

## ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
Факультет комп'ютерної інженерії та управління  
Кафедра ЕОМ

Магістерська кваліфікаційна робота

## Методи управління потоками даних в високошвидкісних комп'ютерних мережах

Виконав: ст. гр. СПм-21-2 Філіппов В.В.

Керівник: доц. каф. ЕОМ Янковський О.А.

### ВСТУП

Мультиплексування за довжиною хвилі WDM є важливою технологією, яка дозволяє передавати великі обсяги даних через оптичні мережі. Усі оптичні мережі на основі WDM використовуються для покращення загальної пропускної здатності та забезпечення можливого збільшення обсягів передаваної інформації магістральних мереж.

Оптичні мережі, засновані на технології WDM, можуть мати дуже високу пропускну здатність по волоконно-оптичним каналам. Однак, через високе трафікове навантаження, яке може нести кожен канал зв'язку в мережі WDM, стійкість до збоїв такої мережі стає дуже важливою. Живучість у цьому контексті – це здатність мережі підтримувати безперервність обслуговування в разі збоїв, оскільки збій може призвести до величезних втрат даних.

## МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

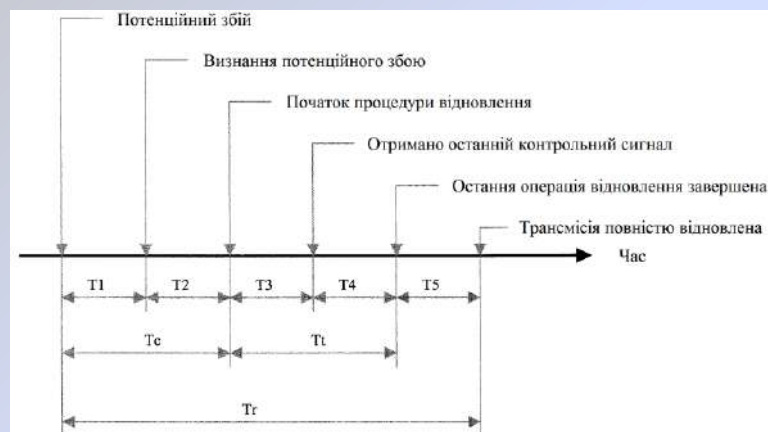
Метою кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження та розробка алгоритмів підвищення живучості мережі на основі концепції р-циклів в оптичних сітчастих мережах WDM з метою балансування оптимальності складності рішення та часу обчислення.

Визначення оптимального набору р-циклів є NP-складною проблемою. Існуючі підходи до вирішення проблеми р-циклів полягають у використанні моделі цілочисельного лінійного програмування (ILP). Метою моделі ILP є досягнення оптимального рішення з точки зору мінімізації резервної пропускної здатності при збереженні 100% захисту мережі. Однак модель ILP стає важкорозв'язною з великомасштабними мережами, де кількість можливих змінних дуже велика.

Евристичні підходи можуть досягти майже оптимальних рішень протягом прийняттого часу обчислення. Дуже бажані прості та ефективні евристичні методи. Таким чином, необхідно розробити евристичні алгоритми для обчислення ефективних р-циклів на графах мережі, які можуть призвести до кращої продуктивності з точки зору ефективності використання пропускної здатності.

