

Міністерство освіти і науки України  
Національний авіаційний університет  
Навчально-науковий інститут комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

Курсовий проект  
з дисципліни «Комп'ютерні системи»  
Варіант №8

Виконав:  
студент ННІКІТ  
групи СП-325  
Клокун В. Д.  
Перевірів:  
Ковальов М. О.

Київ 2019

## **ЗМІСТ**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Завдання</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Теоретичні відомості</b>   | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>Хід виконання роботи</b>   | <b>6</b>  |
| 3.1      | Визначення порядку нумерації процесорів у кластерах системи при масштабуванні . . . . . | 6         |
| 3.1.1    | Топологія «Лінійка» . . . . .   | 6         |
| 3.1.2    | Топологія «Зірка» . . . . .   | 8         |
| 3.1.3    | Топологія «Кільце» . . . . .  | 8         |
| 3.1.4    | Топологія «Решітка» . . . . .   | 12        |
| 3.2      | Визначення кількості процесорів, які додаються на кожному кроці масштабування . . . . . | 15        |
| 3.3      | Опис внутрішньо- та міжкластерних зв'язків при масштабуванні                            | 15        |
| 3.4      | Обчислення топологічних характеристик . . . . .   | 15        |
| 3.4.1    | Топологія «Лінійка» . . . . .   | 15        |
| 3.4.2    | Топологія «Зірка» . . . . .   | 15        |
| 3.4.3    | Топологія «Кільце» . . . . .  | 15        |
| 3.4.4    | Топологія «Решітка» . . . . .   | 17        |
| 3.5      | Побудова графіків . . . . .   | 17        |
| 3.6      | Порівняльний аналіз . . . . .   | 17        |
| <b>4</b> | <b>Висновок</b>   | <b>24</b> |

## 1. ЗАВДАННЯ

Варіант завдання на курсовий проект визначався за списком групи, тому необхідно виконати варіант №8, в якому необхідно дослідити топологічні характеристики паралельних обчислювальних систем з масивно-паралельними архітектурами за заданим кластером (рис. 1).

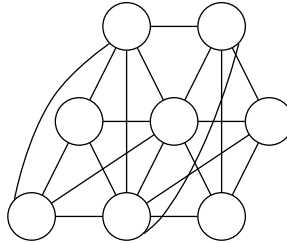


Рис. 1: Граф заданого кластера

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Метою курсової роботи є дослідження основних топологічних характеристик паралельних обчислювальних систем з масивно-паралельними архітектурами (massive parallel processing, MPP-системи).

MPP-системи — це багатопроцесорні системи з розподіленою (локальною) оперативною пам'яттю. Їхня основна перевага — необмежена масштабованість (можливість збільшення кількості процесорів у системі без зміни її властивостей). У зв'язку із цим MPP-систем містять сотні, тисячі процесорів. Так, у цей час, найбільш продуктивні MPP-системи у світі містять близько мільйона процесорів. Відомо два способи взаємозв'язків між процесорами в MPP-системі:

- статичний, коли процесори зв'язані за допомогою спеціальних двунправлених каналів;
- динамічний, коли для взаємозв'язків між процесорами використовують комутатори.

У першому випадку процесори в MPP-системах можуть поєднуватися в різні топології, а в другому випадку — являють собою тільки повнозв'язану топологію. У даній роботі розглядається MPP-системи зі статичними взаємозв'язками. Для таких систем існує множина топологічних характеристик. Основними топологічними характеристиками є:

1. Діаметр системи ( $D$ ) — це мінімальна відстань між двома максимально віддаленими процесорами. Наприклад, діаметр для повнозв'язаної системи дорівнює 1, а для топології «зірка» дорівнює 2. Діаметр кільцевої топології дорівнює  $n/2$ , а лінійної топології дорівнює  $n - 1$ , де  $n$  — кількість процесорів у системі. Оптимальним є мінімальне значення діаметра. Приклади різних графів топологій систем наведені на рис. 1.
2. Середній діаметр ( $\bar{D}$ ). Ця характеристика визначається за формулою,

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} d_{ij}}{n(n-1)} \quad (1)$$

де  $d_{ij}$  — мінімальна відстань між  $i$ -м та  $j$ -м процесорами. Оптимальним є мінімальне значення середнього діаметра.

3. Степінь ( $S$ ). Ця характеристика визначається як максимальна кількість дуг (зв'язків), інцидентні вершині (процесору) у графі топології системи. Так, степінь лінійної й кільцевої топології дорівнює 2, повнозв'язної топології дорівнює  $n - 1$ .
4. Вартість ( $C$ ). Існує множина варіантів визначення вартості системи. Відповідно до одного з них вартість визначається як сумарна кількість

зв'язків у системі. Відповідно до іншого варіанта вартість визначається за формулою:

$$C = DnS. \quad (2)$$

У роботі можна використати будь-який варіант визначення вартості. Оптимальним є мінімальне значення вартості.

5. Топологічний трафік ( $T$ ). Ця характеристика визначається за формулою:

(3)

Топологічний трафік визначає степінь використання зв'язків у системі. Оптимальне значення  $T = 1$ , що означає потенційне використання всіх наявних зв'язків між процесорами. Якщо  $T < 1$ , це означає, що частина фізичних зв'язків у системі при пересиланні даних не будуть використані. Якщо ж  $T > 1$ , при пересиланні даних зв'язків, які є в системі, буде недостатньо, тобто можливі додаткові тимчасові затримки.

### 3. ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

#### 3.1. *Визначення порядку нумерації процесорів у кластерах системи при масштабуванні*

Спочатку визначимо порядок нумерації процесорів у заданому кластері. Будемо нумерувати процесори зліва-направо, зверху вниз. Визначившись з порядком, побудуємо відповідний граф заданого кластера (рис. 2).

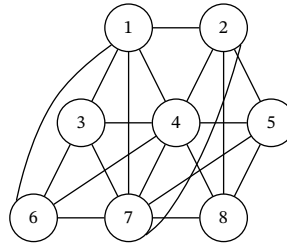


Рис. 2: Граф-схема заданого кластера з пронумерованими вершинами

Пронумерувавши кластер та побудувавши його граф-схему, переходимо до наступного етапу — масштабування систем за топологіями.

##### 3.1.1. Топологія «Лінійка»

Як зрозуміло з назви, топологія «Лінійка» масштабується лінійно: кожен кластер послідовно під'єднується до обраної вершини попереднього кластера. Виконаємо масштабування заданого кластера для топології «Лінійка» (рис. 3, 4, 5, 6).

