

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”  
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**В. Б. Неруш, В. В. Курдеча**

# **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТА ПРОЦЕСІВ**

ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ  
конспект лекцій

*Рекомендовано вченою радою ІТС НТУУ «КПІ»*

Київ  
2012

Гриф надано вченою радою НН ІТС НТУУ «КПІ»  
(Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)

## Навчальне видання

# ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТА ПРОЦЕСІВ

## Електронне навчальне видання. Конспект лекцій

Автор: Неруш Володимир Борисович, канд.техн.наук, доц.  
Курдеча Василь Васильович, аспірант

Відповідальний  
редактор Л. С. Глоба, докт. техн. наук, проф.

Рецензент            О. И. Романов, докт. техн. наук, проф.  
А.В. Доровських, докт. техн. наук, проф.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1. Імітаційне моделювання систем зв'язку .....	6
1.1 Методи моделювання .....	6
1.2 Імітаційне моделювання систем зв'язку .....	8
2. Принципи статистичного імітаційного моделювання .....	15
2.1 Моделювання статистичних розподілів випадкових величин .....	15
2.2 Модель експоненціального потоку в системі MS Excel .....	20
3. Загальна характеристика системи GPSS.....	26
3.1 Відмінні особливості системи GPSS Word.....	26
3.2 Процедурне моделювання, його особливості .....	32
4. Основи моделювання в системі GPSS .....	40
4.1 Основні блоки і команди мови GPSS.....	40
4.2 Побудова моделей в системі GPSS .....	42
5. Моделювання в системі GPSS .....	49
5.1 Модель роботи переговорного пункту .....	49
5.2 Блоки умовного переходу .....	53
5.3 Модель системи M/M/1 з відмовами.....	57
6. Модель роботи Call-центру.....	62
6.1 Модель работы Call –центру.....	62
6.2 Системні числові атрибути .....	66
6.3 Модель системи M/M/2 з відмовами і повторними викликами ...	71
7. Модель роботи Call-центру.....	77
7.1 Системні числові атрибути: матриці комірок, що зберігаються..	77
7.2 Задання функцій розподілу користувачем .....	79
7.3 Модель PRI .....	82
8. Моделювання розподілу навантаження в мережах зв'язку .....	89
8.1 Форми представлення плану розподілу навантаження.....	89
8.2 Методи формування плану розподілу навантаження .....	90

	4
8.3 Модель розподіленої мережі.....	97
9. Фінансова оцінка мереж зв'язку .....	104
9.1 Фінансові показники оцінки мережі зв'язку.....	104
9.2 Приклади оцінки фінансових показників .....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114

## **ВСТУП**

Курс призначений для поглибленого вивчення системи імітаційного моделювання GPSS World з метою її застосування для дослідження характеристик функціонування телекомунікаційних систем і мереж.

Основну увагу приділено реалізації дискретно-подійного принципу моделювання, розширеним можливостям системи GPSS для побудови комбінованих моделей (імітаційно-аналітичних).

Описано правила користування основними командними блоками, осередками пам'яті, командам умовних переходів. Розглянуто можливості графічного інтерфейсу користувача для аналізу процесу моделювання на етапі налагодження програми і статистичній оцінці результатів моделювання. Наведено моделі одно-та багатоканальних систем обслуговування з різними дисциплінами обслуговування, а так само модель функціонування розподілів мережі зв'язку з динамічною маршрутизацією (за методом рельєфів).

# 1. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

## 1.1. Методи моделювання

Моделювання – ефективний метод дослідження складних систем, включаючи телекомунікаційні мережі.

Модель – сутність / об'єкт, який відображає процеси, що протікають в реальних системах за допомогою математичних або натурних засобів.

Модель – умовне відображення реальної системи.

Умовність пов'язана з можливістю формалізації опису процесу і взаємозв'язків його показників.

В моделях відображаються процеси у вигляді взаємозв'язків показників процесу і на цій основі здійснюються оцінки характеристик (залежностей) та / або параметрів процесів досліджуваних систем.

Методи моделювання:

- натурні або фізичні випробування (дослідження) ;
- аналітичне моделювання;
- імітаційне моделювання;
- комбіновані методи моделювання.

Основні умови вибору методу:

- постановка завдання;
- складом, характером і обсягом вихідних даних;
- часом на рішення дослідницької задачі.

**Натурне (фізичне) моделювання:**

- вимірювання характеристик здійснюється на досліджуваних системах в реальному часі (проведення експериментів) ;
- дані дослідник отримує ведучи спостереження за процесами в реальній системі.

*Переваги:*

- висока адекватність моделі реальній системі;
- висока точність результатів.

*Недоліки:*

- висока вартість створення моделі;
- великі часові витрати;
- необхідність доопрацювання окремих вузлів реальної системи для проведення натурних експериментів;

Приклад: дослідження характеристик надійності автомобілів (crash test).

*Аналітичне моделювання:*

- модель представлена сукупністю аналітичних виразів, які відображають явні функціональні залежності між параметрами реальної системи в процесі її роботи:
  - лінійні і нелінійні рівняння;
  - диференціальні та інтегральні рівняння;
  - імовірнісні залежності;
- аналітичні моделі застосовуються для відносно простих систем, для дослідження характеристик яких не вимагається висока точність.

Тому аналітична модель – грубе наближення до дійсності.

*Переваги:*

- простота і низька вартість моделі;
- можливість швидко отримати чисельні результати.

*Недоліки:*

- велике число припущень і обмежень;
- невисока точність результатів;
- відповідність результатів певним умовам;
- велика складність аналітичного опису функціональних залежностей.

## 1.2. Імітаційне моделювання систем зв'язку

Імітаційне моделювання – це метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється моделлю, яка з достатньою точністю описує реальну систему, і з нею проводяться експерименти з метою отримання інформації про цю систему. Експериментування з моделлю називають імітацією (імітація – це збагнення суті явища, не вдаючись до експериментів на реальному об'єкті).

Імітаційне моделювання – це окремий випадок математичного моделювання. Існує клас об'єктів, для яких з різних причин не розроблені аналітичні моделі, або не розроблені методи розрахунку отриманої моделі. В цьому випадку математична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю.

Імітаційне статистичне моделювання являє собою чисельний метод проведення на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів і систем у часі протягом заданого періоду.

Імітаційне моделювання – це сукупність методів алгоритмізації функціонування об'єктів досліджень, програмної реалізації алгоритмічних описів, організації, планування та виконання на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями.

*Переваги імітаційного моделювання:*

- висока адекватність між фізичною суттю описуваного процесу і його моделлю;
- можливість описати складну систему на досить високому рівні деталізації;
- значно більше областей дослідження, ніж аналітичне моделювання;
- відсутність обмежень відображення в моделі залежностей між параметрами моделі;
- можливість оцінки функціонування системи не тільки в стаціонарних станах, але і в перехідних режимах (процесах) ;



- одержання значної кількості даних про досліджуваний об'єкт (закон розподілу випадкових величин, числові значення абсолютні та відносні, і багато іншого) ;
- найбільш раціональне ставлення «результат - витрати» по відношенню до аналітичного і фізичного моделювання.

#### *Недоліки імітаційного моделювання:*

- розробка хорошої моделі часто обходиться дорожче, ніж аналітична і вимагає більше часу на створення і налагодження
- складно оцінити ступінь точності моделі, її адекватність досліджуваному процесу;
- відносно високі вимоги до кваліфікації дослідника для написання моделі;
- спільність застосування та індивідуальність реалізації.