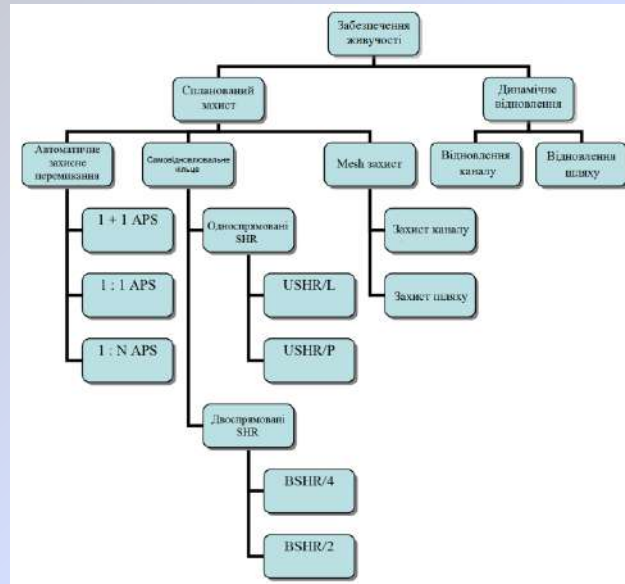
3

## ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ В МЕРЕЖАХ WDM



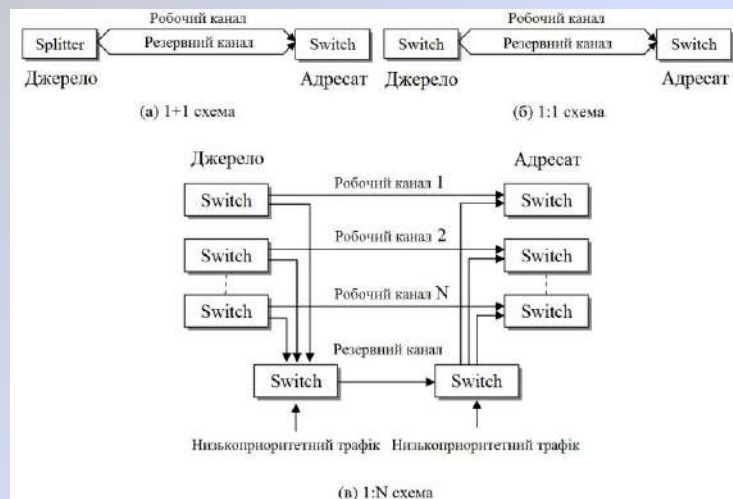
4

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ



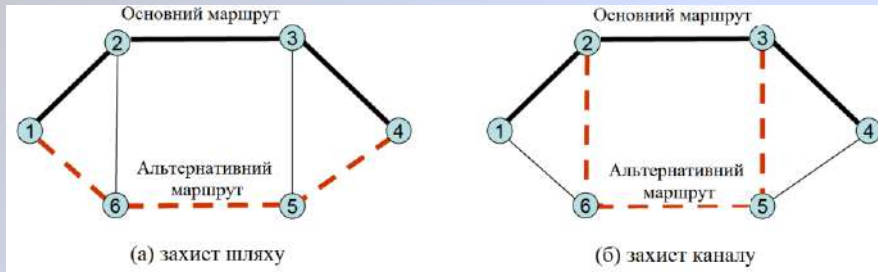
5

## СПЛАНОВАНИЙ ЗАХИСТ



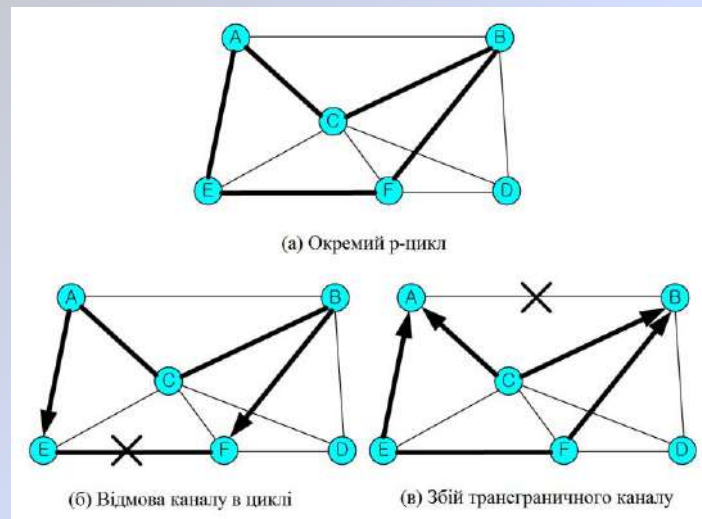
6

## ОСНОВНІ МЕХАНІЗМИ ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ В СІТЧАСТИХ МЕРЕЖАХ



7

## ПОПЕРЕДНЬО НАЛАШТОВАНИЙ ЦИКЛ ЗАХИСТУ



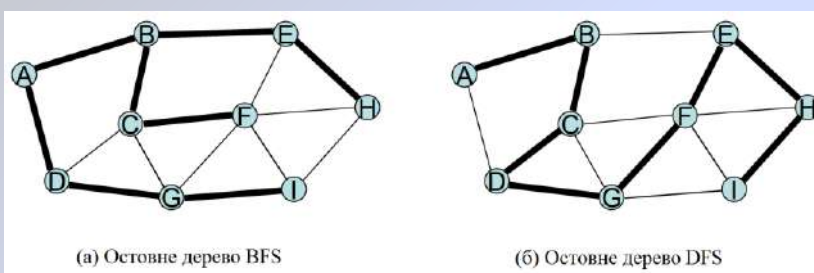
8

## АЛГОРИТМИ ПОШУКУ ЦИКЛІВ ЗАХИСТУ

- За допомогою моделі ІЛР
- Алгоритм «попереднього вибору», АЕ
- Алгоритм «перемежування зв'язків», SLA
- Алгоритм «зваженого пошуку», WDCS
- Алгоритм CIDA
- Алгоритм Чжанга

9

## АЛГОРИТМИ ПОШУКУ В ШИРИНУ-ГЛИБИНУ



10

## АЛГОРИТМ ПОШУКУ В ШИРИНУ-ГЛИБИНУ

Лістинг 6.1 – Генерація основних циклів

```

Input: неорієнтований граф  $G(V, E)$ 
Output: набір усіх основних циклів
 $i = 1$ 
 $NoN = |V|$ 
while  $NoN \geq 3$  do
  Знайти всі основні цикли, що
  проходять через вузол  $i$ ,
  використовувачи АПШГ
  Видалити вузол  $i$  з  $G(V, E)$ 
   $i = i + 1$ 
   $NoN = NoN - 1$ 
end while

```

Лістинг 6.2 – Псевдокод алгоритму АПШГ

```

Input: неорієнтований граф  $G(V, E)$ , кореневий вузол
Output: основні цикли-кандидати
 $Nei$  – множина сусідів кореневого вузла
if  $|Nei| \leq 2$  then
  return
end if
for  $i = 1$  to  $|Nei| - 1$  do