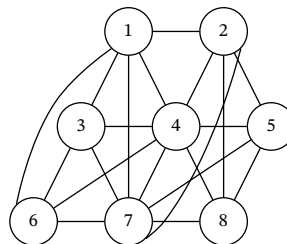


Рис. 3: Масштабування топології «Лінійка», крок 1

На кроці 4 (рис. 6) вже видно, за яким принципом масштабується топологія «Лінійка», тому завершуємо її масштабування.

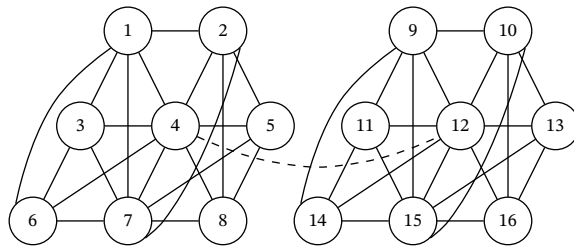


Рис. 4: Масштабування топології «Лінійка», крок 2

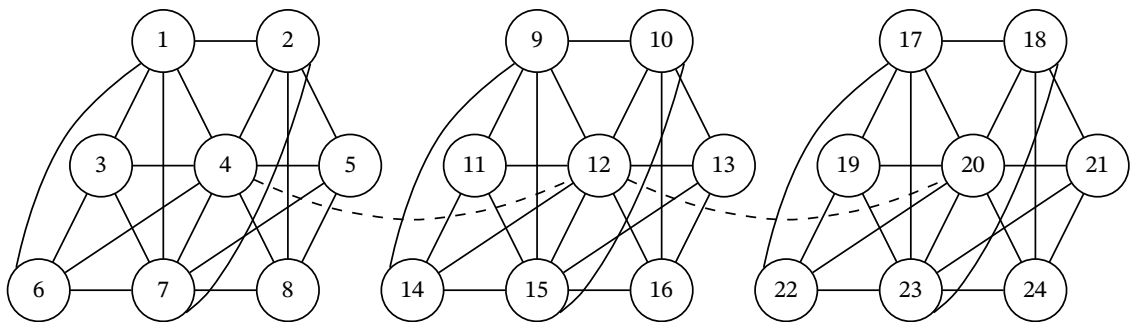


Рис. 5: Масштабування топології «Лінійка», крок 3

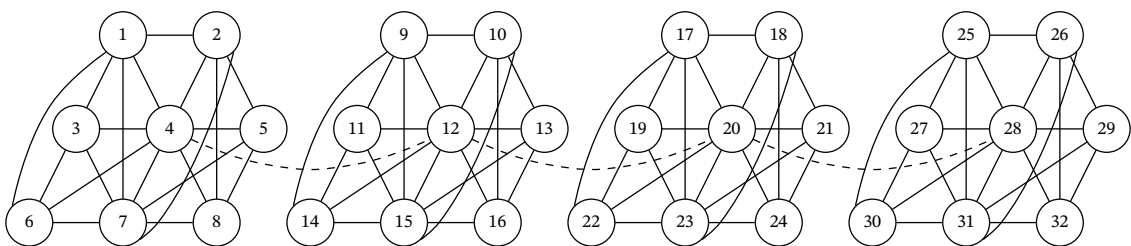


Рис. 6: Масштабування топології «Лінійка», крок 4

### 3.1.2. Топологія «Зірка»

При використанні топології «Зірка» кожен новий кластер під'єднується до обраної вершини центрального кластера. Виконаємо масштабування заданого кластера для топології «Зірка» (рис. 7, 8, 9, 10).

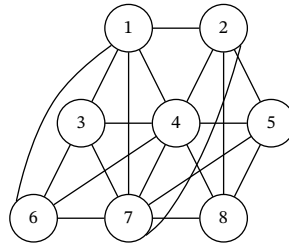


Рис. 7: Масштабування топології «Зірка», крок 1

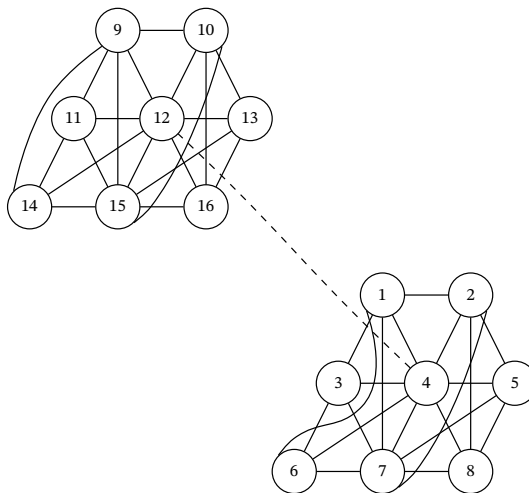


Рис. 8: Масштабування топології «Зірка», крок 2

На кроці 4 (рис. 10) вже наочно видно, за яким принципом масштабується топологія «Зірка», тому завершуємо її масштабування.

### 3.1.3. Топологія «Кільце»

При використанні топології «Кільце» кожен новий кластер під'єднується до обраної вершини попередньо підключеного кластера, також останній підключений кластер під'єднується до першого підключеного кластера, щоб замкнути кільце. Виконаємо масштабування заданого кластера для топології «Кільце» (рис. 11, 12, 13, 14).