#### **Комбіновані методи моделювання:**

- модель представляється у комбінації методів моделювання;
- найбільш широко застосовуються імітаційно-аналітичні моделі;
- ступінь застосування методів моделювання визначає дослідник, виходячи з поставлених завдань, наявних ресурсів (знань, комп'ютера) і часу на проведення дослідницької роботи.

Імітація, як метод вирішення нетривіальних завдань, отримала початковий розвиток у зв'язку із створенням ЕОМ в 1950-х – 1960-х роках. Одним з основних видів імітаційного моделювання є статистичне імітаційне моделювання.

Статистична модель випадкового процесу – це алгоритм, за допомогою якого імітують роботу складної системи, схильною випадковим збурень; імітують взаємодію елементів системи, що носять імовірнісний характер.

#### **Області застосування імітаційного моделювання:**

- телекомунікаційні системи та мережі;
- бізнес процеси;

- бойові дії;
- динаміка населення;
- IT-інфраструктура;
- математичне моделювання історичних процесів;
- логістика (ланцюги поставок) ;
- пішохідна динаміка;
- вуличний рух;
- виробництво, ринок і конкуренція;
- сервісні центри;
- управління проектами;
- економіка охорони здоров'я;
- екосистеми;

При реалізації на ЕОМ статистичного імітаційного моделювання виникає задача отримання на ЕОМ випадкових числових послідовностей із заданими ймовірнісними характеристиками.

Чисельний метод, який вирішує задачу генерування послідовності випадкових чисел із заданими законами розподілу, отримав назву "метод статистичних випробувань" або "метод Монте-Карло".

Ідея належить Станіславу Уламу, який розкладаючи пасьянси, задався питанням, яка ймовірність того, що пасьянс «складеться». Ідея полягає в тому, що замість того, щоб використовувати звичайні для подібних завдань міркування комбінаторики, можна просто провести «експеримент» велике число разів і, таким чином, підрахувавши число вдалих результатів, оцінити їх ймовірність. Він же запропонував використовувати комп'ютери для розрахунків методом Монте-Карло.

Метод статистичного імітаційного моделювання – це спосіб вивчення складних процесів і систем, що піддаються випадковим збуренням, за допомогою імітаційних моделей.

Методика статистичного моделювання складається з таких етапів:

- 1) Моделювання на ЕОМ псевдовипадкових послідовностей із заданою кореляцією і законом розподілу ймовірностей (метод Монте-Карло), що імітують на ЕОМ випадкові значення параметрів при кожному випробуванні.
- 2) Перетворення отриманих числових послідовностей на імітаційних математичних моделях.
- 3) Статистична обробка результатів моделювання.

Універсального загального способу побудови адекватних моделей не існує. Адекватність (від лат. *Adaequatus* – прирівняний, рівний) моделі – збіг властивостей (функцій / параметрів / характеристик і т. п.) моделі і відповідних властивостей модельованого об'єкта. Адекватністю називається збіг моделі з модельованою системою у відношенні мети моделювання.

Парадигма (від грец. *Παράδειγμα*, «приклад, модель, зразок») – загально прийнято розуміти під терміном парадигма – метод прийняття рішень на основі моделі. Наприклад, людина приймає рішення на основі своєї внутрішньої моделі світу. Парадигма моделювання (програмування) визначає те, в яких термінах програміст описує логіку програми. Імітаційні моделі – це скоріше об'єкти мистецтва, ніж стандартні програми.

### **Види імітаційного моделювання**

Системна динаміка – парадигма моделювання, де для досліджуваної системи будуються графічні діаграми причинних зв'язків і глобальних впливів одних параметрів на інші в часі, а потім створена на основі цих діаграм модель імітується на комп'ютері.

По суті, такий вид моделювання більше всіх інших парадигм допомагає зрозуміти суть того, що відбувається виявлення причинно-наслідкових зв'язків між об'єктами і явищами. За допомогою системної динаміки будують моделі бізнес-процесів, розвитку міста, моделі виробництва, динаміки популяції, екології та розвитку епідемії. Метод заснований Форрестером в 1950 роках.

## **Методи імітаційного моделювання**

**Агентне моделювання** – відносно нове (1990-2000 рр.) Напрямок в імітаційному моделюванні, який використовується для дослідження децентралізованих систем, динаміка функціонування яких визначається не глобальними правилами і законами (як в інших парадигмах моделювання), а навпаки. Коли ці глобальні правила і закони є результатом індивідуальної активності членів групи.

Агентне моделювання (agent-based model (ABM)) – метод імітаційного моделювання, який досліджує поведінку децентралізованих агентів і те, як така поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому.

На відміну від системної динаміки аналітик визначає поведінку агентів на індивідуальному рівні, а глобальна поведінка виникає як результат діяльності багатьох агентів (моделювання «знизу вгору»).

Агентне моделювання включає елементи теорії ігор, складних систем, мультиагентних систем та еволюційного програмування, методи Монте-Карло, використовує випадкові числа.

Мета агентних моделей – отримати уявлення про ці глобальні правила, загальну поведінку системи, виходячи з припущень про індивідуальну поведінку її окремих активних об'єктів і про взаємодію цих об'єктів в системі.

Агент – деяка сутність, що володіє активністю, автономною поведінкою, може приймати рішення відповідно до деяким набором правил, взаємодіяти з оточенням, а також самостійно змінюватися.

**Дискретно-подієве** (дискретно-событийное – рос.) моделювання – підхід до моделювання, що пропонує абстрагуватися від неперервної природи подій і розглядати тільки основні події модельованої системи, такі як: «очікування», «обробка замовлення», «рух з вантажем», «розвантаження» та інші.

Дискретно-подієве моделювання найбільш розвинене і має величезну сферу застосувань – від логістики та систем масового обслуговування до транспортних і виробничих систем. Цей вид моделювання найбільш підходить

для моделювання процесів в телекомунікаційних мережах. Заснований Джеффрі Гордоном в 1960х роках.

Як в системі масового обслуговування (СМО) в телекомунікаційній системі протікають наступні процеси:

- надходження заявок;
- вибір обслуговуючого пристрою;
- обслуговування;
- звільнення.

Для відображення цих процесів в імітаційній моделі мають бути засоби, що дозволяють імітувати:

- вхідний потік заявок;
- управління / розподілом заявок;
- обслуговування;
- вихідний потік заявок;
- статистичну обробку вхідних і вихідних параметрів;

Для побудови імітаційних моделей використовуються:

- спеціальні системи моделювання? (MATLAB, ....) ;
- спеціальні мови моделювання (загального застосування і проблемно-орієнтовані) :
  - GPSS / PC, GPSS / H, GPSS World;
  - GASP (General Activity Simulation Programming) ;
  - SIMSCRIPT (SIMulation SCRIPT) ;
  - Object GPSS, Arena, SimProcess, Enterprise Dynamics, Auto-Mod, SIMPAS та ін.
- універсальні мови моделювання: ALGOL, BASIC, FORTRAN, PL, SIMULA, PASCAL, CI.

### ***Висновки***

- Метод статистичне імітаційного моделювання – це спосіб вивчення складних процесів і систем, що піддаються випадковим збуренням, за допомогою імітаційних моделей.
- Імітаційне статистичне моделювання являє собою чисельний метод проведення на ЕОМ обчислювальних експериментів з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів і систем у часі протягом заданого періоду.

Контрольні запитання.

- Дайте визначення поняттю «моделювання».
- Які існують основні методи моделювання?
- Поясніть суть імітаційного методу моделювання.
- Поясніть різницю між аналітичним та імітаційним моделюванням.
- Які переваги комбінованих методів?
- Які існують етапи статистичного моделювання?
- Поясніть сфері застосування імітаційного моделювання. Наведіть приклади.
- Які основні процеси протікають в системі масового обслуговування (телекомунікаційній системі)?
- В чому полягає різниця між агентним та дискретно-подієвим моделюванням.
- Наведіть приклади універсальних мов моделювання.