  for  $j = i + 1$  to  $|Nei|$  do
     $s = Nei(i)$ 
     $d = Nei(j)$ 
    if  $d$  є сусідом  $s$  then
      Створити основний цикл
    else
      pathlist = [s]
      while Pathlist is not empty do
        currentpath = pathlist(1)
         $s$  – останній вузол із currentpath
        Убрати  $s$  із pathlist
        if  $d$  є сусіднім вузлом  $s$  then Створити
          основний цикл
        else
          for кожного  $k$  сусіднього вузла  $s$  do
            if  $d$  є сусіднім вузлом  $k$  then
              Створити основний цикл
            else
              Newpath = [currentpath, k]
              Додайте newpath у список pathlist
            end if
          end for
        end if
      end while
    end if
  end for
end if
end for
end if
end for

```

Лістинг 6.3 – Псевдокод алгоритму генерації набору  $p$ -циклів

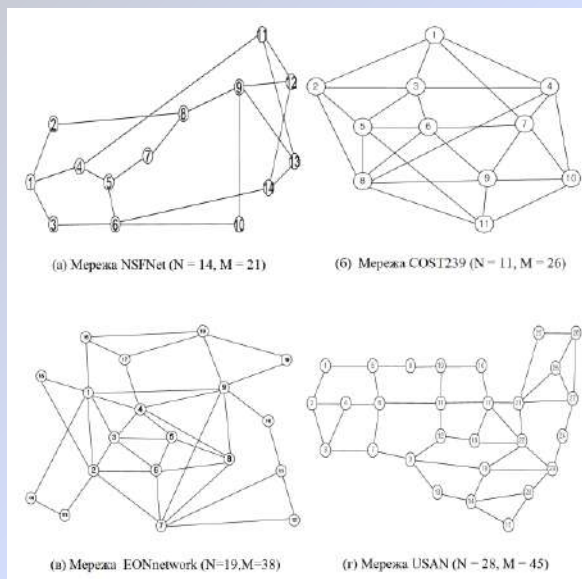
```

Input: набір основних циклів
Output: кандидати на  $p$ -цикли
listcycles = {}
 $Pe$  – сукупність основних циклів
for  $i = 1$  to  $|Pe|$  do
  pcycle = Pe(i)
  while pcycle is not empty do
    Знайти основні цикли, які мають одну спільну
    ланку з pcycle з  $Pe$ 
    if Exist then
      Цік створити кожний pcycle, об'єднавши pcycle
      із відповідним циклом
      Додамо новий pcycle до listcycles
      pcycle = new pcycle
    else
      pcycle = {}
    end if
  end while
end for