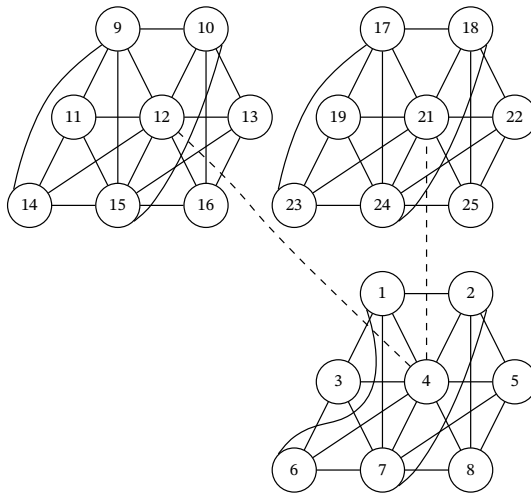


Рис. 9: Масштабування топології «Зірка», крок 3

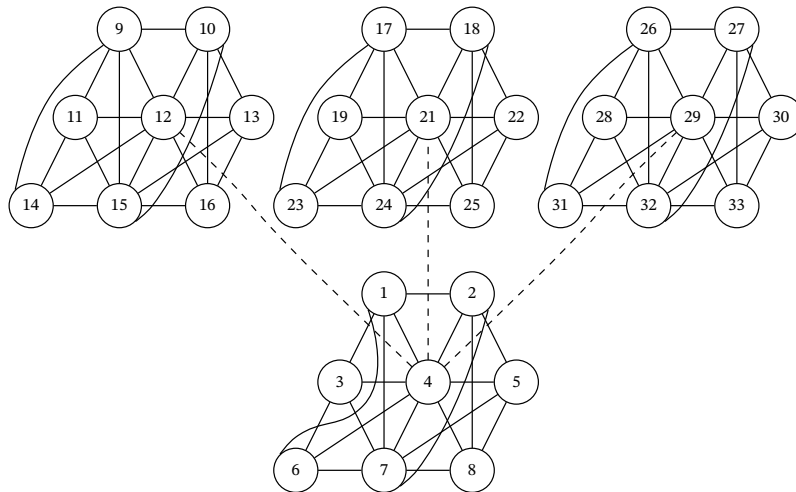


Рис. 10: Масштабування топології «Зірка», крок 4

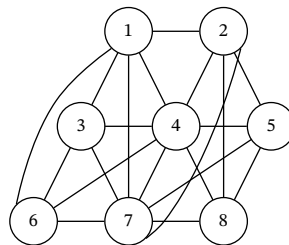


Рис. 11: Масштабування топології «Кільце», крок 1

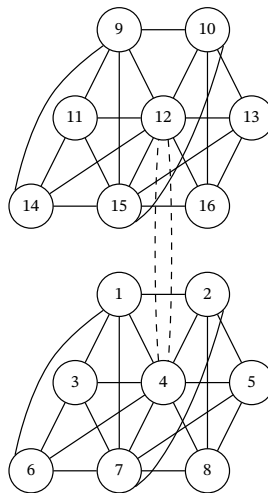


Рис. 12: Масштабування топології «Кільце», крок 2

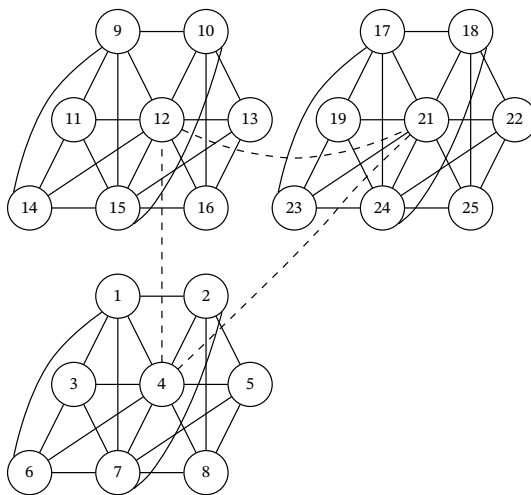


Рис. 13: Масштабування топології «Кільце», крок 3

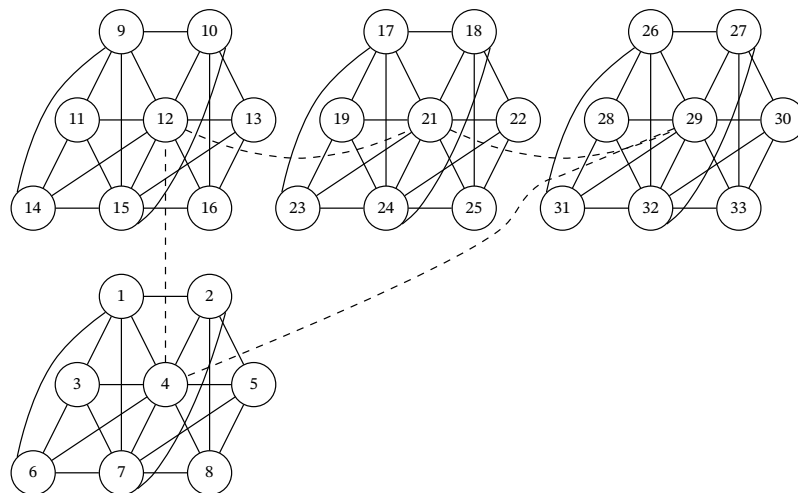


Рис. 14: Масштабування топології «Кільце», крок 4

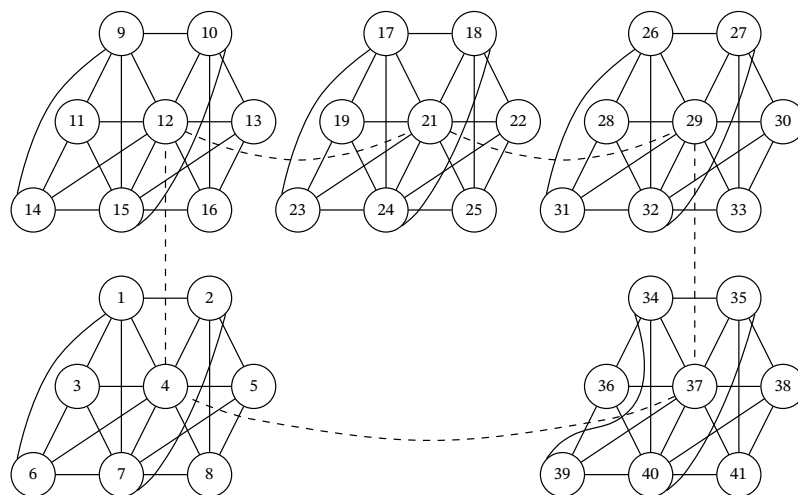


Рис. 15: Масштабування топології «Кільце», крок 5

На кроці 5 (рис. 15) вже наочно видно, за яким принципом масштабується топологія «Кільце», тому завершуємо її масштабування.

#### 3.1.4. Топологія «Решітка»

При використанні топології «Решітка» кожен новий кластер під'єднується до обраної вершини своїх двох найближчих сусідів зліва та згори. Нарощування решітки відбувається так: поки решітка не квадратна, і поточний рядок не заповнений, заповнюється горизонталь, потім переходимо на новий рядок і повторюємо вищеописаний крок; якщо решітка квадратна — додаємо новий кластер по горизонталі. Виконаємо масштабування заданого кластера для топології «Решітка» (рис. 16, 17, 18, 19).

