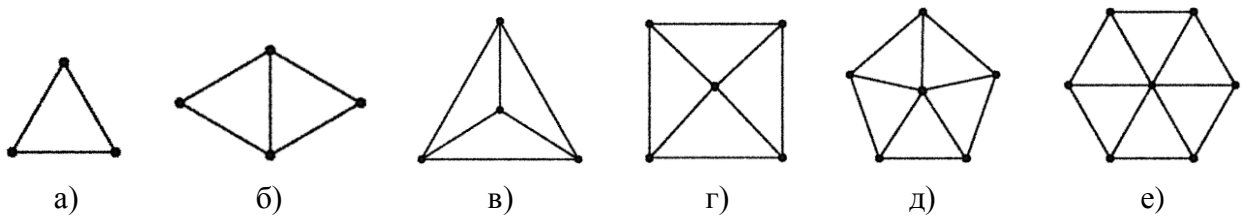


Рис. 3.9 – Мережі з трикутними комірками

Таблиця 3.13

Ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  у мережевих структурах з трикутними комірками

$p$	Кількість комірок					
	а) 1	б) 2	в) 3	г) 4	д) 5	е) 6
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,02800	0,01293	0,01293	0,00335	0,00083	0,00020
0,2	0,10400	0,08250	0,08250	0,03924	0,01798	0,00813
0,3	0,21600	0,21865	0,21865	0,14215	0,08939	0,05558
0,4	0,35200	0,40038	0,40038	0,31412	0,23958	0,18106
0,5	0,50000	0,59375	0,59375	0,52344	0,45117	0,38623
0,6	0,64800	0,76550	0,76550	0,72348	0,67272	0,62274
0,7	0,78400	0,89249	0,89249	0,87526	0,84991	0,82341
0,8	0,89600	0,96666	0,96666	0,96272	0,95473	0,94610
0,9	0,97200	0,99581	0,99581	0,99557	0,99456	0,99349
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

На рисунку 3.10 показані відповідні графіки, отримані у програмі на основі розрахованих значень.

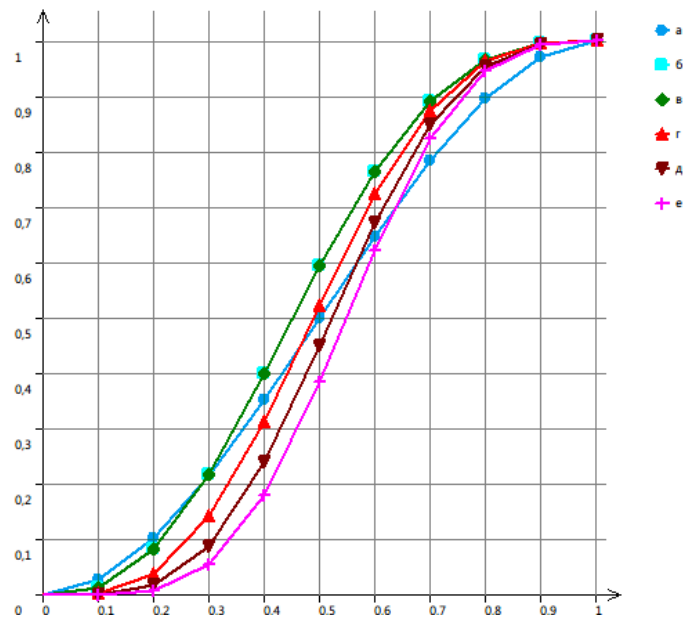


Рис. 3.10 — Графічні залежності ймовірності зв'язності мереж з трикутними комірками

Як можна побачити, збільшення кількості комірок загалом призводить до зменшення зв'язності, що співвідноситься з результатом дослідження впливу розміру комірок на зв'язність. Виключенням є лише варіант а) з однією коміркою: при малих  $p$  показник  $P_c$  має найбільше значення з проаналізованих варіантів, при середніх значеннях – середнє, а при великих – найменше.

Проаналізуємо тепер мережі з чотирикутними комірками (рис. 3.11). В таблицю 3.14 зведені розрахункові значення показника  $P_c$  для цих мережевих структур при різних значеннях  $p$ .

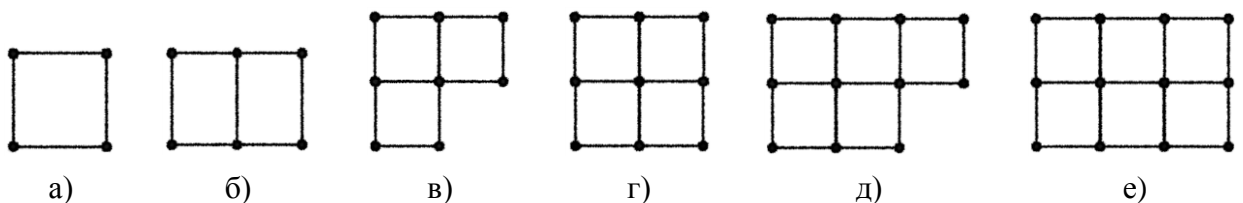


Рис. 3.11 — Мережі з чотирикутними комірками

Ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  у мережевих структурах  
з чотирикутними комірками

$p$	Кількість комірок					
	а) 1	б) 2	в) 3	г) 4	д) 5	е) 6
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,00370	0,00013	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
0,2	0,02720	0,00344	0,00082	0,00063	0,00008	0,00007
0,3	0,08370	0,02165	0,00965	0,00943	0,00237	0,00269
0,4	0,17920	0,07414	0,04820	0,05244	0,02106	0,02637
0,5	0,31250	0,17969	0,14746	0,16626	0,09262	0,11856
0,6	0,47520	0,34525	0,32441	0,36267	0,25518	0,31763
0,7	0,65170	0,55631	0,55785	0,60344	0,50001	0,58643
0,8	0,81920	0,77332	0,78786	0,81948	0,75613	0,82532
0,9	0,94770	0,93888	0,94693	0,95658	0,93792	0,96264
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

На рисунку 3.12 показані відповідні графічні залежності, отримані у програмі на основі розрахункових значень.