## 2. ПРИНЦИПИ СТАТИСТИЧНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### 2.1 Моделювання статистичних розподілів випадкових величин

В імітаційній моделі телекомунікаційної системи (ІМ ТКС) повинні бути відображені такі процеси:

- надходження заявок;
- вибір обслуговуючого пристрою;
- обслуговування;
- звільнення.

ІМ включає засоби, що дозволяють імітувати:

- вхідний потік заявок;
- управління / розподілом заявок;
- обслуговування;
- вихідний потік заявок;
- статистичну обробку вхідних і вихідних параметрів.

Імітація вхідного потоку заявок

*Потік заявок* – це послідовність заявок (викликів), що надходять в систему обслуговування у визначені моменти часу:  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, t_c, \dots$ , де  $t_i$  – це вимірюваний параметр, який може приймати визначені або довільні значення.

*Детермінований потік* – потік заявок у фіксовані моменти часу.

*Стохастичний (випадковий) потік* – потік заявок у випадкові моменти часу.

Для визначення потоку заявок необхідно описати інтервал часу між сусідніми заявками:

$$\Delta t_k = t_k - t_{k-1} \quad (2.1)$$

Для моделювання випадкового потоку заявок необхідно задати функцію розподілу  $F(\Delta t)$  інтервалу часу між сусідніми заявками.

Найбільш часто для досліджень систем зв'язку використовується моделі найпростішого потоку.

Для найпростішого потоку викликів розподіл числа викликів, що надходять за час  $t$  визначається за формулою Пуассона:

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

$P_i(t)$  – ймовірність надходження в точності  $i$  викликів найпростішого потоку за відрізок часу  $t$ .

Найпростіший потік також називають стаціонарним пуассонівським потоком.

Основні параметри найпростішого потоку:

- розподіл кількості заявок  $i$  за інтервал часу  $t$
- розподіл інтервалу часу між сусідніми заявками в потоці
- математичне очікування і дисперсія числа заявок потоку і часу між сусідніми заявками в потоці.

Параметри найпростішого потоку:

- розподіл кількості заявок  $i$  за інтервал часу  $t = 1$ :

$$p_i(t=1) = \frac{(\lambda)^i}{i!} e^{-\lambda} \quad (2.3)$$

- функція розподіл інтервалу часу  $\Delta t$  між сусідніми заявками в найпростішому потоці:

$$P(\Delta t) = P(\tau < \Delta t) = 1 - \lambda e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.4)$$

По-суті, це ймовірність того, що за інтервал  $\Delta t$  надійде один і більше викликів.

- щільність розподілу ймовірності  $\Delta t$ :

$$p(\Delta t) = \lambda e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.5)$$

Таким чином, розподіл проміжків часу між викликами найпростішого потоку підпорядковується показовому (негативного експоненціальним) законом. Функція  $p(\Delta t)$  залежить від параметра потоку  $\lambda$ .



- Математичне сподівання, дисперсія та середньоквадратичне відхилення числа і заявок в найпростішому потоці:

$$M(i) = \int_0^{\infty} iP_i(t)dt = \lambda t \quad (2.6)$$

$$D(i) = \lambda t \quad (2.7)$$

$$\sigma(\Delta t) = \sqrt{\lambda t} \quad (2.8)$$

При  $t = 1$ :

$$M(i) = D(i) = \lambda \quad (2.9)$$

Ця рівність характерна і для найпростішого потоку, і для будь-якого стаціонарного та ординарного потоку.

Середня тривалість інтервалу часу  $\Delta t$  між сусідніми викликами розраховується як математичне очікування у вигляді:

$$M(\Delta t) = \int_0^{\infty} tP(\Delta t)dt = \int_0^{\infty} t\lambda e^{-\lambda t}dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.10)$$

Дисперсія  $\Delta t$ :

$$D(\Delta t) = \int_0^{\infty} t^2 P(\Delta t)dt - M^2(\Delta t) = \int_0^{\infty} t^2 \lambda e^{-\lambda t}dt - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2} \quad (2.11)$$

Середньоквадратичне відхилення інтервалу  $\Delta t$ :

$$\sigma(\Delta t) = \sqrt{\frac{1}{\lambda^2}} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.12)$$

Рівність математичного очікування і середньоквадратичного відхилення інтервалу часу між сусідніми заявками в потоці – це також є ознакою показникового розподілу випадкової величини.

Важливе співвідношення між інтенсивністю потоку та інтервалом часу між сусідніми заявками:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\Delta t} \quad (2.13)$$

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.14)$$

де  $\overline{\Delta t}$  – середній інтервал часу між сусідніми викликами.

$\lambda$  – інтенсивність потоку або кількість викликів, які за одиницю часу.

Властивості найпростішого потоку:

- стаціонарність;
- ординарність;
- відсутність післядії.

Приклад. Нехай є магазин, в який час від часу заходять покупці. При певних допущеннях час між появами двох послідовних покупців буде випадковою величиною з експоненціальним розподілом. Середній час очікування нового покупця (див. нижче) дорівнює  $\frac{1}{\lambda}$

Сам параметр  $\frac{1}{\lambda}$  тоді може бути інтерпретований як середнє число нових покупців за одиницю часу або інтенсивність потоку.

Для отримання значень випадкових величин, які характеризують модельований потік заявок використовується метод, заснований на наступній **теоремі**: *якщо випадкова величина  $\rho$  має щільність розподілу  $f(\rho)$ , то розподіл випадкової величини  $\varepsilon$  є рівномірним на інтервалі  $[0,1]$*

$$\varepsilon = \int_0^{\rho} f(x) d(x) \quad (2.15)$$

Визначення  $\varepsilon$  для функції експоненціального розподілу, визначеної на дискретному часі  $t_i$ :

$$f(x) = p(t_i) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.16)$$

Вирішуючи дане рівняння відносно детермінованих величин  $\{\rho\}$  можна отримати формулу для розрахунку значень випадкової величини  $\rho_i$ :

$$\rho_i = -\frac{1}{\lambda} \ln \varepsilon_i \quad (2.17)$$

де  $\varepsilon_i$  – випадкова величина, рівномірно розподілена на інтервалі  $[0; 1]$ .  
Користуючись цією формулою можна отримати безліч значень  $\rho_i$ , які будуть відповідати експоненціальній щільності розподілу.

На основі послідовності випадкових величин  $\rho_i$  можна отримати послідовність моментів надходження викликів в потоці:

$$t_1 = \rho_1;$$

$$t_2 = t_1 + \rho_2 = \rho_1 + \rho_2;$$

$$t_3 = t_2 + \rho_3 = \rho_1 + \rho_2 + \rho_3.$$

Загальний вираз для розрахунку моментів надходження заявок в потоці при експоненціальному розподілі інтервалу часу між сусідніми заявками має вигляд:

$$t_i = t_{i-1} + \rho_i = \sum_{j=1}^i \rho_j = \sum_{j=1}^i -\frac{1}{\lambda} \ln \varepsilon_j \quad (2.18)$$

### **Формування часу зайняття каналів.**

Сукупність часу звільнення каналів може бути визначена наступним чином:

$$t_{\text{обсл}} = t_i + \tau_i \quad (2.19)$$

де  $\tau_i$  – час обслуговування заявки (заявці каналу), що надійшла в момент часу  $t_i$ .