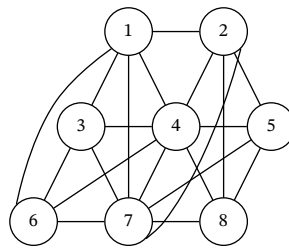


Рис. 16: Масштабування топології «Решітка», крок 1

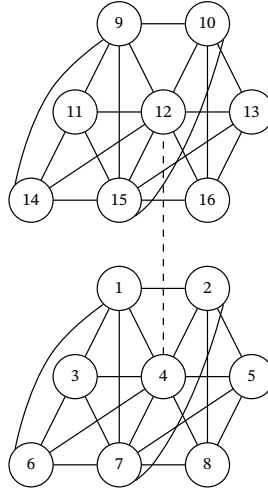


Рис. 17: Масштабування топології «Решітка», крок 2

На кроці 5 (рис. 20) вже наочно видно, за яким принципом масштабується топологія «Решітка», тому завершуємо її масштабування.

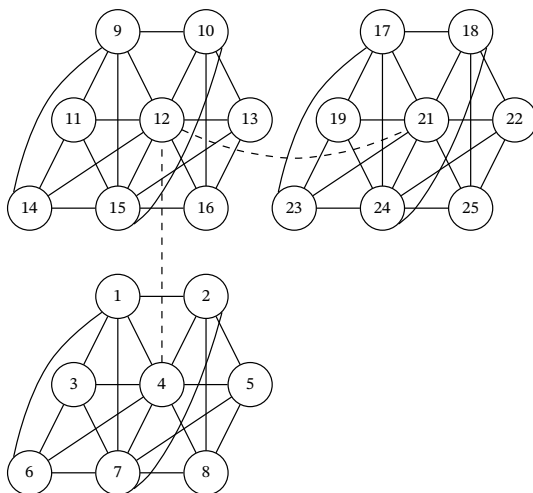


Рис. 18: Масштабування топології «Решітка», крок 3

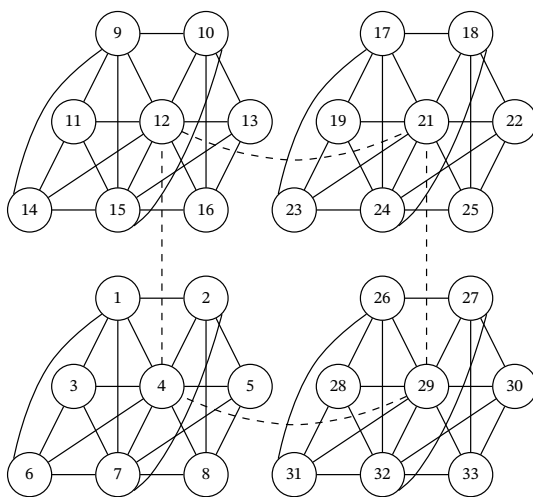


Рис. 19: Масштабування топології «Решітка», крок 4

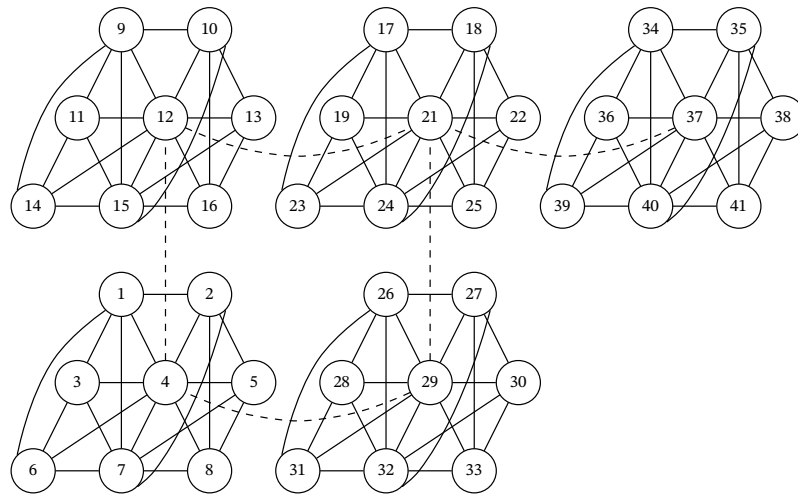


Рис. 20: Масштабування топології «Решітка», крок 5

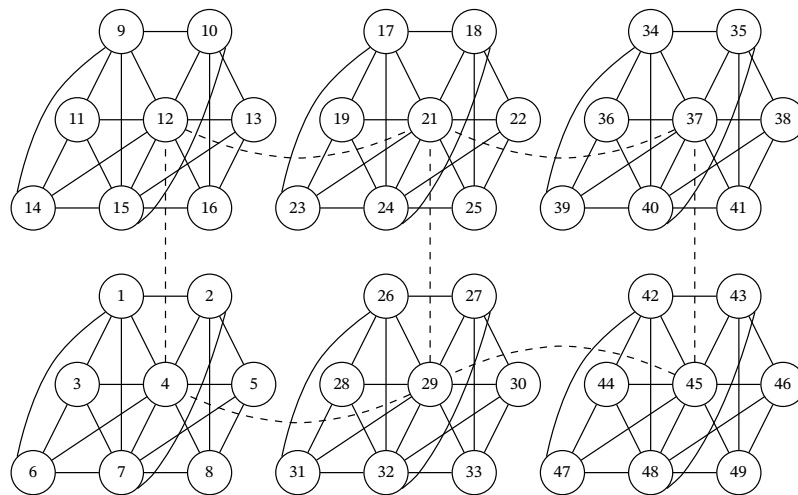


Рис. 21: Масштабування топології «Решітка», крок 6

### **3.2. Визначення кількості процесорів, які додаються на кожному кроці масштабування**

Визначаємо кількість процесорів, які додаються на кожному кроці масштабування. Оскільки граф-схема заданого кластера містить 8 вершин, то і на кожному кроці будуть додаватись по 8 процесорів.

### **3.3. Опис внутрішньо- та міжкластерних зв'язків при масштабуванні**

При масштабуванні внутрішньокластерні зв'язки не змінюються, оскільки при масштабуванні топологій кластери під'єднуються до заданих процесорів, тобто створюється тільки новий міжкластерний зв'язок. Опис міжкластерних зв'язків при масштабуванні наведений відповідно для кожної топології (пп. 3.1).

### **3.4. Обчислення топологічних характеристик**

Промасштабувавши кожну з досліджуваних топологій, обчислюємо їх топологічні характеристики для кожного кроку масштабування. До досліджуваних топологічних характеристик належать: діаметр  $D$ , середній діаметр  $\bar{D}$ , степінь  $S$ , вартість  $C$  і трафік  $T$ .