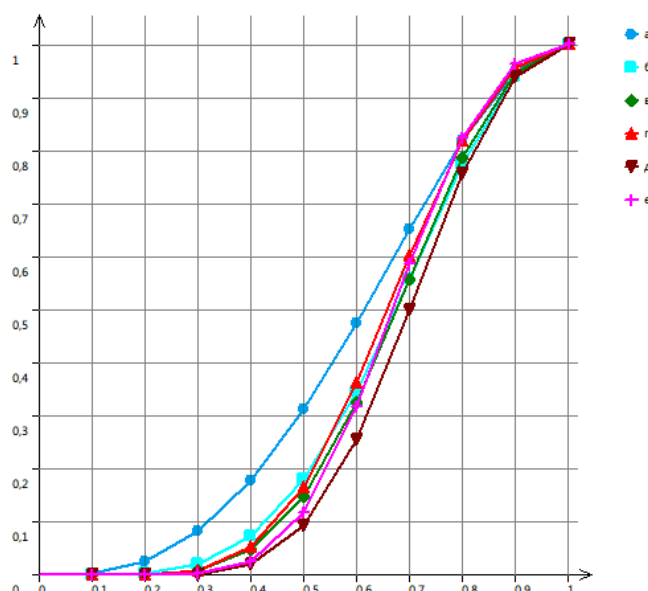


Рис. 3.12 — Графічні залежності ймовірності зв'язності мереж  
з чотирикутними комірками

Як видно з графіків на рисунку 3.12, загальна тенденція до зменшення зв'язності зі збільшенням кількості комірок тут також простежується.

Тепер проаналізуємо мережі з п'ятикутними комірками (рис. 3.13).

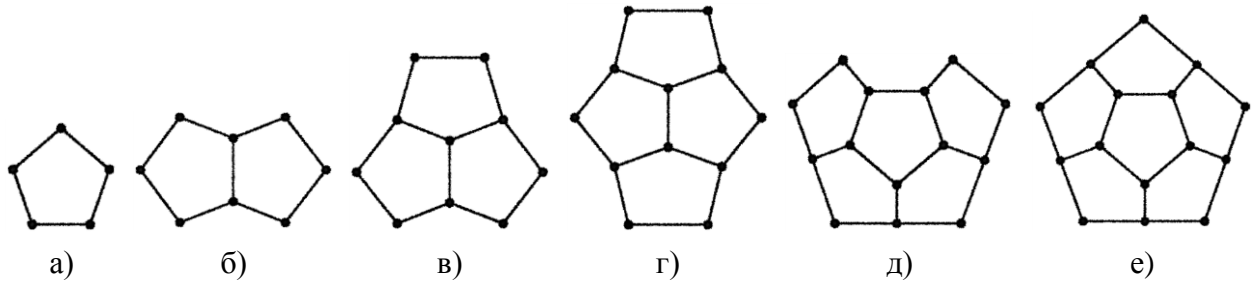


Рис. 3.13 — Мережі з п'ятикутними комірками

В таблиці 3.15 наведені розрахункові значення показника  $P_c$  для цих мережевих структур при різних значеннях  $p$ . На рисунку 3.14 показані відповідні графічні залежності, отримані у програмі на основі розрахункових значень.

Таблиця 3.15

Ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  у мережевих структурах з п'ятикутними комірками

$p$	Кількість комірок					
	а) 1	б) 2	в) 3	г) 4	д) 5	е) 6
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,00046	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,2	0,00672	0,00049	0,00012	0,00003	0,00001	0,00000
0,3	0,03078	0,00620	0,00280	0,00139	0,00051	0,00007
0,4	0,08704	0,03353	0,02211	0,01573	0,00854	0,00196
0,5	0,18750	0,11133	0,09253	0,08172	0,05710	0,02025
0,6	0,33696	0,26583	0,25234	0,25051	0,20569	0,10621
0,7	0,52822	0,49396	0,49859	0,51825	0,46992	0,33045
0,8	0,73728	0,74491	0,76090	0,78976	0,75856	0,66428
0,9	0,91854	0,93459	0,94281	0,95655	0,94713	0,92611
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

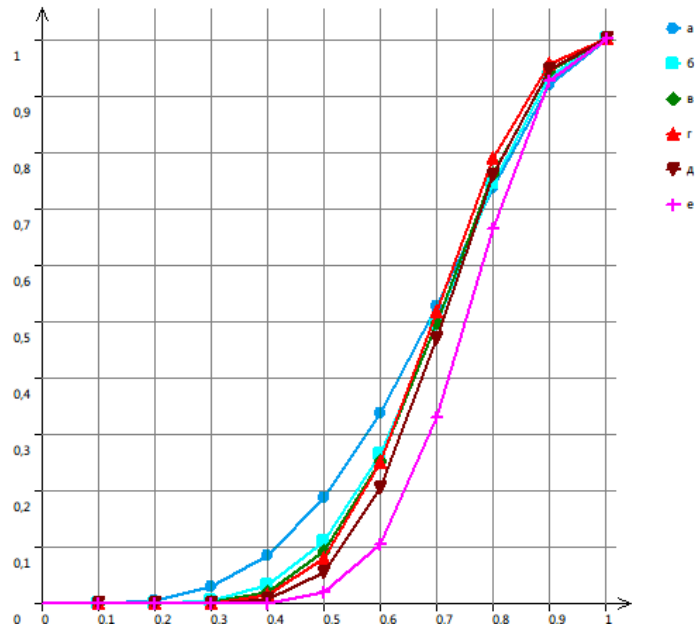


Рис. 3.14 — Графічні залежності ймовірності зв'язності мереж з п'ятикутними комітками

З графіків на рисунку 3.14 також простежується загальна тенденція до зменшення зв'язності зі збільшенням кількості комірок.

Нарешті проаналізуємо мережі з шестикутними комітками – вони показані на рисунку 3.15.

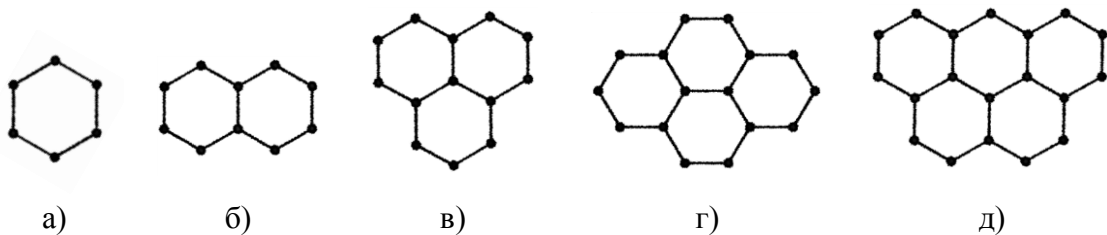


Рис. 3.15 — Мережі з шестикутними комітками

В таблиці 3.16 наведені розрахункові значення показника  $P_c$  для цих мережевих структур при різних значеннях  $p$ .

На рисунку 3.16 показані відповідні графічні залежності, побудовані у програмі за результатами розрахунків.