У припущенні, що час обслуговування розподілено по експоненціальному закону, щільність розподілу має такий вигляд:

$$\varphi(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (2.20)$$

де  $\mu$  – параметр потоку обслуговуваних викликів.

Параметр потоку обернено пропорційний середньому часу обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{\tau} \quad (2.21)$$

Аналогічно, тривалість обслуговування можна визначати у вигляді:

$$\tau_i = -\frac{1}{\mu} \ln \varepsilon_i \quad (2.22)$$

Для  $i \geq 1$  тривалість обслуговування  $\tau$  можна розрахувати за формулою:

$$\tau_i = \tau_{i-1} + \rho_i = \sum_{j=1}^i \rho_j = \sum_{j=1}^i -\frac{1}{\mu} \ln \varepsilon_j \quad (2.23)$$

де  $\varepsilon$  – розігране значення випадкової величини на інтервалі  $[0; 1]$  по рівномірному розподілу.

Метод розрахунку значень випадкових величин, підпорядкованих заданому розподілу на основі генерації рівномірно розподілених випадкових величин в інтервалі  $[0; 1]$ , дозволяє задати потоки заявок у вигляді імітації дискретних моментів часу їх виникнення. По-суті, в такий спосіб імітується процес надходження і обслуговування заявок в каналі, гілці, КЦ мереж зв'язку.

## 2.2 Модель експоненціального потоку в системі MS Excel

### Приклад імітаційної моделі М/М/1

Модель імітує роботу одноканальної системи обслуговування з явними втратами при умовах:

- вхідний потік викликів – найпростіший з параметром  $l$ ;
- час обслуговування має експоненціальний розподіл з параметром  $m$ ;
- час – дискретний;
- система має два стаціонарних стани каналу:
  - вільний;
  - зайнятий;

Зміна стану відбувається при надходженні і завершенні обслуговування заявки. Тобто, *система обслуговування відображає дискретно-подієвий принцип моделювання.*

Масив випадкових чисел рівномірно розподілених на інтервалі [ 0 ; 1 ]		параметр потoku	Вхідний потік		Стан каналу обслугову- вання	Вихідний потік		заявки, що були обслуговані
для вхідного потoku	для часу обслуговуванн я	№ заявки в потоці	t між сусідніми заявками у вхідному потoci	T - час надходження заявок на обслугову- вання	0 - вільний / 1 - зайнятий	Тривалість обслугову- вання заявки	T - час вивільнення каналу обслугову- вання	
0,449966563	0,034569003	1	0,798582004	0,798582004	1	3,364797875	4,16337988	1
0,399012501	0,486572825	2	0,918762533	1,717344537	0	0,720368697	4,16337988	0
0,425216868	0,790931955	3	0,855155963	2,5725005	0	0,234543338	4,16337988	0
0,203503703	0,176394894	4	1,59207108	4,16457158	1	1,735030083	5,899601663	1
0,361451752	0,56620045	5	1,017626713	5,182198292	0	0,568807111	5,899601663	0
0,26448398	0,915773275	6	1,329974596	6,512172889	1	0,087986462	6,60015935	1
0,069255409	0,415544812	7	2,669954026	9,182126915	1	0,878164819	10,06029173	1
0,05986412	0,579422826	8	2,815677956	11,99780487	1	0,545722798	12,54352767	1
0,434979545	0,591988453	9	0,832456273	12,83026114	1	0,52426815	13,35452929	1
0,281611343	0,204845967	10	1,267227376	14,09748852	1	1,585496963	15,68298548	1
0,707028348	0,945984825	11	0,346684517	14,44417304	0	0,055528751	15,68298548	0
0,8387859	0,976367112	12	0,17579979	14,61997283	0	0,023916624	15,68298548	0
0,006697944	0,489901858	13	5,005954716	19,62592754	1	0,713550197	20,33947774	1
0,186605128	0,363290035	14	1,678760511	21,30468805	1	1,012553768	22,31724182	1
0,167204858	0,864563165	15	1,788535526	23,09322358	1	0,145530911	23,23875449	1
0,69462348	0,694473672	16	0,364385335	23,45760891	1	0,364601027	23,82220994	1
0,219880072	0,019677654	17	1,514673009	24,97228192	1	3,928271593	28,90055352	1
0,944163746	0,86886128	18	0,057455668	25,02973759	0	0,140571799	28,90055352	0
0,575364934	0,345318873	19	0,552750771	25,58248836	0	1,063287018	28,90055352	0
0,44867489	0,152118963	20	0,801456729	26,38394509	0	1,883092414	28,90055352	0
0,612700639	0,463628852	21	0,489878817	26,87382391	0	0,768670934	28,90055352	0
0,033456162	0,18805175	22	3,397519281	30,27134319	1	1,671038086	31,94238128	1
0,888993474	0,776639421	23	0,117665384	30,38900857	0	0,252779102	31,94238128	0
0,605670245	0,029390709	24	0,501419591	30,89042816	0	3,52707666	31,94238128	0
0,568164148	0,318257637	25	0,565344909	31,45577307	0	1,144894046	31,94238128	0
0,981723057	0,548586101	26	0,01844603	31,4742191	0	0,600411036	31,94238128	0
0,027487627	0,917098114	27	3,594019313	35,06823842	1	0,086540818	35,15477923	1
		27			14			14
					52%			

Рис.2.1. Модель найпростішого потоку в системі MS Excel

Модель M/M/1 (з втратами) ( $\lambda=1$ ,  $\mu=1$ )