#### **3.4.1. Топологія «Лінійка»**

Розглянемо промасштабовану топологію «Лінійка». Обчислимо та запишемо її топологічні характеристики на кожному етапі масштабування, вказуючи кількість процесорів, що є в системі на даному етапі (табл. 1).

#### **3.4.2. Топологія «Зірка»**

Розглянемо промасштабовану топологію «Зірка». Обчислимо та запишемо її топологічні характеристики на кожному етапі масштабування, вказуючи кількість процесорів, що є в системі на даному етапі (табл. 2).

#### **3.4.3. Топологія «Кільце»**

Розглянемо промасштабовану топологію «Кільце». Обчислимо та запишемо її топологічні характеристики на кожному етапі масштабування, вказуючи кількість процесорів, що є в системі на даному етапі (табл. 3).

Табл. 1: Залежність топологічних характеристик від кількості процесорів під час масштабування топологією «Лінійка»

| К-кість<br>проц. $n$ | Топологічні характеристики |                               |             |              |            |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|------------|
|                      | Діаметр $D$                | Середній<br>діаметр $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
| 8                    | 2                          | 1,2857                        | 7           | 20           | 0,3673     |
| 16                   | 3                          | 2,0667                        | 8           | 41           | 0,5167     |
| 24                   | 4                          | 2,5362                        | 9           | 62           | 0,5636     |
| 32                   | 5                          | 2,9355                        | 9           | 83           | 0,6523     |
| 40                   | 6                          | 3,3077                        | 9           | 104          | 0,7350     |
| 48                   | 7                          | 3,6667                        | 9           | 125          | 0,8148     |
| 56                   | 8                          | 4,0182                        | 9           | 146          | 0,8929     |
| 64                   | 9                          | 4,3651                        | 9           | 167          | 0,9700     |
| 72                   | 10                         | 4,7089                        | 9           | 188          | 1,0464     |
| 80                   | 11                         | 5,0506                        | 9           | 209          | 1,1224     |
| 88                   | 12                         | 5,3908                        | 9           | 230          | 1,1980     |
| 96                   | 13                         | 5,7298                        | 9           | 251          | 1,2733     |
| 104                  | 14                         | 6,0680                        | 9           | 272          | 1,3484     |

Табл. 2: Залежність топологічних характеристик від кількості процесорів під час масштабування топологією «Зірка»

| К-кість<br>проц. $n$ | Топологічні характеристики |                               |             |              |            |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|------------|
|                      | Діаметр $D$                | Середній<br>діаметр $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
| 8                    | 2                          | 1,2857                        | 7           | 20           | 0,3673     |
| 16                   | 3                          | 2,0667                        | 8           | 41           | 0,5167     |
| 24                   | 4                          | 2,5362                        | 9           | 62           | 0,5636     |
| 32                   | 4                          | 2,8065                        | 10          | 83           | 0,5613     |
| 40                   | 4                          | 2,9795                        | 11          | 104          | 0,5417     |
| 48                   | 4                          | 3,0993                        | 12          | 125          | 0,5165     |
| 56                   | 4                          | 3,1870                        | 13          | 146          | 0,4903     |
| 64                   | 4                          | 3,2540                        | 14          | 167          | 0,4649     |
| 72                   | 4                          | 3,3067                        | 15          | 188          | 0,4409     |
| 80                   | 4                          | 3,3494                        | 16          | 209          | 0,4187     |
| 88                   | 4                          | 3,3845                        | 17          | 230          | 0,3982     |
| 96                   | 4                          | 3,4140                        | 18          | 251          | 0,3793     |
| 104                  | 4                          | 3,4391                        | 19          | 272          | 0,3620     |



Табл. 3: Залежність топологічних характеристик від кількості процесорів під час масштабування топологією «Кільце»

| К-кість<br>проц. $n$ | Топологічні характеристики |                               |             |              |            |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|------------|
|                      | Діаметр $D$                | Середній<br>діаметр $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
| 8                    | 2                          | 1,2857                        | 7           | 20           | 0,3673     |
| 16                   | 3                          | 2,0667                        | 8           | 41           | 0,5167     |
| 24                   | 3                          | 2,3043                        | 9           | 63           | 0,5121     |
| 32                   | 4                          | 2,6774                        | 9           | 84           | 0,5950     |
| 40                   | 4                          | 2,8974                        | 9           | 105          | 0,6439     |
| 48                   | 5                          | 3,2128                        | 9           | 126          | 0,7139     |
| 56                   | 5                          | 3,4364                        | 9           | 147          | 0,7636     |
| 64                   | 6                          | 3,7302                        | 9           | 168          | 0,8289     |
| 72                   | 6                          | 3,9577                        | 9           | 189          | 0,8795     |
| 80                   | 7                          | 4,2405                        | 9           | 210          | 0,9423     |
| 88                   | 7                          | 4,4713                        | 9           | 231          | 0,9936     |
| 96                   | 8                          | 4,7474                        | 9           | 252          | 1,0550     |
| 104                  | 8                          | 4,9806                        | 9           | 273          | 1,1068     |

#### 3.4.4. Топологія «Решітка»

Розглянемо промасштабовану топологію «Решітка». Обчислимо та запишемо її топологічні характеристики на кожному етапі масштабування, вказуючи кількість процесорів, що є в системі на даному етапі (табл. 4).

#### 3.5. Побудова графіків

Обчисливши топологічні характеристики при масштабуванні кожної топології, побудуємо графіки залежності кожної топологічної характеристики для усіх топологій, а саме: діаметр  $D$  (рис. 22), середній діаметр  $\bar{D}$  (рис. 23), степінь  $S$  (рис. 24), вартість  $C$  (рис. 25) і трафік  $T$  (рис. 26).