Ймовірності зв'язності мережі  $P_c$  у мережевих структурах  
з шестикутними комірками

$p$	Кількість комірок				
	а) 1	б) 2	в) 3	г) 4	д) 5
0	0	0	0	0	0
0,1	0,00006	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,2	0,00160	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000
0,3	0,01093	0,00069	0,00015	0,00000	0,00000
0,4	0,04096	0,00668	0,00275	0,00022	0,00005
0,5	0,10938	0,03467	0,02168	0,00360	0,00142
0,6	0,23328	0,11892	0,09732	0,02939	0,01697
0,7	0,42018	0,29821	0,28489	0,14044	0,10642
0,8	0,65536	0,57445	0,58518	0,42266	0,38120
0,9	0,88574	0,86395	0,87990	0,81354	0,79888
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

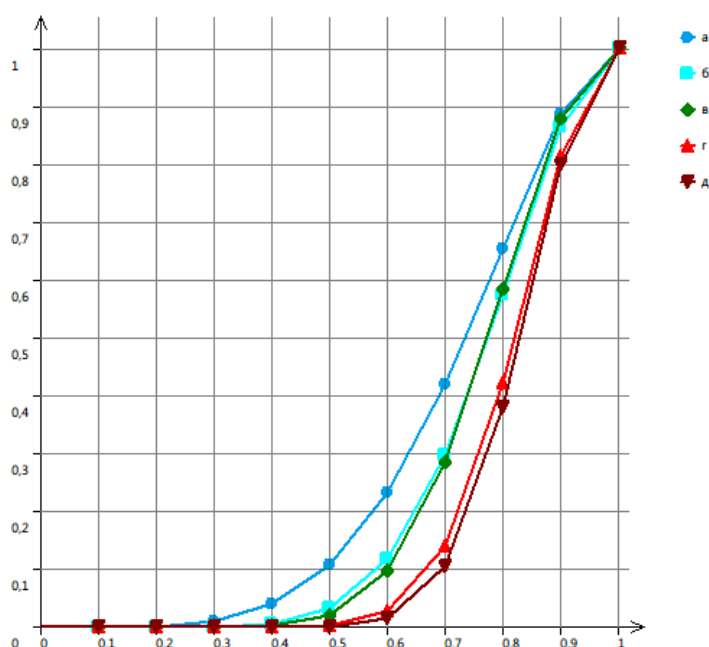


Рис. 3.22 — Графічні залежності ймовірності зв'язності мереж  
з шестикутними комірками

І знов результати чітко показують тенденцію до зменшення зв'язності зі збільшенням кількості комірок.

Таким чином, можна впевнено стверджувати, що при заданих умовах і обмеженнях нарощування mesh-мережі загальна надлишкова зв'язність мережі в термінах показника  $P_c$  зменшується, хоча й незначно. Це можна пояснити таким чином: зі збільшенням кількості комірок збільшується кількість вузлів і ребер мережі, а також, відповідно, й кількість взаємодіючих пар вузлів. Одне й те саме значення  $p$  стосується усіх гілок мережі. Якщо початково гілок у мережі більше, то й гілок, що вилучаються з мережі, також буде більше при тому ж значенні  $p$ . Це призводить до зменшення загальної зв'язності мережі.

### **Висновки до третього розділу**

Описана в даному розділі реалізація програми для розрахунку показників зв'язності мереж дозволила отримати робочий інструмент дослідження зв'язності мереж різної структури.

За допомогою розробленої програми було виконано дослідження низки окремих мережевих структур і зроблено такі висновки:

- розмір комірок слабо впливає на характер зміни ступеня ураження мережі при атаці як на вузли, так і на гілки мережі: при збільшенні комірок ступінь ураження також дещо збільшується;
- збільшення кількості надлишкових гілок призводить до зменшення ступеня ураження мережі і до збільшення ймовірності збереження зв'язності мережі як при атаці на вузли, так і при атаці на гілки;
- збільшення кількості комірок призводить до зменшення ймовірності збереження зв'язності.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

#### 4.1 Організаційно-економічне та маркетингове обґрунтування проекту

У даній магістерській роботі розроблено алгоритм комп'ютерного дослідження зв'язності mesh-мереж, а також програму на його основі. Для розробки алгоритму було проаналізовано математичні моделі дослідження mesh-мереж і показники їх зв'язності.

Мета проекту: запропонувати робочий засіб розрахунку зв'язності в mesh-мережах різної конфігурації.

Класифікаційна оцінка різновиду проекту:

- клас – монопроект, тому що проект орієнтований на певне середовище застосунку й він невеликий;
- тип – технічний (проект направлено на отримання технічних знань та навиків);
- вид – інноваційний;
- тривалість – коротко-терміновий, тому що створюється за порівняно малі строки;
- складність – середній;
- рівень – галузевий.

Етапи виконання проекту:

- підготовчий етап (серпень-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 методики дослідження, розробка структурних схем, створення конче-

					<i>KPM.KI.1.4.15-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

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

## 4.2 Економічні розрахунки проекту

### 4.2.1 Розрахунок трудомісткості розробки методом сітьового планування

Сітьове планування полягає у створенні логічних діаграм послідовності виконання проектних робіт – сітьових графіків і визначенні тривалості цих робіт та проекту в цілому з метою подальшого контролю.

Сітьовий графік будується за даними таблиці 4.1 і представлений на рисунку 4.1.

Розрахунок параметрів сітьового графіку:

- ранній строк здійснення роботи,  $tr_0(i,j)$ ;
- тривалість роботи,  $t_{TF}(i,j)$ ;
- ранній строк здійснення події,  $tr(i)$ ;
- пізній строк здійснення події,  $t_{TF}(i)$ ;
- повний резерв часу роботи,  $R_p(i,j)$ .

Розрахунок здійснення подій:

- для  $i = 0$  (початкової події), очевидно  $T_i(0) = 0$ ;
- $i = 1$ :  $tr(1) = tr(0) + t(0,1) = 0 + 7 = 7$ ;
- $i = 2$ :  $tr(2) = tr(1) + t(1,2) = 7 + 13 = 20$ ;
- $i = 3$ :  $tr(3) = tr(1) + t(1,3) = 7 + 4 = 11$ ;
- $i = 4$ :  $tr(4) = tr(2) + t(2,4) = 21 + 10 = 31$ ;
- $i = 5$ :  $\max(tr(3) + t(3,4); tr(4) + t(4,5)) = \max(11 + 31; 30 + 0) = 42$ ;
- $i = 6$ :  $tr(6) = tr(5) + t(5,6) = 42 + 29 = 71$ ;

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- $i = 7$ :  $tp(7) = tp(6) + t(6,7) = 71 + 27 = 98$ ;
- $i = 8$ :  $tp(8) = tp(6) + t(6,8) = 71 + 15 = 86$ ;
- $i = 9$ :  $tp(9) = tp(7) + t(7,9) = 98 + 12 = 110$ ;
- $i = 10$ :  $tp(10) = tp(8) + t(8,9) = 86 + 6 = 92$ ;
- $i = 11$ :  $tp(11) = tp(9) + t(9,10) = 110 + 13 = 123$ .