```

11

## ЧОТИРИ ТЕСТОВІ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖ



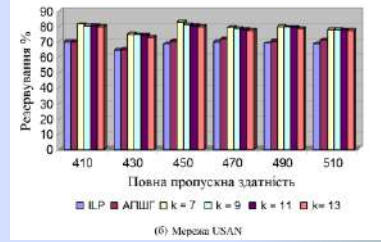
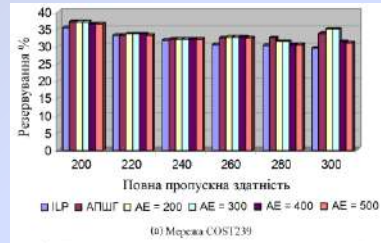
12

## РЕЗУЛЬТАТИ ПОРІВНЯННЯ АЕ І ЗАПРОПОНОВАНОГО АЛГОРИТМУ АПШГ

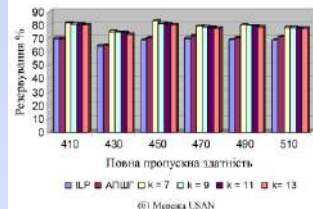
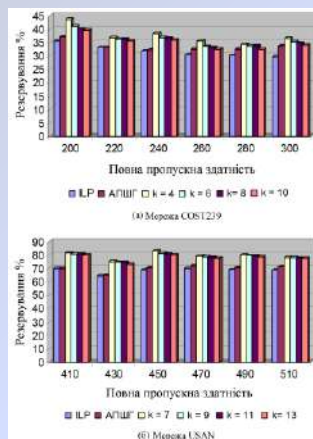
|                         |                     | COST239 (C = 32, p-циклі:3531) |       |       |       |       |      |
|-------------------------|---------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| Модель ILP              | Пропускна здатність | 200                            | 220   | 240   | 260   | 280   | 300  |
|                         | Резерв %            | 36.5                           | 33.3  | 32.1  | 30.7  | 30    | 30.3 |
|                         | Час (с)             | 912                            | 19379 | 17135 | 16121 | 21600 | 7341 |
| Запропонований алгоритм | Резерв %            | 37                             | 33.2  | 32.2  | 32.3  | 32.6  | 33.7 |
|                         | Час (с)             | 2                              | 369   | 21    | 41    | 105   | 71   |
|                         | Кількість циклів    | 253                            | 253   | 253   | 253   | 253   | 253  |

|                         |                     | USAN (C = 32, p-циклі:7321) |      |      |      |      |      |
|-------------------------|---------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
| Модель ILP              | Пропускна здатність | 410                         | 430  | 450  | 470  | 490  | 510  |
|                         | Резерв %            | 69.5                        | 64.2 | 68.7 | 69.7 | 68.8 | 68.7 |
|                         | Час (с)             | 1699                        | 7753 | 8385 | 1068 | 869  | 4686 |
| Запропонований алгоритм | Резерв %            | 71                          | 64.9 | 70.5 | 71.7 | 70.5 | 71   |
|                         | Час (с)             | 27                          | 3    | 4    | 31   | 47   | 79   |
|                         | Кількість циклів    | 302                         | 302  | 302  | 302  | 302  | 302  |