#### 3.6. Порівняльний аналіз

Побудувавши графіки залежностей топологічних характеристик від кількості процесорів для кожної топології, порівняємо значення цих характеристик. Для цього розділимо графіки на 3 зони. Границі зон визначаються там, де є найбільше точок перетину графіків залежності діаметру  $D$  від кількості процесорів. Тому отримаємо такі зони:

Табл. 4: Залежність топологічних характеристик від кількості процесорів під час масштабування топологією «Решітка»

| К-кість<br>проц. $n$ | Топологічні характеристики |                               |             |              |            |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|--------------|------------|
|                      | Діаметр $D$                | Середній<br>діаметр $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
| 8                    | 2                          | 1,2857                        | 7           | 20           | 0,3673     |
| 16                   | 3                          | 2,0667                        | 8           | 41           | 0,5167     |
| 24                   | 4                          | 2,5362                        | 9           | 62           | 0,5636     |
| 32                   | 4                          | 2,6774                        | 9           | 84           | 0,5950     |
| 40                   | 5                          | 2,9795                        | 10          | 105          | 0,5959     |
| 48                   | 5                          | 3,0993                        | 10          | 127          | 0,6199     |
| 56                   | 6                          | 3,3532                        | 10          | 148          | 0,6706     |
| 64                   | 6                          | 3,4127                        | 11          | 170          | 0,6205     |
| 72                   | 6                          | 3,5070                        | 11          | 192          | 0,6376     |
| 80                   | 7                          | 3,7139                        | 11          | 213          | 0,6753     |
| 88                   | 7                          | 3,7858                        | 11          | 235          | 0,6883     |
| 96                   | 7                          | 3,8772                        | 11          | 257          | 0,7049     |
| 104                  | 8                          | 4,0605                        | 11          | 278          | 0,7383     |

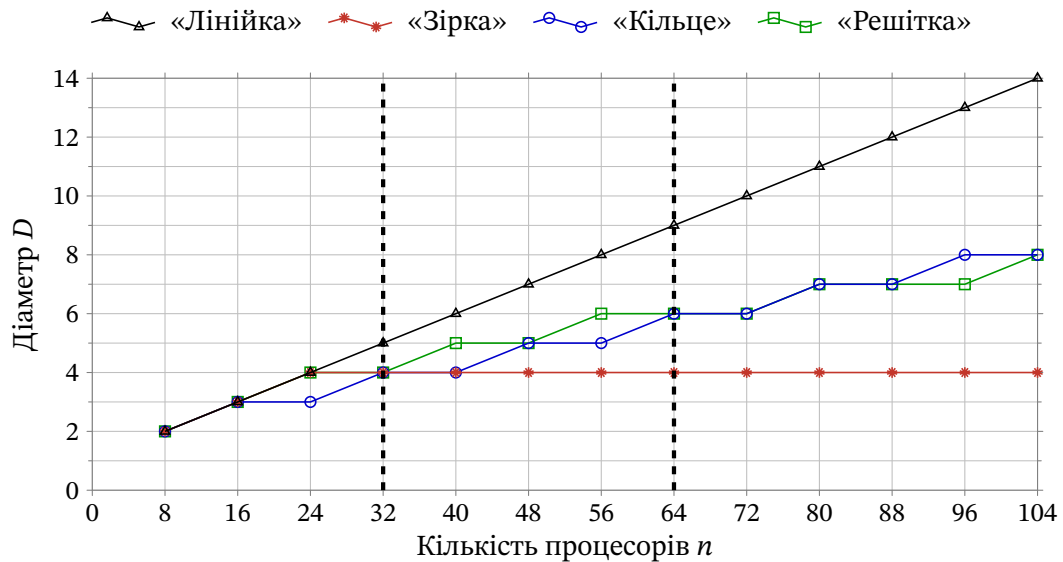


Рис. 22: Графік залежності діаметра  $D$  для топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка»

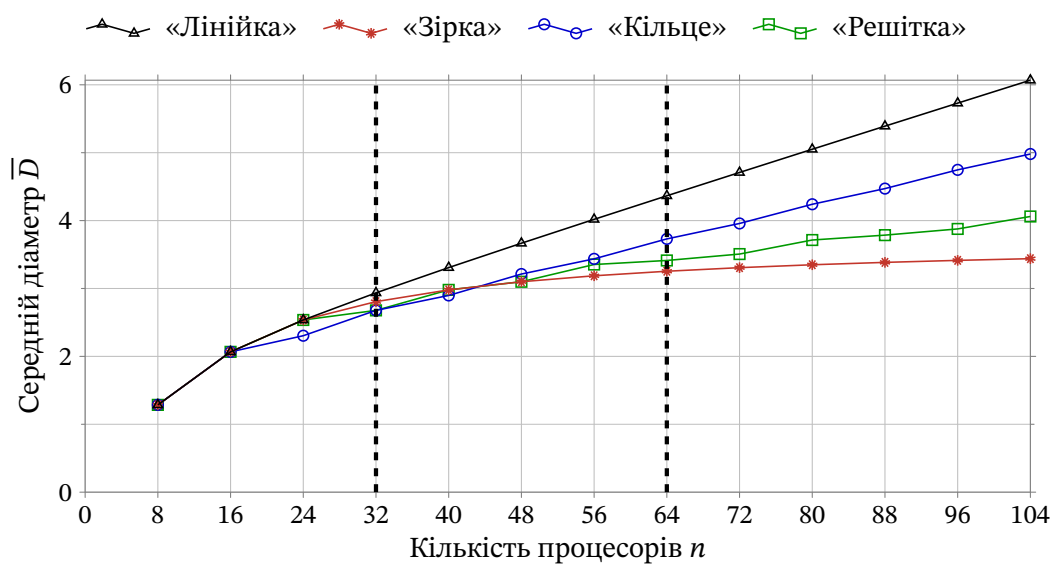


Рис. 23: Графік залежності середнього діаметра  $\bar{D}$  для топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка»

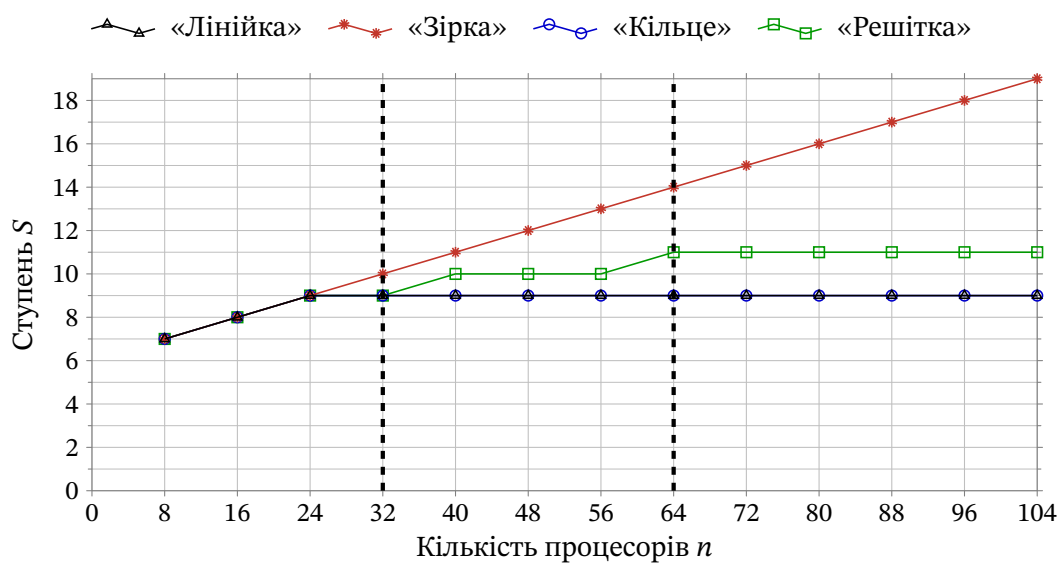


Рис. 24: Графік залежності ступеня  $S$  для топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка»