Таблиця 4.1

## Склад робіт проекту та їх тривалість

№ коду роботи	Назва роботи	$T$ (дні)	№ коду попередньої роботи
0-1	Постановка завдання	7	----
1-2	Вивчення предметної області	13	0-1
1-3	Збір та аналіз даних	4	0-1
2-4	Створення ТЗ	10	1-2
3-4	Фіктивна робота	0	2-4
4-5	Розробка математичної моделі дослідження	30	3-5, 4-5
5-6	Проектування структури і алгоритмів програмної системи	29	5-6
6-7	Організація дослідження структурної надійності тестових багатополюсних мереж	27	5-6
6-8	Проведення імітаційних експериментів	15	5-6
7-9	Обробка результатів дослідження	12	6-7
8-9	Створення супроводжуючої документації	6	6-8
9-10	Оцінка результатів проекту й підведення підсумків	13	8-11, 9-11

Довжина критичного шляху дорівнює ранньому терміну завершення останньої події 10:  $t_{cp} = t_{TS}(10) = 123$ .

При визначенні пізніх термінів звершення подій  $t_{п}(i)$  рухаємося по мережі в зворотному напрямку.

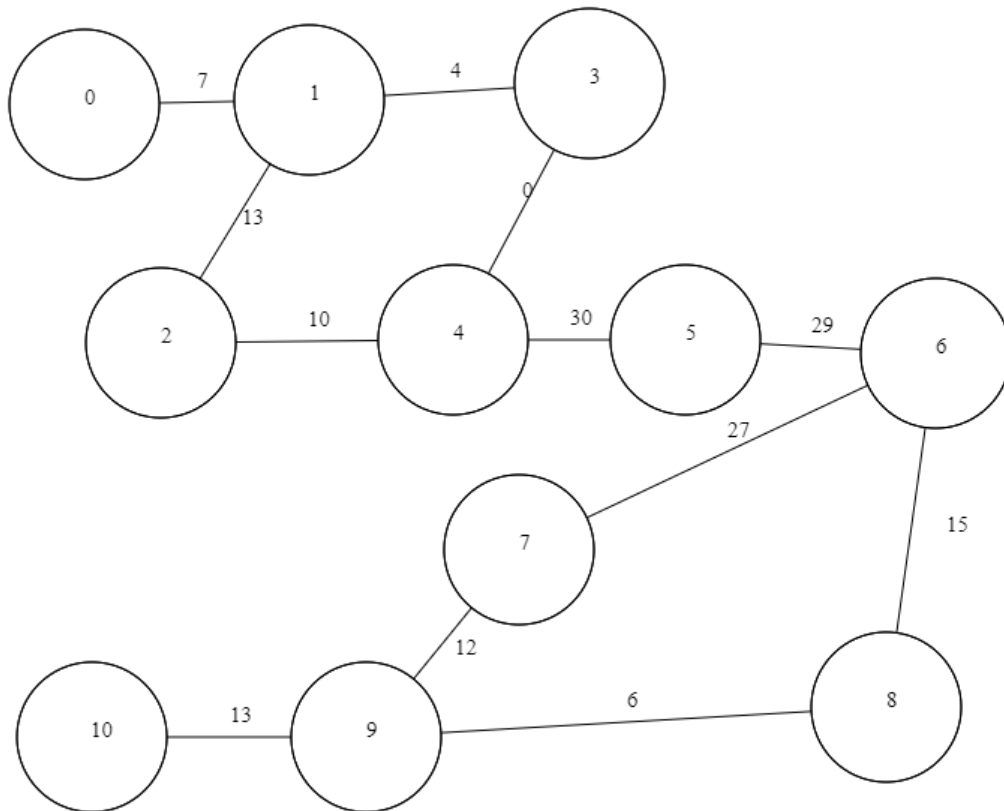


Рис. 4.1 – Сітьовий графік

Повний резерв – максимальний час, на який можна відстрочити початок чи збільшити тривалість всіх робіт, за умови, що термін виконання всього комплексу робіт не зміниться. Утворюється, коли попередні роботи закінчаться в свій найбільш ранній термін.

Знайдемо повний резерв  $RPI_{i-j} = T_{nj} - t_{i-j} - T_{pi}$  (таблиця 5.2):

- $RPI(0,1) = 7 - 7 - 0 = 0$ ;
- $RPI(1,2) = 31 - 13 - 7 = 11$ ;
- $RPI(1,3) = 11 - 4 - 7 = 0$ ;
- $RPI(2,4) = 42 - 31 - 10 = 1$ ;
- $RPI(3,4) = 11 - 0 - 11 = 0$ ;
- $RPI(4,5) = 42 - 0 - 31 = 11$ ;
- $RPI(5,6) = 71 - 42 - 29 = 0$ ;
- $RPI(6,7) = 98 - 71 - 27 = 0$ ;
- $RPI(6,8) = 86 - 71 - 15 = 0$ ;

- $RP(7,9) = 110-98-12 = 0$ ;
- $RP(8,9) = 110-86-6 = 18$ ;
- $RP(9,10) = 123-110-13 = 0$ .

Таблиця 4.2

Повний резерв

Робота (i,j)	Кількість попередніх робіт	Тривалість $t_{ij}$	Ранні терміни		Пізні терміни		Резерви часу:
			Початок $t_{ij}$ Р.Н.	Закінчення $t_{ij}$ Р.О.	Початок $t_{ij}$ П.Н.	Закінчення $t_{ij}$ П.О.	Повний, $R_{ij}P$
(0,1)	0	7	0	7	0	7	0
(1,2)	1	13	7	20	18	31	11
(1,3)	1	4	7	11	7	11	0
(2,4)	1	10	21	31	22	32	1
(3,4)	1	0	11	11	11	11	0
(4,5)	1	30	1	31	12	42	11
(5,6)	2	29	42	71	42	71	0
(6,7)	1	27	71	98	71	98	0
(6,8)	1	15	71	86	71	86	0
(7,9)	1	12	98	110	98	110	0
(8,9)	1	6	86	92	104	110	18
(9,10)	1	13	110	123	110	123	0

#### 4.2.2 Визначення трудомісткості розробки програмного продукту

Розрахунок трудомісткості програмного продукту (ПП), що розробляється, проводиться за формулою (4.1):

$$T_{ПП} = T_{ТЗ} + T_{ТП} + T_{РП} + T_{ВН}, \quad (4.1)$$

де  $T_{ТЗ}$  – трудомісткість розробки технічного завдання створення ПП;

$T_{ТП}$  – трудомісткість розробки технічного проекту ПП;

$T_{РП}$  – трудомісткість розробки робочого проекту ПП;

$T_{ВН}$  – трудомісткість впровадження розробленого ПП.