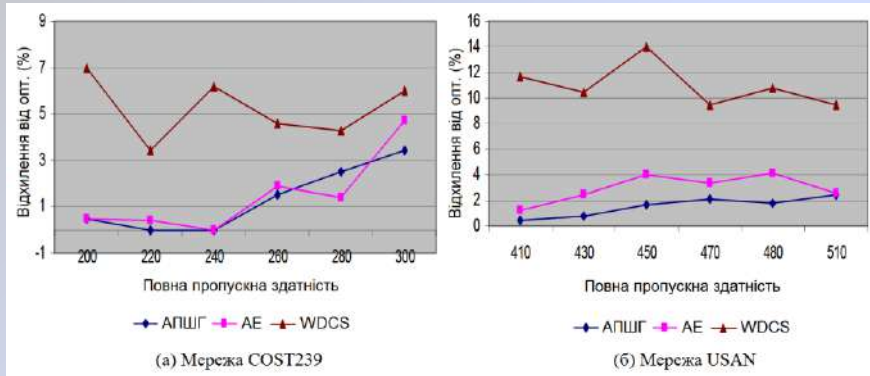


## РЕЗУЛЬТАТИ ПОРІВНЯННЯ WDCS І ЗАПРОПОНОВАНОГО АЛГОРИТМУ АПШГ





## ВІДХИЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ АЛГОРИТМІВ ВІД ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ



15

## ЕВРИСТИЧНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИБОРУ ЦИКЛУ

Листиня 7.1 – Повторне обчислення всіх циклів (АПОЦ)

```

Input: Неперіттований граф G(V, E)
Output: набір усіх циклів
i = 1 № = |V|
while № ≥ 3 do
    Зробити всі цикли, що проходять через вузол i,
    використовуючи алгоритм АПВ (Листиня 7.2)
    Вивести вузол i з G(V, E)
    i = i+1
    № = № - 1
end while
    
```

Листиня 7.2 – Псевдокод алгоритму проходження кожного вузла (АПВ)

```

Input: Неперіттований граф G(V, E), кореневий вузол
Output: Набір циклів
№i1 – кількість сусідів кореневого вузла
if (№i1) < 2 then
    return
end if
for i = 1 to (№i1) - 1 do
    s = №i(i)
    pathlist = {root s}
    while Pathlist is not empty do
        currentpath = pathlist
        parentnode = currentpath
        N – основний вузол поточного шляху
        remove currentpath from pathlist
        list = neighbor node of N
        Вивести поточний шлях u1 списку шляхів
        for each k node of list do
            if k is root then
                створити цикл
            else
                newpath = [currentpath, k]
                Додати newpath у список шляхів pathlist
            end if
        end for
    end while
    disconnect s from root
end for
    
```

Листиня 7.3 – Псевдокод алгоритму вибору циклу на основі стандартного відхилення (АВЦСВ)

```

Input: робота пропускна здатність, φ
Output: цикл
Unprotected capacity(s) – робота пропускна здатність
Обчислення (Δs,h) of |Ф| відповідно до формул (7.2) та (7.3)
Визначити набір циклів (h) з мінімальним значенням Δ
Обчислити h від φ на рівняннях (7.4)
Перевірити набір циклів (h), який з мінімальним значенням у Δ
Обчислити резерву пропускної здатності (φ) набору h на даному рівнянні (7.5)
Вибрати цикл із мінімальним φ із множини h
    
```

16

## РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

| COST239 (C = 32) |                 |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
|                  | Проп. здатність | 244   | 254   | 265   | 273   | 287   | 295   | 301  | 318   | 322   | 332  |
| ILP              | Резерв %        | 31.6  | 29.1  | 30.2  | 30    | 30.3  | 29.2  | 29.2 | 30.5  | 32.9  | 29.1 |
|                  | Час (с)         | 21601 | 17194 | 21600 | 21605 | 21372 | 21600 | 3872 | 21600 | 21600 | 4873 |
| CIDA             | Резерв %        | 35.7  | 32.3  | 36    | 33.3  | 33.8  | 36.4  | 33.1 | 34.6  | 33.1  | 34.7 |
|                  | Час (с)         | 0.24  | 0.2   | 0.22  | 0.22  | 0.2   | 0.2   | 0.22 | 0.3   | 0.2   | 0.2  |
| Zhang            | Резерв %        | 35.7  | 32.3  | 34    | 33.3  | 33.8  | 36.5  | 33.1 | 34.6  | 33.2  | 34.8 |
|                  | Час (с)         | 0.32  | 0.2   | 0.27  | 0.22  | 0.21  | 0.19  | 0.24 | 0.32  | 0.24  | 0.24 |
| EEBCI            | Резерв %        | 32.4  | 29.6  | 30.1  | 30.4  | 31.3  | 29.2  | 29.1 | 30.3  | 30.1  | 29.8 |
|                  | Час (с)         | 0.3   | 0.25  | 0.3   | 0.25  | 0.31  | 0.29  | 0.34 | 0.34  | 0.31  | 0.32 |