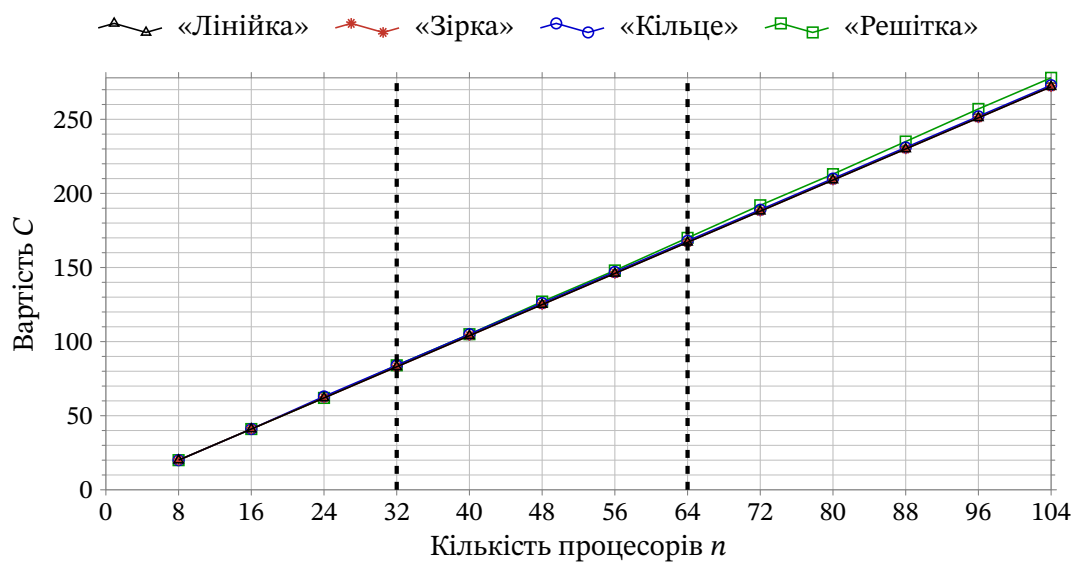


Рис. 25: Графік залежності вартості  $C$  для топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка»

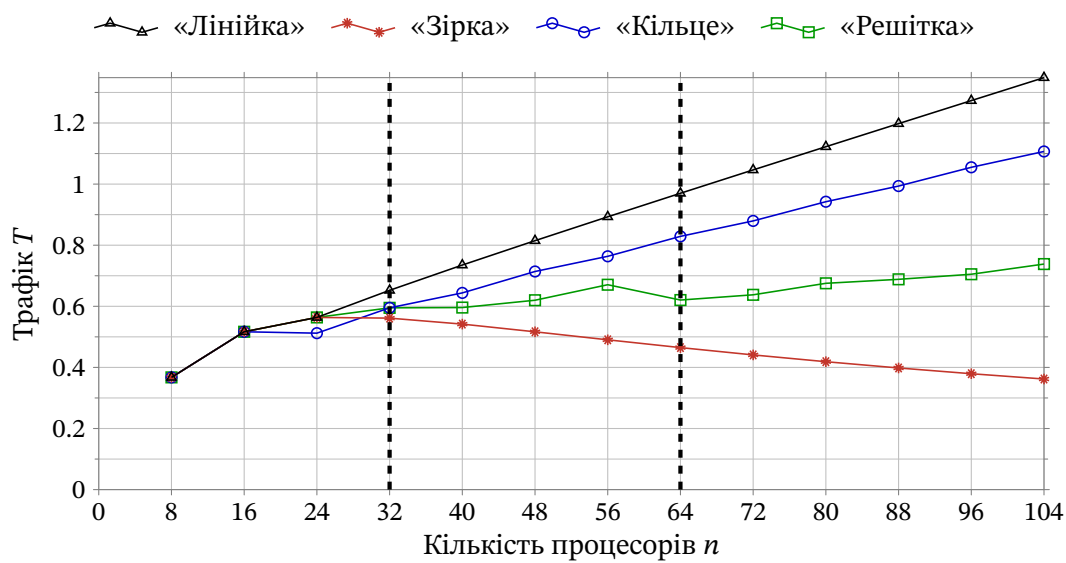


Рис. 26: Графік залежності трафіка  $T$  для топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка»

1. Зона 1: від 1 до 32 процесорів.
2. Зона 2: від 33 до 64 процесорів.
3. Зона 3: від 65 до 104 процесорів.

Обчислимо середні значення топологічних характеристик для кожної із зон і занесемо отримані результати у таблиці, відповідні кожній зоні (табл. 5, 6, 7).

Табл. 5: Середні значення топологічних характеристик топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка» для зони 1 (кількість процесорів  $n$  від 1 до 32)

| Топологія | Діаметр $D$ | Сер. діам. $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
|-----------|-------------|----------------------|-------------|--------------|------------|
| Лінійка   | 3,50        | 2,2060               | 8,25        | 51,50        | 0,5250     |
| Зірка     | 3,25        | 2,1738               | 8,50        | 51,50        | 0,5022     |
| Кільце    | 3           | 2,0835               | 8,25        | 52           | 0,4978     |
| Решітка   | 3,25        | 2,1415               | 8,60        | 51,75        | 0,5107     |

Табл. 6: Середні значення топологічних характеристик топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка» для зони 2 (кількість процесорів  $n$  від 33 до 64)

| Топологія | Діаметр $D$ | Сер. діам. $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
|-----------|-------------|----------------------|-------------|--------------|------------|
| Лінійка   | 7,50        | 3,8394               | 9           | 135,50       | 0,8532     |
| Зірка     | 4           | 3,1299               | 12,50       | 135,50       | 0,5034     |
| Кільце    | 5           | 3,3192               | 9           | 136,50       | 0,7376     |
| Решітка   | 5,50        | 3,2112               | 10,25       | 137,50       | 0,6267     |

Табл. 7: Середні значення топологічних характеристик топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка» для зони 3 (кількість процесорів  $n$  від 65 до 104)

| Топологія | Діаметр $D$ | Сер. діам. $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
|-----------|-------------|----------------------|-------------|--------------|------------|
| Лінійка   | 12          | 5,3896               | 9           | 230          | 1,1977     |
| Зірка     | 4           | 3,3788               | 17          | 230          | 0,3998     |
| Кільце    | 7,20        | 4,4795               | 9           | 231          | 0,9954     |
| Решітка   | 7           | 3,7889               | 11          | 235          | 0,6889     |

Оцінімо отримані середні значення від 1 до 5 балів в залежності від значення топологічної характеристики. Пам'ятаємо, що для усіх характеристик,

крім трафіку, оптимальним є найменше значення. Оптимальне значення трафіку  $T = 1$ . Результати оцінки заносимо у відповідні зони таблиці (табл. 8, 9, 10).