Розраховуючи трудомісткість, необхідно враховувати, що програмний засіб (ПЗ), ПЗ введення інформації з  $V_0 = 567$  умовних машинних команд із трудомісткістю приблизно  $T_p = 285$  чол/год.

Трудомісткість розроблювального ПП визначається на кожному етапі окремо на підставі трудомісткості аналога з урахуванням складності розробки, ступеня новизни й ступеня використання в розробці стандартних модулів на підставі формул:

$$T_{m3} = T_p \cdot L_i \cdot K_n; \quad (4.2)$$

$$T_{mn} = T_p \cdot L_2 \cdot K_n; \quad (4.3)$$

$$T_{pn} = T_p \cdot L_3 \cdot K_n \cdot K_m; \quad (4.4)$$

$$T_{вн} = T_p \cdot L_4 \cdot K_n, \quad (4.5)$$

де:  $T_p$  – укрупнена норма часу на розробку аналога ПЗ, чол/ч (табл. 4.3), що коректується поправочним коефіцієнтом, що враховує умови розробки ПЗ, тобто в умовах комп'ютера:  $K_k = (0,7/0,8)$ ;

$L_j$  – питома вага даного етапу розробки з урахуванням ступеню новизни. Код ступеню новизни даного ПП – В, отже  $L_1 = 0,12$ ;  $L_2 = 0,11$ ;  $L_3 = 0,61$ ;  $L_4 = 0,16$ .

$K_n$  – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь новизни ( $K_n = 0,7$ );

$K_m$  – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь використання в розробці типових програм ( $K_m = 0,8$ ).

Розрахунок трудомісткості розробки технічного завдання розраховується за формулою (4.2):

$$T_{m3} = 285 \cdot 0,12 \cdot 0,7 = 24 \text{ чол/год.}$$

Розрахунок трудомісткості розробки технічного проекту розраховується за формулою (4.3):

$$T_{mn} = 285 \cdot 0,11 \cdot 0,7 = 22 \text{ чол/год.}$$

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Розрахунок трудомісткості розробки робочого проекту проводиться за формулою (4.4):

$$T_{рп} = 285 \cdot 0,61 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 98.$$

Розрахунок трудомісткості впровадження проводиться за формулою (4.5):

$$T_{вн} = 285 \cdot 0,16 \cdot 0,7 = 32.$$

В таблиці 4.3 приведено розрахунок трудомісткості розробки проекту.

Таблиця 4.3

Трудомісткість розробки проекту

Найменування етапів	Розрахунок, чол./год.
1. Технічне завдання	$T_{ТЗ} = 24;$ $T_{КК} = 0,7 \cdot N_{ТЗ} = 0,7 \cdot 2 = 1,4;$ $T_{НК} = 0,15 \cdot N_{ТЗ} = 0,15 \cdot 2 = 0,3;$
2. Розробка ТП (алгоритму й блок-схеми)	$T_{ТП} = 22$ $T_{КК} = 0,7 \cdot N_{ТП} = 0,7 \cdot 8 = 5,6;$ $T_{НК} = 0,15 \cdot N_{ТП} = 0,15 \cdot 8 = 1,2;$
3. Розробка робочого проекту (складання програм)	$T_{рп} = 98;$ $T_{КК} = 0,7 \cdot N_{рп} = 0,7 \cdot 20 = 14;$ $T_{НК} = 0,15 \cdot N_{рп} = 0,15 \cdot 20 = 3;$
4. Налагодження й впровадження	$T_{ВН} = 32;$ $T_{КК} = 0,7 \cdot N_{ВН} = 0,7 \cdot 30 = 21;$ $T_{НК} = 0,15 \cdot N_{ВН} = 0,15 \cdot 30 = 4,5;$
5. Пояснювальна записка	$T_{ПЗ} = 1,5 \cdot N_{ПЗ} = 1,5 \cdot 128 = 192;$ $T_{КК} = 0,7 \cdot N_{ПЗ} = 0,7 \cdot 128 = 90;$ $T_{НК} = 0,15 \cdot N_{ПЗ} = 0,15 \cdot 128 = 19,2;$
Усього:	$T_{заг.} = \sum T_{ij} = 24 + 1,4 + 0,3 + 22 + 5,6 + 1,2 + 98 + 14 + 3 + 32 + 21 + 4,5 + 192 + 90 + 19,2 = 528,2$
у т.ч. по видах робіт:	
- на розробку:	$\sum T_{р} = 24 + 22 + 98 + 32 + 192 = 368$
- контроль керівника:	$\sum T_{КК} = 1,4 + 5,6 + 14 + 21 + 90 = 132$
- нормоконтроль	$\sum T_{НК} = 0,3 + 1,2 + 3 + 4,5 + 19,2 = 28,2$

Тривалість розробки ПП в роках визначається за формулою (4.6):

$$T_{\text{пп}} = \sum T_{ij} / (8,0 \cdot 0,73) \text{ (днів)}, \quad (4.6)$$

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

8,0 – тривалість робочого дня, г;

0,73 – коефіцієнт переведення у календарні дні;

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

$$T_{\text{пп}} = 528,2 / 8 \cdot 0,73 = 48,2 \text{ днів.}$$

### 4.2.3 Розрахунок ціни програмного продукту

Для визначення ціни необхідно розрахувати основну заробітну плату розробників, матеріальні витрати, вартість машино-години та інші витрати на розробку. Розрахунок проводиться за формулою (4.7):

$$Ц = K \cdot C + Пр, \quad (4.7)$$

де  $Ц$  – коефіцієнт обліку витрат на виготовлення дослідного зразка як продукції виробничо-технічного призначення;

$C$  – витрати на розробку програмної продукції (кошторисна собівартість);

$Пр$  – нормативний прибуток.

Розрахунок нормативного прибутку проводиться за формулою (4.8):

$$Пр = (C - C_m) \cdot P_n / 100, \quad (4.8)$$

де  $P_n$  – норматив рентабельності, (рекомендується 25 %);

$C_m$  – матеріальні витрати, грн.

Форма для розрахунку матеріальних витрат наведена в табл. 4.4.

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

## Розрахунок матеріальних витрат

Назва матеріальних витрат	Тип, модель	Кількість	Ціна за одинцю, грн.	Сума, грн.
Папір	A4	1	100,00	100,00
Флеш-накопичувач	USB Флешка 2.0 16Gb Mibrand Grizzly	1	200,00	200,00
Лазерний диск	Samsung	2	8,00	16,00
Роздруківка	-	128	2,50	320,00
Всього:				636,00
К <sub>ТР</sub> = 0,1				63,6
Разом:				699,6

Витрати, зв'язані з використанням Інтернету, визначають по формулі (5.9):

$$C_{\text{ІНТ}} = n \cdot p, \quad (4.9)$$

де  $n$  – час використання Інтернету (30 днів = 1 місяць);

$p$  – вартість підключення Інтернету в день.