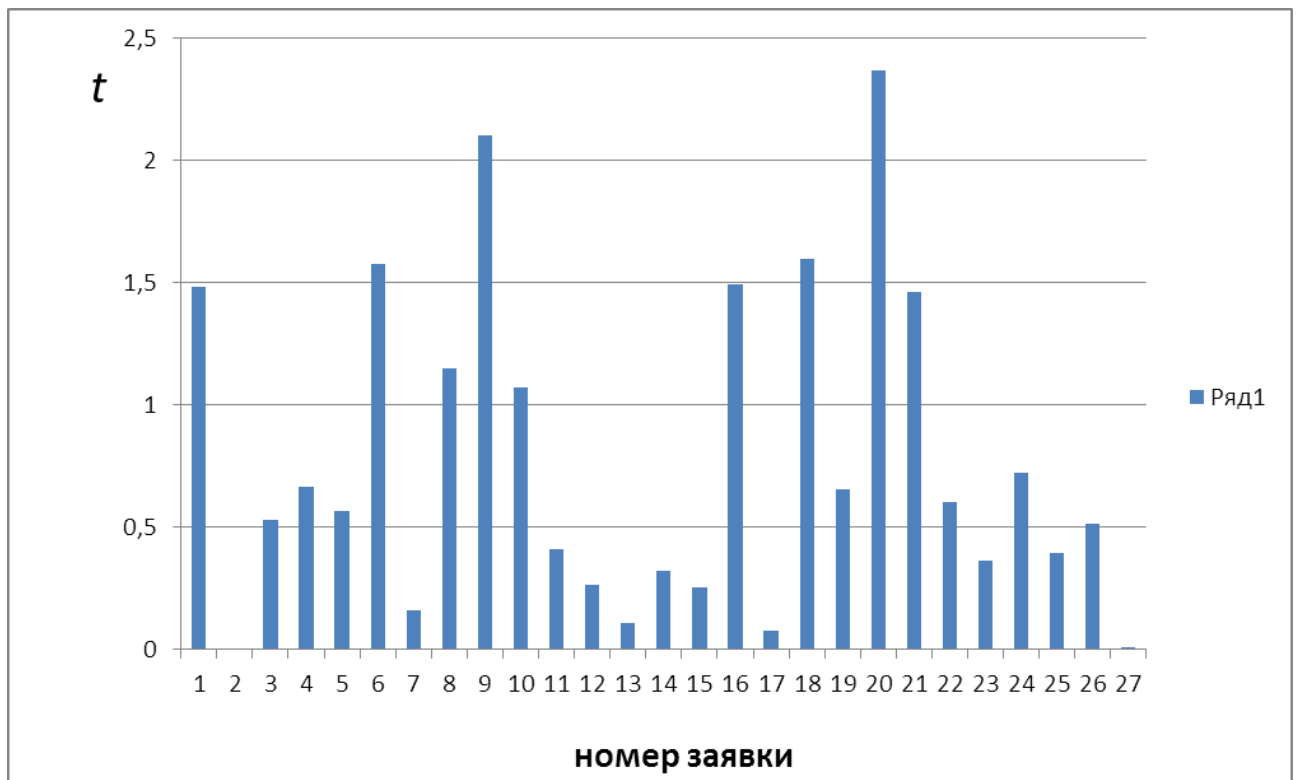


Рис.2.2. Гістограма розіграних значень інтервалу між сусідніми заявками.

Оцінка частоти значень

*Переваги:*

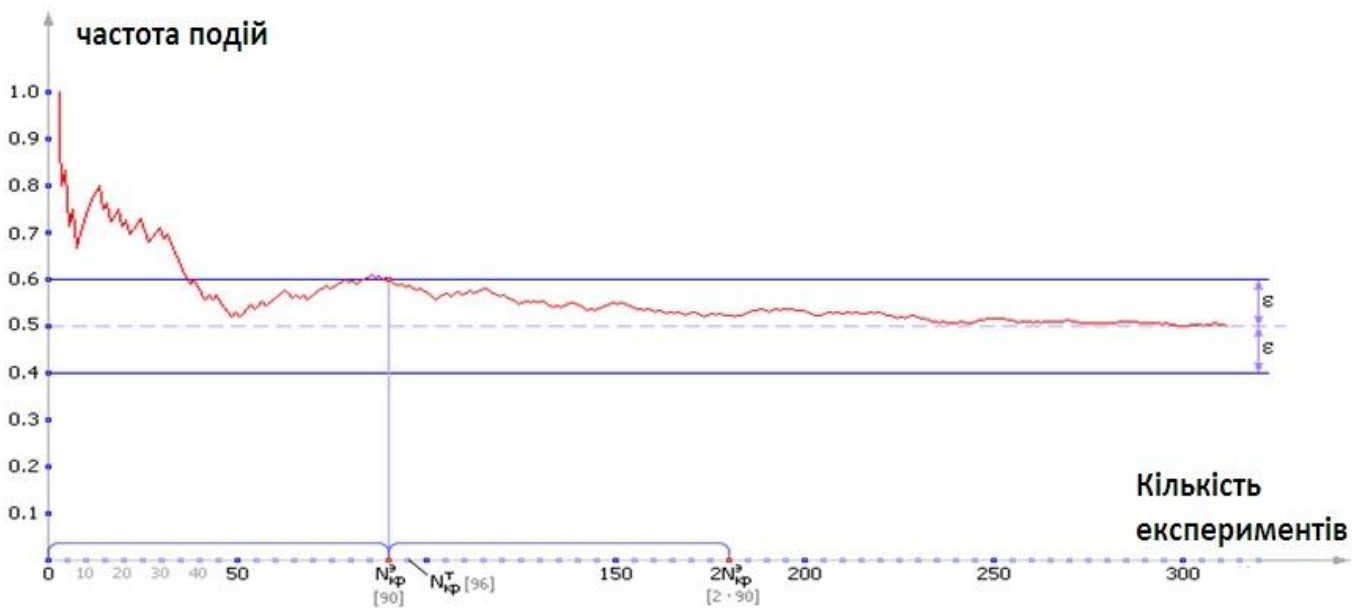
- простота реалізації (на основі вбудованих функцій Excel);
- невеликі витрати часу на створення моделі;
- дозволяє оцінювати основний показник – ймовірність втрати заявок через зайнятість обслуговуючого пристрою;
- активізує образне мислення.

*Недоліки:*

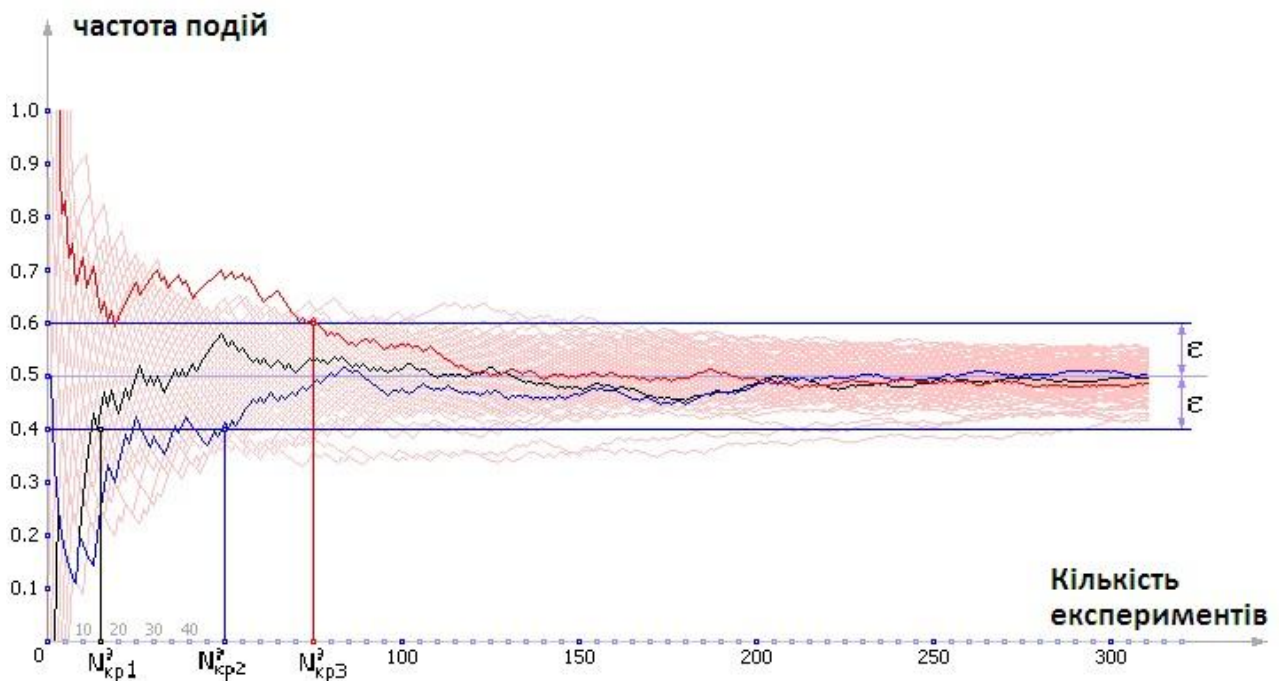
- модель працює в ручному режимі, не працює самостійно;
- кількість «прогонів» обмежено;
- статистична обробка виконується вручну.

Даний приклад демонструє ручний режим прогону модельних експериментів імітаційної моделі процесів надходження та обслуговування заявок.