| EON (C = 32) |                     |      |       |      |      |      |      |       |      |      |       |
|--------------|---------------------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
|              | Пропускна здатність | 355  | 367   | 377  | 384  | 392  | 405  | 411   | 427  | 436  | 445   |
| ILP          | Резерв %            | 52.9 | 58.6  | 53.5 | 51   | 53.6 | 54.8 | 53    | 55   | 53.2 | 49.9  |
|              | Час (с)             | 3915 | 21600 | 3828 | 197  | 1644 | 8631 | 21600 | 214  | 8686 | 21600 |
| CIDA         | Резерв %            | 64.4 | 66.9  | 63.3 | 60.2 | 64   | 64.4 | 65    | 65.8 | 63.5 | 60    |
|              | Час (с)             | 1.8  | 1.9   | 1.8  | 1.7  | 2    | 2    | 2.2   | 2.1  | 2.1  | 2     |
| Zhang        | Резерв %            | 64.4 | 66.9  | 63.3 | 60.2 | 64   | 64.4 | 65    | 65.8 | 63.5 | 60    |
|              | Час (с)             | 2.2  | 2.34  | 2.14 | 2.21 | 2.73 | 2.67 | 2.8   | 2.91 | 2.89 | 2.6   |
| EEBCI        | Резерв %            | 56.3 | 59.2  | 55.1 | 56.3 | 56.1 | 56.3 | 54.7  | 57.4 | 56.4 | 52.8  |
|              | Час (с)             | 1.9  | 1.9   | 1.8  | 2.3  | 2.2  | 2    | 2.3   | 2.5  | 2.6  | 2.2   |

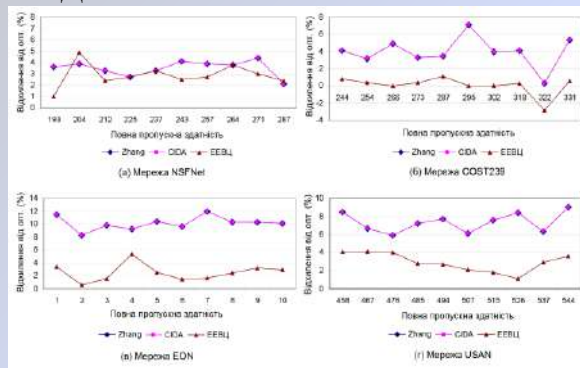
  

| USAN (C = 32) |                     |      |       |      |      |      |      |      |      |       |       |
|---------------|---------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|               | Пропускна здатність | 458  | 467   | 476  | 483  | 494  | 507  | 515  | 526  | 537   | 544   |
| ILP           | Резерв %            | 68.6 | 67.2  | 71   | 65.2 | 67.8 | 67.9 | 65.8 | 67.5 | 69.5  | 68.6  |
|               | Час (с)             | 1098 | 21600 | 944  | 399  | 5109 | 872  | 593  | 2294 | 16775 | 21600 |
| CIDA          | Резерв %            | 77.1 | 73.9  | 76.9 | 72.4 | 75.5 | 74   | 73.4 | 75.9 | 75.8  | 77.6  |
|               | Час (с)             | 1.8  | 1.8   | 1.5  | 1.3  | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.6  | 1.7   | 1.9   |
| Zhang         | Резерв %            | 64.4 | 66.9  | 63.3 | 60.2 | 64   | 64.4 | 65   | 65.8 | 63.5  | 60    |
|               | Час (с)             | 2.2  | 2.34  | 2.14 | 2.21 | 2.73 | 2.67 | 2.8  | 2.91 | 2.89  | 2.6   |
| EEBCI         | Резерв %            | 72.7 | 71.3  | 75   | 68   | 70.5 | 70   | 67.6 | 68.6 | 72.4  | 72.2  |
|               | Час (с)             | 1.4  | 1.3   | 1.6  | 1.4  | 1.4  | 1.6  | 1.4  | 1.6  | 1.3   | 1.7   |