Ціна Інтернету в місяць 225 грн.

$$C_{\text{ІНТ}} = 120 \cdot 0,3125 = 37,5 \text{ грн.}$$

Основна заробітна плата: у статтю входить основна заробітна плата виконавця, безпосередньо зайнятого розробкою даного ПП, з урахуванням його посадового окладу і часу участі в розробці. Розрахунок ведеться по формулі:

$$C_{\text{ЗО}} = \sum Z_i \cdot \tau_i / \alpha,$$

де  $Z_i$  – середньомісячний оклад  $i$ -того виконавця, грн;

$\alpha$  – середня кількість робочих днів в місяці (рекомендовано 21-22);

$\tau_i$  – трудомісткість робіт, що виконуються  $i$ -тим виконавцем, чол/дні.

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

У розробці задіяні постановник задачі, розробник, середньомісячний оклад яких складає 10000 грн. та 12000 грн. відповідно.

$$C_{301} = 10000 \cdot 123 \cdot 0,1 / 22 = 5590,9 \text{ грн.}$$

$$C_{302} = 12000 \cdot 123 \cdot 0,9 / 22 = 60381,8 \text{ грн.}$$

$$C_{30} = 5590,9 + 60381,8 = 65972,7 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата: у статті враховуються всі виплати безпосереднім виконавцям за час, що не пропрацювало на виробництві, зокрема: оплата чергових відпусток, компенсації за невикористану відпустку, оплата пільгового годинника підліткам та ін.

Розрахунок ведеться по формулі:

$$C_{3Д} = C_{30} \cdot \alpha_{Д}, \quad (4.10)$$

де  $\alpha_{Д}$  – коефіцієнт відрахувань та заробітну плату  $\alpha = 0,1$

$$C_{3Д} = 65972,7 \cdot 0,1 = 6597,27 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування: у статті враховуються відрахування до бюджету соціального страхування за встановленим законодавством тарифом від суми основної і додаткової заробітної плати, тобто:

$$C_{СС} = \alpha_{СС} (C_{30} + C_{3Д}), \quad (4.11)$$

де  $\alpha_{СС}$  – коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування (рекомендується 22 %).

$$C_{СС} = 0,22 \cdot (65972,7 + 6597,27) = 15965,4 \text{ грн.}$$

Накладні витрати: у статті враховуються витрати на загальногосподарські витрати, позавиробничі (комерційні) витрати і витрати на управління.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		77

Накладні витрати визначають в процентному відношенні до основної заробітної плати, тобто:

$$C_H = K_H \cdot C_{30}, \quad (4.12)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт накладних витрат (0,5).

$$C_H = 0,5 \cdot 65972,7 = 32986,35 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5

Результати розрахунку кошторисної вартості

Найменування статті	Кошторисна собівартість, грн.	Питома вага, %
Матеріали	699,6	0,57
Internet	37,5	0,03
Основна заробітна плата	65972,7	54
Додаткова заробітна плата	6597,27	5,4
Відрахування на соціальне страхування	15965,4	13,06
Накладні витрати	32986,35	27
Разом	122 258,82	100

Визначимо нормативний прибуток по формулі:

$$P_p = (C - C_m) \cdot P_n / 100, \quad (4.13)$$

де  $P_n$  – норматив рентабельності (рекомендується 25 %);

$C_m$  – матеріальні витрати, грн.;

$C$  – витрати на розробку програмної продукції (кошторисна собівартість);

$$P_p = ((122258,82 - 699,6) \cdot 25) / 100 = 30389,81 \text{ грн.}$$

Визначимо ціну програмного продукту за формулою:

$$Ц = K \cdot C + P_p, \quad (4.14)$$

де  $K$  – коефіцієнт обліку витрат на виготовлення дослідного зразка ПП як продукції виробничо-технічного призначення ( $K = 1,1$ );

$$Ц = 1,1 \cdot 122258,82 + 30389,81 = 164874,5 \text{ грн.}$$

Розрахунок капітальних витрат, пов'язаних з впровадженням ПП, здійснюється по формулі:

$$K = K_{II} + K_{KO} + K_{BO} + K_C, \quad (4.15)$$

де  $K_{II}$  – довиробничі витрати;

$K_{KO}$  – вартість комп'ютерного устаткування;

$K_{BO}$  – вартість допоміжного устаткування, необхідного для надійної роботи ПП;

$K_C$  – вартість будівництва у зв'язку з впровадженням ПП.

Довиробничі витрати  $K_{II}$  включають всі витрати, пов'язані з проектуванням, розробкою, відладкою і впровадженням ПП – допроектні і проектні дослідження, постановка завдань і їх алгоритмізація, розробка, відлагодження і впровадження програмного забезпечення, навчання обслуговуючого персоналу, перепідготовка існуючого персоналу і так далі. Приймаємо  $K_{II}$  за 100 % загальної вартості розробленого ПП.

$$K_{II} = 307419 \text{ грн.}$$

Комп'ютерне устаткування  $K_{KY}$  – ноутбук, що коштує в середньому 20000 грн.

Вартість допоміжного устаткування – 10% від вартості  $K_{KY}$ .

$$K_{доп} = 2000 \text{ грн.}$$

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Вартість будівництва (реконструкції) у зв'язку із впровадженням ПП  
 $K_C = 0$ .

Таким чином,

$$K = 164874,5 + 20000 + 2000 + 0 = 186874,5 \text{ грн.}$$

Розрахунок поточних (експлуатаційних) витрат за рік, пов'язаних з впровадженням ІС, здійснюється по формулі:

$$C = C_{ОПЛ} + C_A + C_{ЭЛ} + C_P + C_{ВСП} + C_{П}, \quad (4.16)$$

де  $C_{ОПЛ}$  – річний фонд основної і додаткової оплати праці персоналу, обслуговуючого ПП з нарахуваннями;

$C_A$  – сума річних амортизаційних відрахувань від вартості основного і допоміжного устаткування;

$C_{ЭЛ}$  – вартість витрат на електроенергію за рік;

$C_{П}$  – вартість річного утримування приміщень.

Річний фонд основної заробітної плати персоналу, що обслуговує ПП розраховуємо за формулою:

$$З_{ОСН} = Ч_{П} \cdot ЗП_M \cdot \tau_P, \quad (4.17)$$

де  $Ч_{П}$  – чисельність фахівців, обслуговуючих ПП;

$ЗП_M$  – посадовий оклад працівника, грн/місяць;

$\tau_P$  – річний фонд робочого часу працівника, місяць.