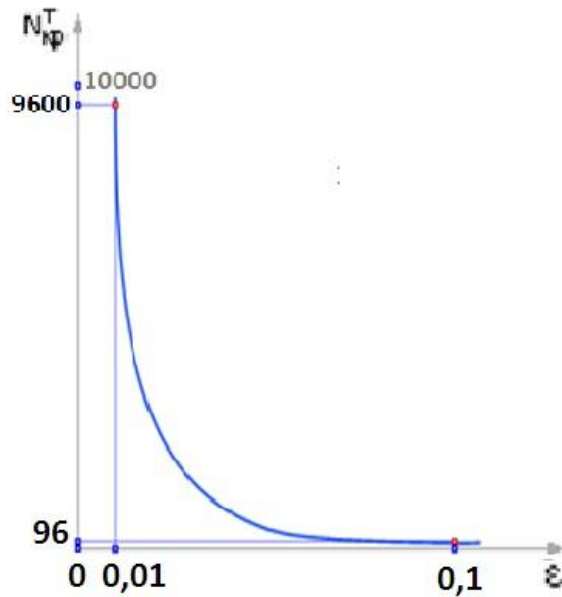
При збільшенні числа експериментів точність оцінки втрат збільшується (наближається до теоретичних оцінок), тобто оцінюваний результат наближається до точного значення або збігається. Зображено збіжність розподілу випадкової величини з нормальним розподілом до математичного сподівання. Як можна побачити з даного рисунку, зі збільшенням кількості експериментів зростає ступінь збіжності випадкової величини.



а)



б)



Теоретична залежність  
кількості експериментів,  
необхідних для забезпечення  
заданої точності при  $Q_F =$   
0.95

Точність $\epsilon$	Критичне число експериментів $N_{кр}^T$
0.1	96
0.01	9600
0.001	960000

в)

Рис.2.3. Ілюстрація процесу збіжності результату експерименту до  
теоретичного результату:

а) зображено збіжність розподілу випадкової величини з нормальним розподілом до математичного сподівання. Як можна побачити з даного рисунку, зі збільшенням кількості експериментів зростає ступінь (швидкість) збіжності випадкової величини.

б) даний рисунок ілюструє ситуацію: для різних кривих нормального розподілу випадкової величини можлива різна кількість необхідних експериментів для досягнення певного фіксованого довірчого інтервалу;

в) ілюстрація необхідної кількості експериментів, які необхідно провести для збільшення точності результатів на порядок.

## Висновки

- Метод розрахунку значень випадкових величин, підпорядкованих заданому розподілу на основі генерації рівномірно розподілених випадкових величин в інтервалі  $[0; 1]$ , дозволяє задати потоки заявок у вигляді імітації дискретних моментів часу їх виникнення.



- Модель в системі Excel імітує роботу одноканальної системи обслуговування з явними втратами, але в ручному режимі керування та статистичної обробки.

Контрольні запитання.

- Що таке «потік заявок»? Що потрібно для визначення потоку заявок?
- Які два види потоку заявок Ви знаєте (в часовому контексті питання)?

Наведіть приклади з по кожному з видів.

- Перелічіть основні параметри найпростішого потоку.
- Сформулюйте теорему стосовно рівномірного розподілу випадкової величини.
- Чи є сенс в збільшенні кількості експериментів в моделі для оцінки втрат. Відповідь аргументуйте.
- Які основні параметри мають бути задані для моделювання?
- Які основні функції EXCEL потрібні для моделювання ?
- В чому полягає точність статистичного оцінювання?
- Приведіть приклад застосування моделі ММ1 з реального життя.

### **3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ GPSS**

#### **3.1. Відмінні особливості системи GPSS World**

GPSS World – загальноцільова система імітаційного моделювання, що представляє собою потужну середу комп'ютерного моделювання загального призначення, розроблену для професіоналів в області моделювання. Розробник – компанія Minuteman Software (США).

GPSS World – комплексний моделюючий інструмент, який охоплює області як дискретного, так і неперервного комп'ютерного моделювання, має високий рівень інтерактивності та візуального представлення інформації.

GPSS World розроблений для оперативного отримання достовірних результатів з найменшими зусиллями. В системі добре опрацьована візуалізація процесу моделювання, а також вбудовані елементи статистичної обробки даних. В основі GPSS World покладено оригінальну систему комп'ютерного моделювання GPSS.

General Purpose Simulation System – загальноцільова система моделювання, яка була розроблена співробітником фірми IBM – Джефрі Гордоном в 1961 році (для ЕОМ IBM) і призначена для моделювання процесів в системах масового обслуговування (СМО). GPSS World – це прямий розвиток мови моделювання GPSS / PC для ОС Windows має розширені можливості, включаючи налаштовувану середу з інтегрованими функціями роботи з Інтернет.

## Розвиток системи GPSS

1960 р	1984 р	2000 р
GPSS	GPSS/PC	GPSS World
Великі ЕОМ (IBM, EC-1045, EC-1060)	Персональні комп'ютери (PC)	Персональні комп'ютери (PC)

## Основні версії:

- GPSS I (1961) (IBM);
- GPSS II (1962) ;
- GPSS III (1965) ;
- GPSS/360 (1967) ;
- GPSS V (1975) ;
- GPSS / H (1978) (Wolverine Software) ;
- GPSS / PC (1984) (Minuteman Software) ;
- Micro-GPSS (1) (1990);
- GRAMOS-GPSS (1993);
- GPSS World (1993) (Minuteman Software) ;
- Micro-GPSS (2) (1996, спрощена версія, призначена для вивчення мови GPSS і розробки найпростіших імітаційних моделей в мережі Інтернет).

*Сильна сторона GPSS World* – це його прозорість для користувача. Суть прозорості для користувача – вдалі імітаційні моделі є дуже цінними і придатні протягом тривалого періоду часу. Одним з найбільш ефективних, але найменш відомих переваг комп'ютерного імітаційного моделювання є можливість проникнення в саму суть поведінки системи, коли досвідчений професіонал в

області моделювання може бачити внутрішню динаміку в найбільш важливі моменти часу процесу моделювання.

Остання версія GPSS World 5.2.2. (2007 р) включає в себе ефективні засоби моделювання, орієнтовані на користувача.

### **Транслятор**

Високоєфективний транслятор є частиною програми GPSS World, яка створює об'єкти "Процес моделювання". Перед включенням в об'єкт "Процес моделювання" всі оператори моделі проходять трансляцію. В такий самий спосіб інтерактивні оператори транслуються в глобальній області видимості перш ніж вони будуть передані до існуючого об'єкта "Процес моделювання".

### **Архітектура**

На рівні інтерфейсу GPSS World являє собою реалізацію архітектури "документ-вид", загальної для всіх додатків (прикладних програм) операційної системи Windows. Об'єкти можуть бути відкриті в декількох вікнах, змінені і збережені на постійних носіях інформації. Звичне меню головного вікна і блокування недоступних команд меню, не відволікаючи уваги, направляє користувача до кінцевої мети. GPSS World був розроблений з метою досягти тісної інтерактивності навіть в багатозадачному середовищі з використанням віртуальної пам'яті.

### **Багатозадачність**

Багаторівнева архітектура GPSS World дозволяє разом запускати кілька процесів моделювання та експериментів. Одночасно виконуються не тільки оновлення вікон, введення користувачем інформації, дискове введення-виведення, друк і процес моделювання, — також в один і той же час може бути запущено будь-яку кількість процесів моделювання.

### **Віртуальна пам'ять**

Процеси моделювання безпосередньо не обмежуються розміром фізичної пам'яті з довільним доступом (ОЗУ), в якій виконується об'єкт "Процес моделювання". Використовуючи механізм віртуальної пам'яті, моделі можуть

досягати розміру до гігабайта. Кількість об'єктів також обмежується тільки розміром файлу підкачки. Для досягнення оптимальної продуктивності необхідно використовувати значний обсяг реальної пам'яті. Виділення та управління пам'яттю для об'єктів відбувається невидимо для користувача. Об'єкти автоматично створюються до тих пір, поки не буде потрібна додаткова інформація.