Табл. 8: Оцінки значень топологічних характеристик топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка» для зони 1 (кількість процесорів  $n$  від 1 до 32)

| Топологія | Діаметр $D$ | Сер. діаметр $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
|-----------|-------------|------------------------|-------------|--------------|------------|
| Лінійка   | 5           | 5                      | 5           | 5            | 1          |
| Зірка     | 5           | 5                      | 5           | 5            | 1          |
| Кільце    | 5           | 5                      | 5           | 5            | 1          |
| Решітка   | 5           | 5                      | 5           | 5            | 1          |

Табл. 9: Оцінки значень топологічних характеристик топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка» для зони 2 (кількість процесорів  $n$  від 33 до 64)

| Топологія | Діаметр $D$ | Сер. діаметр $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
|-----------|-------------|------------------------|-------------|--------------|------------|
| Лінійка   | 3           | 3                      | 5           | 3            | 4          |
| Зірка     | 5           | 4                      | 3           | 3            | 1          |
| Кільце    | 4           | 4                      | 5           | 3            | 3          |
| Решітка   | 4           | 4                      | 4           | 3            | 2          |

Табл. 10: Оцінки значень топологічних характеристик топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка» для зони 3 (кількість процесорів  $n$  від 65 до 104)

| Топологія | Діаметр $D$ | Сер. діаметр $\bar{D}$ | Степінь $S$ | Вартість $C$ | Трафік $T$ |
|-----------|-------------|------------------------|-------------|--------------|------------|
| Лінійка   | 1           | 1                      | 5           | 1            | 4          |
| Зірка     | 5           | 3                      | 1           | 1            | 1          |
| Кільце    | 3           | 2                      | 5           | 1            | 5          |
| Решітка   | 3           | 3                      | 4           | 1            | 3          |

За побудованими таблицями оцінок для кожної з зон складаємо таблицю сумарних оцінок за зонами та підсумкових оцінок для топології (табл. 11).

Отже, отримали порівняльну оцінку топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка» для масштабування паралельної системи на основі заданого кластера.

Табл. 11: Сумарні оцінки значень топологічних характеристик топологій «Лінійка», «Зірка», «Кільце» і «Решітка»

| Топологія | Оцінка для різних зон      |                             |                              | Сумарна оцінка |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
|           | Зона 1:<br>$n \in [1; 32]$ | Зона 2:<br>$n \in [33; 64]$ | Зона 3:<br>$n \in [65; 104]$ |                |
| Лінійка   | 21                         | 18                          | 12                           | 51             |
| Зірка     | 21                         | 16                          | 11                           | 48             |
| Кільце    | 21                         | 19                          | 16                           | 56             |
| Решітка   | 21                         | 17                          | 14                           | 52             |

#### 4. ВИСНОВОК

Виконуючи даний курсовий проект, були досліджені основні топологічні характеристики паралельних обчислювальних систем з масивно-паралельними архітектурами зі статичними зв'язками між процесорами. Характеристики розглядались на прикладі систем, організованих із заданих обчислювальних кластерів, з різними топологіями: «Лінійка», «Зірка», «Кільце», «Решітка».

Дослідження показало, що при невеликій кількості процесорів (від 1 до 32) досліджувані топології поведуться майже однаково: різниця у топологічних характеристиках незначна. Крім того, вартість для різних топологій незмінно зростає за лінійним законом, так як нові кластери лише додаються, і тому кількість зв'язків у системі пропорційно збільшується.

Однак, зі збільшенням кількості процесорів у системі, топології поведуть себе по-різному. Наприклад, у топології «Лінійка» лінійно зростають діаметр, середній діаметр і трафік, тобто ці характеристики погіршуються і швидко виходять за межі бажаних.

При масштабуванні топології «Зірка», діаметр перестає зростати вже на 4 кроці, при 32 процесорах. Водночас стрімко зростає степінь системи. Фактично, топологія «Зірка» позбавляється лінійного зростання діаметра і середнього діаметра ціною такого ж стрімкого зростання степеня. На відміну від «Лінійки», де зі збільшенням кількості процесорів значення трафіка лінійно зростає, в топології «Зірка» його значення так само лінійно спадає, тим самим відхиляючись від оптимального значення  $T = 1$ . Тому можна сказати, що з точки зору поведінки діаметра, середнього діаметра і трафіка топології «Лінійка» і «Зірка» є протилежними.

Плавне зростання діаметра, середнього діаметра і степеня на прикладі даного кластера спостерігається при масштабуванні топологій «Кільце» і «Решітка», однак, від середини масштабування (кількість процесорів  $n > 32$ ) і аж до кінцевого кроку топологія «Кільце» мала кращі значення вищезгаданих параметрів, ніж «Решітка»: значення трафіка наближалась до оптимального, поки відхилення від оптимального значення для «Решітки» було вдвічі більшим. Тому можна сказати, що для масштабування даного конкретного кластеру до першого кроку, на якому кількість процесорів перевищить 100, є топологія «Кільце».

Загалом, судячи з результатів дослідження, проведеного в рамках даного курсового проекту, зрозуміло, що системи «Лінійка» і «Зірка» недоцільні для паралельних систем з масивно-паралельними архітектурами великих масштабів, в той час як «Кільце» і «Решітка» будуть оптимальними для таких задач, адже їх характеристики значно повільніше відхиляються від відповідних оптимальних значень. Зі збільшенням кількості процесорів найкращі характеристики матиме «Решітка», оскільки графіки показують, що значення її топологічних характеристик ростуть повільніше, а отже й менше відхиляються від бажаних, ніж



аналогічні значення для топології «Кільце».