Необхідно підтримувати та слідкувати за використанням ПП. Для цього достатньо двох робітників, що працює над цим 6 години у день з місячним окладом 10000 грн., тому необхідно знайти місячну заробітну плату –  $З_M$ . Приблизно в місяць робітник працює 20 днів по 8 годин, отже 160 годин в місяць, звідси:

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

$$Z_M = (10000 / (8 \cdot 20)) \cdot 20 \cdot 6 = 7500 \text{ грн/міс для одного робітника.}$$

$$Z_{ОСН 1} = 7500 \cdot 12 \cdot 2 = 180000 \text{ грн/рік.}$$

Після впровадження проекту для підтримки ПП буде достатньо одного працівника, що працює над цим 2 години у день з місячним окладом 8000 грн.

$$Z_{ОСН 2} = 8000 \cdot 12 \cdot 1 = 96000 \text{ грн/рік.}$$

За формулою 4.18 розраховується фонд додаткової заробітної платні:

$$Z_{ДОП1} = 180000 \cdot 0,1 = 18000 \text{ грн.}$$

$$Z_{ДОП2} = 96000 \cdot 0,1 = 9600 \text{ грн.}$$

Розрахунок нарахувань на заробітну платню проводиться за формулою 4.19:

$$Z_{НАР1} = (180000 + 18000) \cdot 0,22 = 43560 \text{ грн.}$$

$$Z_{НАР2} = (96000 + 9600) \cdot 0,22 = 23232 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальні витрати на оплату праці розраховуються за формулою 4.20:

$$C_{ОПЛ1} = 180000 + 18000 + 43560 = 241560 \text{ грн.}$$

$$C_{ОПЛ2} = 96000 + 9600 + 23232 = 128832 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань визначається по формулі (4.21):

$$C_a = K_{ко} \cdot Na / 100, \quad (4.21)$$

де,  $Na$  – норма амортизаційних відрахувань (для комп'ютерного устаткування  $Na = 60 \%$ ).

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

$$Ca = 20000 \cdot 60 / 100 = 12000 \text{ грн.}$$

Річна вартість споживаної електроенергії визначається за формулою (4.22):

$$C_{EL} = M_y \cdot T_{KO} \cdot C_E \cdot K_{II}, \quad (4.22)$$

де  $M_y$  – встановлена сумарна потужність комп'ютерного устаткування, приймається рівною 0,25 кВт;

$T_{KO}$  – річний фонд роботи ЕОМ з урахуванням часу на профілактичні огляди складає 240;

$C_E$  – вартість 1кВт\*год електроенергії на даний момент складає 4 грн/кВт · год.;

$K_{II}$  – коефіцієнт інтенсивного використання потужності, приймається рівним 0,9.

Вартість річного ремонту основного і допоміжного устаткування становить 6 % від вартості комп'ютерного і допоміжного устаткування і складає:

$$Cp = 20000 \cdot 0,06 = 1200 \text{ грн.}$$

Річна вартість допоміжних матеріалів, пов'язаних з експлуатацією ПП становить 2 % від вартості комп'ютерного устаткування і складає:

$$C_{всп} = 20000 \cdot 0,02 = 400 \text{ грн.}$$

Таким чином, за формулою (4.16) поточні витрати до і після впровадження даного проекту складають:

$$C_1 = 241560;$$

$$C_2 = 128832 + 12000 + 2300 + 400 + 0 = 143738.$$

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Очікуваний економічний ефект розраховується за формулою:

$$E_0 = E_p - E_n \cdot K_n,$$

де  $E_p$  – річна економія на поточних витратах, грн;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності одноразових витрат (приймаємо 0,25);

$K_n$  – одноразові витрати на проект, грн.

Річна економія складається з поточних витрат і приросту прибутку у зв'язку із впровадженням проекту, у такий спосіб:

$$E_p = (C_1 - C_2), \quad (4.23)$$

де  $C_1, C_2$  – поточні витрати до й після впровадження проекту (грн).

$$E_p = (241560 - 143738) = 97822;$$

$$E_0 = 97822 - 0,25 \cdot 113930 = 69339,5.$$

Розраховуємо коефіцієнт ефективності одноразових витрат за формулою:

$$E = E_p / K_n \quad (4.24)$$

$$E = 97822 / 113930 = 0,86.$$

$E > E_n$ , тому проект є економічно ефективним.

Термін окупності одноразових витрат обчислюється за формулою:

$$T = 1 / E \quad (4.25)$$

$$T = 1 / 0,86 = 1,27 \text{ року.}$$

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

## Техніко-економічні показники проекту

Найменування показника	Одиниця виміру	Значення показника
Час роботи над проектом	дн	123
Ціна ПП	грн	164874,5
Капітальні витрати	грн	186874,5
Річна економія на поточних витратах	грн	97822
Економічний ефект від реалізації проекту	грн/рік	69339,5
Термін окупності	рік	1,27
Економічна ефективність (рентабельність) проекту		0,786

### 4.3 Висновки до четвертого розділу

За результатами економічних розрахунків можна стверджувати, що отримані показники показують науково-технічну ефективність і обґрунтованість проекту. Термін окупності проекту складає 1,27 року. Розроблений продукт має стати корисним інструментом при дослідженні зв'язності мережевих структур, що має забезпечити його конкурентоспроможність і затребуваність на ринку.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

Дана дипломна робота присвячена створенню системи аналізу зв'язності мереж зв'язку на основі сітчастої топології. Оскільки об'єкт розробки є представником програмного забезпечення, а науковці-дослідники 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. Раціональна конструкція та розташування елементів робочого місця мають велике значення для забезпечення оптимальної робочої позиції під час праці за комп'ютером.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		85

Під час роботи з комп'ютером важливо дотримуватись належного режиму праці та відпочинку. В іншому випадку працівники можуть 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 (УФ), видиме світло та інфрачервоне випромінювання.

В першу чергу, ультрафіолетове (УФ) випромінювання впливає на шкіру та очі людини. Проте, аналіз досліджень робочих місць користувачів комп'ютерів показує, що у 86 % випадків УФ-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 (ЦНС) 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.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		86

## 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);

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

- 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.1.415-03.3.3</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		88

- 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 шляхами.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

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 замкнених 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>КРМ.КІ.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		90

## Висновки до п'ятого розділу

У даному розділі кваліфікаційної роботи були розглянуті питання стосовно 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.

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи були представлені результати досліджень зв'язності і живучості мереж класичних топологій, а також простих мережевих mesh-структур за показником імовірності збереження зв'язності  $P_c$ . Серед mesh-структур були проаналізовані структури з двома комірками: місткові і типу «пісочний годинник», структури з трьома комірками, а також структури з п'яти вузлів і змінною кількістю гілок.