| NSFNet (C = 32) |                     |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|---------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | Пропускна здатність | 193  | 204  | 212   | 225  | 237  | 243  | 257  | 264  | 271  | 287  |
| ILP             | Резерв %            | 68.4 | 64.2 | 69.7  | 64   | 67   | 60.7 | 68.1 | 66.3 | 65.4 | 65.5 |
|                 | Час (с)             | 2    | 8    | 17485 | 12   | 11.8 | 2.2  | 92.9 | 12   | 2    | 19.3 |
| CIDA            | Резерв %            | 73   | 68.1 | 73.1  | 68.4 | 70.3 | 65   | 73   | 70.1 | 69.8 | 66.6 |
|                 | Час (с)             | 0.03 | 0.03 | 0.02  | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| Zhang           | Резерв %            | 72   | 68.2 | 73.1  | 68.4 | 70.2 | 65   | 72   | 70.3 | 69.7 | 66.6 |
|                 | Час (с)             | 0.17 | 0.07 | 0.12  | 0.15 | 0.07 | 0.11 | 0.08 | 0.12 | 0.08 | 0.07 |
| EEBCI           | Резерв %            | 69.4 | 69.1 | 72.3  | 70.2 | 70.3 | 63.3 | 70.8 | 70.1 | 68.6 | 67.9 |
|                 | Час (с)             | 0.03 | 0.03 | 0.02  | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |

## ВІДХИЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ АЛГОРИТМІВ ВІД ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ



|         |            | ILP   | CIDA  | Zhang | EEBCI |
|---------|------------|-------|-------|-------|-------|
| NSFNet  | Резерв %   | 65.95 | 69.63 | 69.63 | 68.82 |
|         | Час (с)    | 1764  | 0.03  | 0.11  | 0.05  |
|         | Відхилення | 0     | 3.68  | 3.68  | 2.87  |
| COST239 | Резерв %   | 30.21 | 34.2  | 34.2  | 30.23 |
|         | Час (с)    | 15767 | 0.22  | 0.22  | 0.3   |
|         | Відхилення | 0     | 3.99  | 3.99  | 0.02  |
| EON     | Резерв %   | 53.55 | 63.75 | 63.75 | 56.06 |
|         | Час (с)    | 9191  | 1.96  | 2.55  | 2.17  |
|         | Відхилення | 0     | 10.2  | 10.2  | 2.51  |
| USAN    | Резерв %   | 67.91 | 75.25 | 75.25 | 70.83 |
|         | Час (с)    | 7128  | 1.61  | 2.96  | 1.49  |
|         | Відхилення | 0     | 7.34  | 7.34  | 2.92  |

## ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження та розробка алгоритмів підвищення живучості мережі на основі концепції р-циклів в оптичних сітчастих мережах WDM з метою балансування оптимальності складності рішення та часу відновлення працездатності мережі.

Запропоновано два нових евристичних підходи до обчислення ефективних р-циклів, які можуть призвести до кращої продуктивності з точки зору ефективності використання пропускну здатності, евристичний підхід, заснований на формулюванні ILP, і чистий евристичний підхід.

З метою підтвердження теоретичних викладок було проведено імітаційне моделювання. Результати моделювання показують, що запропоновані алгоритми перевершують існуючі евристичні підходи за показниками. Таким чином, можна зробити висновок, що обидва підходи дуже корисні для досягнення кращої мережевої продуктивності та надійності функціонування у випадках щільних і великих оптичних мереж WDM, що відповідає основній меті кваліфікаційної магістерської роботи.