### **Інтерактивність**

GPSS World підтримує високий рівень інтерактивності навіть під час процесу моделювання. Використовуючи команду головного меню вікна моделі **Command (Команда)**, прискорюючі клавіші або настройки моделі, закріплюючи за функціональними клавішами власні команди, можна передавати будь-який оператор існуючому об'єкту *"Процес моделювання"*. Є можливість використовувати діалогове вікно *"Simulation Command"* ("Команда") для введення операторів, відсутніх у випадяючому меню, а за допомогою команди INCLUDE можна посилати процесу моделювання інтерактивні оператори будь-якої складності.

### **Візуалізація**

GPSS World відрізняється високим рівнем візуалізації процесу моделювання. Для спостереження та взаємодії з процесом моделювання використовуються двадцять різних вікон, що відповідають більшій частині об'єктів GPSS. Для отримання, збереження і друку візуального представлення стану процесу моделювання не потрібно додаткових зусиль, крім операцій з вікнами.

### **Анімація**

У GPSS World існує ряд анімаційних можливостей. Рівень їх реалізації змінюється від абстрактної візуалізації, що не вимагає ніяких зусиль, до високо реалістичних динамічних зображень, що включають в себе складні елементи, створені користувачем.

### **Абстрактна анімація**

У GPSS World вбудована функція комплексної стилізованої анімації. Ця функція забезпечується великою кількістю вікон, які динамічно відображають об'єкти GPSS в процесі моделювання по мірі зміни їх стану. Для створення такої анімації не потрібно додаткових зусиль. Графічні зображення можуть бути збережені для включення в звіти і / або роздруковані.

### **Пост-процесорна анімація**

GPSS World має зовнішній інтерфейс, який може підтримувати анімаційні пакети, керовані даними. Таким способом можуть бути розроблені фотореалістичні анімації. Для використання цього інтерфейсу необхідно створити вихідний потік, зміст і форматування даних якого задовольняє правилам анімаційного пакету, що поставляється стороннім розробником.

### **Оперативна анімація**

GPSS World має набір PLUS-процедур динамічного виклику, що дозволяють викликати функції у зовнішніх виконуваних файлах (exe-файлах). Це забезпечує оперативний зв'язок з анімаційними пакетами інших розробників.

PLUS – це невелика, проте ефективна процедурна мова програмування, створена із 12 типів операторів. До складу PLUS входить велика бібліотека процедур, *що містить математичні функції* і функції маніпуляції з рядками, і великий набір ймовірнісних розподілів. За допомогою підсистеми PLUS можна реалізовувати аналітичні розрахунки і алгоритмізацію процесів.

Відмінності GPSS Word від GPSS / PC:

- GPSS World базується на ідеї, що текстовий об'єкт "Модель" формується і / або модифікується, а потім транслюється з метою створення об'єкта "Процес моделювання". Цим він відрізняється від GPSS / PC, в якому використовуються поняття файлу програми та процесу моделювання.

- У GPSS World була повністю замінена операція завантаження моделі, що використовувалась в GPSS / PC. Замість послідовного введення і перегляду кожного рядка, одного за одним, в GPSS World застосовується повноекранний текстовий редактор і команда меню **Create Simulation** (Створити процес моделювання).
- GPSS World використовує транслятор моделі. Це прискорює час завантаження моделі в сотні разів. Помилки виявляються протягом трансляції та можуть бути виправлені за допомогою команди **Next Error** (Наступна помилка) з меню **Edit** (Правка) головного вікна.
- Можливо, найбільш помітною зміною в порівнянні з GPSS / PC є відсутність необхідності в нумерації рядків, яка фактично ігноруються в GPSS World. При використанні режиму ручного моделювання зберігається високий рівень інтерактивності. Це означає, що будь-який оператор може використовуватися протягом процесу моделювання в якості інтерактивного оператора.
- У GPSS World був збережений високий рівень інтерактивності. Будь-який оператор моделі може бути переданий для виконання виконуваних процесів моделювання. PLUS-процедури можуть бути визначені або навіть перевизначені "на льоту". Команди GPSS можуть використовуватися для перевизначення об'єкта або управління процесом моделювання. Блоки можуть використовуватися, так само, як і в GPSS / PC, для створення тимчасового блоку, в який направляється активний транзакт. Все це виконується після трансляції моделі за допомогою меню **Command** (Команда).
- У GPSS Word реалізована архітектура мультизадачності. Оперативне оновлення вікна виконується за допомогою черги повідомлень, що надходять від процесу моделювання.

- Аналогічно, більшість команд, отриманих об'єктом "Процес моделювання", перед виконанням поміщаються в чергу команд процесу моделювання.

### **3.2. Процедурне моделювання, його особливості**

#### **Розвиток системи GPSS World**

Незважаючи на початкову орієнтацію GPSS на моделювання систем масового обслуговування, система виявилася напрочуд довго живучою і здатною до розвитку. Трудомісткість опису модельованих систем в термінах бізнес-процесів може бути знижена за рахунок застосування таких продуктів, як Object GPSS або ISS 2000. Зокрема, створений у НТУУ «КПІ» під керівництвом В. Н. Томашевського пакет ISS 2000 являє собою лінгвістичний процесор, за допомогою якого користувач в діалоговому режимі створює автоматично GPSS-програму і запускає її на виконання.

#### **Імітація обслуговування абонентів таксофоном**

Опис процесу:

- імітація потоку приходу абонентів (через проміжки часу);
- очікування звільнення таксофона;
- заняття таксофона;
- використання таксофона в плинні тривалості розмови (збільшення часу на тривалість розмови) ;
- звільнення таксофона;
- видалення абонента.

Модель повинна містити блоки, що відображають перераховані етапи процесу.

Особливістю системи GPSS є те, що тривалість моделювання визначається не тривалістю інтервалів часу між подіями, а числом подій, що виникають в системі. Модель утворюється з модельних блоків та модельних об'єктів. Модельні блоки виконують процеси імітації дій. Модельні об'єкти можуть бути



фіксованими і динамічними. Динамічні об'єкти системи - це вимоги на обслуговування – транзакти. Транзакти створюються, переміщуються через модельні блоки, затримуються і знищуються (виводяться з моделі). Фіксовані об'єкти – це елементи СМО: черги, проділи, багатоканальні пристрої.

Приклад коду для системи GPSS World:

```

GENERATE (POISSON (1,40)) ; генерація потоку транзактів ;
                                Потік транзактів пуасонівський із середнім
                                інтервалом 40 одиниць
QUEUE mainQ                    ; Увійти в реєстратор черги
SEIZE F007                     ; Спроба зайняти пристрій
DEPART mainQ                   ; Покинути реєстратор черги
ADVANCE (Normal (1,35,4))      ; Моделювання процесу обслуговування.
                                ; Час обслуговування розподілений за
                                ; нормальним (гаусовим) законом
                                ; із математичним очікуванням 35 і
                                ; середньоквадратичним відхиленням 4

RELEASE F007                   ;Звільнити пристрій
TERMINATE                      ; видалення транзакта

```

Модельні блоки мають операнди:

**Block name A, B, C, D, E, F, G, H**

Транзакти мають параметри, які містять числові значення. Ці параметри називаються стандартними числовими атрибутами (СЧА) - Standard numeric attributes (SNA). Транзакт є прообразом заявки в термінології СМО. У процесі моделювання транзакти "створюються" (заявки надходять) і "знищуються" (заявки йдуть) так, як це необхідно за логікою моделі. З кожним транзактом може бути пов'язано певне число параметрів, що несуть необхідну інформацію про цей транзакт. Крім того, транзакти можуть мати різні пріоритети. Для

гнучкості моделювання, в системі є змінні, матриці, таблиці, функції, логічні перемикачі.