Відсутність аналітичних залежностей для зв'язності розгалужених mesh-мереж обумовила актуальність і доцільність розробки програмного засобу для підтримки відповідних досліджень.

Представлена в роботі постановка завдання на розробку комп'ютерного застосунку і розроблені алгоритми виступили в якості проектної основи для програмної реалізації застосунку і його подальшого використання для реалізації мети роботи.

На основі проектних рішень була створена програма – робочий інструмент комп'ютерного дослідження зв'язності mesh-мереж різної структури і розміру.

За допомогою розробленої програми було виконано дослідження низки окремих мережевих структур і зроблено такі висновки:

1. У мережі з постійним числом надлишкових гілок збільшення розміру комірок (і, відповідно, розміру мережі) призводить до зменшення  $P_c$ . Максимальне значення  $P_c$  для мережі дає комірka у три вузли.

2. Підвищення зв'язності (а також структурної надійності і живучості) мережі постійного розміру прокладанням додаткових надлишкових гілок у кількості від нуля до  $\frac{(n-1)(n-2)}{2}$  для повнозв'язної мережі призводить до збільшення ймовірності зв'язності.

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

3. Розмір комірок слабо впливає на характер зміни ступеня ураження мережі при атаці як на вузли, так і на гілки мережі: при збільшенні комірок ступінь ураження також дещо збільшується.

4. Збільшення кількості надлишкових гілок призводить до зменшення ступеня ураження мережі як при атаці на вузли, так і при атаці на гілки.

5. Збільшення кількості комірок призводить до зменшення ймовірності збереження зв'язності.

Отримані висновки можуть виявитися корисними при проектуванні і аналізі зв'язності, структурної надійності і живучості mesh-мереж різного розміру і конфігурації.

Також було виконано техніко-економічне обґрунтування проекту і досліджені суміжні питання охорони праці.

Перспективи розвитку програми для аналізу зв'язності мережевих структур mesh-топології:

- збільшення розміру мережевих структур, що аналізуються;
- налаштування складу звіту, що зберігається;
- реалізація більш зручної індикації процесу розрахунків і можливості його перервати або поставити на паузу.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		93

## 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. 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.
3. Вісловух А. М. Охорона праці користувачів персональних комп'ютерів (ПК): Навчальний посібник. – К. : ІПК ДСЗУ, 2007. – 55 с.
4. Гуляницький Л. Ф. Прикладні методи комбінаторної оптимізації / Л. Ф. Гуляницький, О. Ю. Мулеса // Навч. посіб. – Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016. – 142 с.
5. ДСанПІН 3.3.2.007-98 – Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.
6. 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.
7. Колумба І. В. Характеристика багатошляхових протоколів в бездротових самоорганізованих мережах зв'язку // Вісник університету «Україна», серія: «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика», №2 (21/2). – Київ, 2018. – С. 70–80.

					КРМ.КІ.1.415-03.3.3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

8. Многочлен Татта [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – URL : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Многочлен\\_Татта](https://uk.wikipedia.org/wiki/Многочлен_Татта).
9. Ненов О. Л. Ітеративний розрахунок верхньої границі зв'язності двополюсної мережі мінливої структури типу  $G(n, L)$  // На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація : монографія. – Одеса: Астропринт, 2021. – С. 205–213.
10. 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.
11. Соколова В. К. Переваги та недоліки mesh-мереж // Сайт Харківського національного університету радіоелектроніки [Електронний ресурс]. – URL : <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/ddc4f4fd-00ac-40d9-9923-9baf843108f8/content>.
12. Технологія комірчастої мережі (Mesh) // Можливості технологій AirTies [Електронний ресурс]. – URL : <http://airties.com/airties-new-technology.asp?dil=ua&id=14&s=2>.
13. Що таке мережевий mesh Wi-Fi для всього будинку? [Електронний ресурс] // ASUS. – 2022. – URL : <https://www.asus.com/ua-ua/support/FAQ/1045875/>.
14. Як працює Wi-Fi Mesh [Електронний ресурс] // Network Tools. – URL : <https://ntools.com.ua/uk/information/faq/kak-rabotaet-wi-fi-mesh>.
15. Ashwood-Smith P. Shortest Path Bridging IEEE 802.1aq Overview 24 // February 2011 (PDF). Huawei. – URL : [http://meetings.apnic.net/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0012/32007/APRICOT\\_SPB\\_Overview.pdf](http://meetings.apnic.net/__data/assets/pdf_file/0012/32007/APRICOT_SPB_Overview.pdf)
16. Chai Keong Toh. Ad Hoc Mobile Wireless Networks. – Prentice Hall Publishers, 2002. – ISBN 978-0-13-007817-9.
17. Chawla, M. Fault tolerance based routing approach for WMN / M. Chawla, A. Mundra, N. Rakesh, A. Agrawal, S. P. Ghrera. 2015 International Conference on Computer and Computational Sciences (ICCCS). – pp. 177–182.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

18. Cilfone, A. Wireless Mesh Networking: An IoT-Oriented Perspective Survey on Relevant Technologies / A. Cilfone, L. Davoli, L. Belli, G. Ferrari // Future Internet. 11 (4): 99. doi:10.3390/fi11040099.
19. Connectivity (graph theory) [Електронний ресурс] // Wikipedia. – URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/Connectivity\\_\(graph\\_theory\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Connectivity_(graph_theory)).
20. Disruption Tolerant Networks and its relevance to IOT/M2M [Електронний ресурс] // Mesh Dynamics. – URL : <http://meshdynamics.com/documents/MeshDynamicsDisruptionTolerantNetworks.pdf>.
21. Mesh-мережі [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – URL : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Mesh-мережі>.
22. 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.
23. Kyriannis J. NYU-NET3. Our Third-Generation Campus Network [Електронний ресурс] // NYU. – URL : <http://www.nyu.edu/its/pubs/architecture/kyriannis-tetrahedroncore.pdf>.
24. Muthanna A., Enabling M2M Communication through MEC and SDN / A. Muthanna, A. Khakimov, A. A. Ateya, A. Paramonov, A. Koucheryavy // Communications in Computer and Information Science. – 2018. Т. 919. – С. 95-105.
25. Paramonov A. M2M Traffic Models And Flow Types In Case Of Mass Event Detection / A. Paramonov, A. Koucheryavy // Lecture Notes in Computer Science. 2014. Т. 8638. – С. 294-300.
26. Youssef M. Network reliability: The effect of local network structure on diffusive processes / M. Youssef, Y. Khorramzadeh, S. Eubank // Physical Review. 2013. E 88(5). Article 052810.

					<i>KPM.KI.1.415-03.3.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96