### **Транзакти**

Динамічність модельного об'єкта «транзакт» проявляється в механізмі «просування» транзакта в моделі (через модельні блоки / оператори). Процес моделювання представляється послідовністю часових подій обробки транзактів.

Транзакти можуть існувати в моделі як самостійні одиниці, так і розщеплюватися на транзакти з однаковими стандартними числовими атрибутами (СЧА). По-суті, механізм транзакцій відображає процес «подієвого» (событийного – рос.) перебігу процесу.

Всі події в моделі пов'язані зі змінами:

- надходження заявки в систему;
- зайняття обслуговуючого приладу;
- звільнення приладу;
- виведення заявки з системи.

Велика кількість параметрів транзакта містить інформацію про події (пов'язані з транзактами), про своє місцеположення в моделі і про поточний статус.

*Стани транзактів в моделі:*

- **ACTIVE** – транзакт знаходиться в ланцюзі поточних подій – Current Events Chain (CEC).
- **SUSPENDED** – призупинений транзакт, який очікує в ланцюзі майбутніх подій (the Future Events Chain – FEC) моменту свого просування по моделі, тобто моменту коли він стане активним.
- **PASSIVE** – транзакт, що знаходиться в користувальницькому ланцюгу подій (User Chain, Delay Chain, or Pending Chain), і чекає умови своєї «активізації».
- **TERMINATED** – транзакт, виведений з моделі.

*Параметри транзакта* – множина числових величин, що характеризують індивідуальні властивості транзакта:

- пріоритет;
- мітка часу (момент входження в блок MARK) ;
- номер ансамблю (при поділі / розмноженні транзакта у блоці SPLIT) ;
- індикатор затримки;
- індикатор трасування;
- поточного блок (номер поточного блоку);
- наступний блок (номер блоку, в який буде прямувати транзакт);
- ланцюг стану.

*Ланцюги стану транзакта*

- ACTIVE – транзакт знаходиться в ланцюзі поточних подій - Current Events Chain (CEC).
- SUSPENDED – призупинений транзакт, який очікує в ланцюзі майбутніх подій ( the Future Events Chain - FEC) моменту свого просування по моделі, тобто моменту коли він стане активним.
- PASSIVE – транзакт, що перебуває в користувацькому ланцюзі подій (User Chain, Delay Chain, or Pending Chain), і який очікує умови своєї «активізації».
- TERMINATED – транзакт, виведений з моделі

*Транзакт завжди знаходиться в одному з ланцюгів, відповідно до його стану.*

## **Основні оператори мови GPSS**

Оператор – це спеціальне ім'я (позначення) для визначеної дії (операції) над операндами (даними). Наведено перелік найбільш часто використовуваних операторів мови імітаційного моделювання з короткими поясненнями їх призначення

Таблиця 3.2.

<i><b>Оператор</b></i>	<i><b>Операнди</b></i>	<i><b>Описання</b></i>
<b>GENERATE</b>	A,B,C,D,E,F,G,H	Згенерувати вимогу
<b>QUEUE</b>	A,B	Збільшити вміст черги
<b>DEPART</b>	A,B	Зменшити вміст черги
<b>SEIZE</b>	A	Зайняти канал обслуговування
<b>RELEASE</b>	A	Звільнити канал обслуговування
<b>ENTER</b>	A,B	Збільшити місткість нагромаджувача
<b>LEAVE</b>	A,B	Зменшити місткість нагромаджувача
<b>ADVANCE</b>	A,B	Затримати переміщення вимоги
<b>ASSIGN</b>	A,B	Модифікувати параметр вимоги
<b>PREEMPT</b>	A,B,C,D,E	Усунути вимогу від обслуговування
<b>RETURN</b>	A	Відновити (повернути) канал обслуговування A
<b>BUFFER</b>		Йти «в хвіст» ланцюга поточних подій
<b>GATE</b>	A,B	Перемістити в залежності від стану
<b>LINK</b>	A	Зачекати споріднені вимоги
<b>UNLINK</b>	A,B,C,D,E,F,G	Ввести в ланцюг користувача
<b>&lt; Ім'я &gt; STORAGE</b>	A	Вивести із ланцюга користувача
<b>MARK</b>	A	Визначити місткість нагромаджувача
<b>MATCH</b>	A	Створити тимчасову мітку
<b>SELECT</b>	A,B,C,D,E,F,G	Зачекати іншу вимогу ( <i>Вибрати елемент</i> )
<b>SAVEVALUE</b>	A,B,C	Модифікувати значення, що зберігається
<i><b>Оператор</b></i>	<i><b>Операнди</b></i>	<i><b>Описання</b></i>
<b>MSAVEVALUE</b>	A,B	Модифікувати значення матриці
<b>PRIORITY</b>	A,B	Змінити пріоритет
<b>SPLIT</b>	A,B,C,D	Розділити вимогу
<b>TABULATE</b>	A,B	Зібрати табличні дані елемента

TERMINATE	A	Знищити (усунути) вимогу
TEST	A,B,C	Перемістити згідно порівняння
TRANSFER	A,B,C,D	Передати в нове місце розташування
ASSEMBLE	A	Зібрати споріднені вимоги
EQU	A,B	Визначити еквівалентність
MATRIX	A,B,C	Задати матрицю
INITIAL	A,B	Ініціалізувати
RMULT	A,B,C,D,E,F,G	Встановити значення генератора
<Ім'я>VARIABLE	A	Визначити цілу змінну
< Ім'я> FVARIABLE	A	Визначити дійсну змінну
< Ім'я > BVARIABLE	A	Визначити булеву змінну
< Ім'я > FUNCTION	A,B	Визначити функцію
< Ім'я > TABLE	A,B,C,D,E	Визначити таблицю
QTABLE	A,B,C,D	Визначити таблицю для черги
LOGIC	A	Змінити логічний перемикач
LOOP	A,B	Змінити параметр вимоги та зациклити
REPORT		Повідомити
COUNT	A,B,C,D,E	Помістити індекс об'єкта всередину параметра
TRACE		Почати трассировку
UNITRACE		Завершити трассировку
INDEX	A,B	Збільшити параметр вимоги
EXECUTE	A	Виконати блочну операцію елемента
WRITE		Розмістити текстову строку (рядок) в потоці даних
<i>Оператор</i>	<i>Операнди</i>	<i>Описання</i>
READ		Зчитати текстову строку з потоку даних
RESET		Скинути
ADOPT		Змінити номер ансамблю
CLOSE		Закрити потік даних

<b>JOIN</b>		Збільшити групу членів
<b>ALTER</b>		Змінити атрибути вимоги
<b>DISPLACE</b>		Перемістити вимогу до блоку
<b>EXAMINE</b>		Дослідити член групи
<b>FAVAL</b>		Зробити канал обслуговування доступним
<b>FUNAVAIL</b>		Зробити канал обслуговування недоступним
<b>ITEGRATION</b>		Включити або виключити інтегрування
<b>PLUS</b>		Оцінити PLUS-вираз
<b>SAVAL</b>		Зробити нагромаджувач доступним
<b>SANAVAIL</b>		Зробити нагромаджувач недоступним
<b>REMOVE</b>		Зменшити групу членів
<b>SEEK</b>		Встановити позицію в потоці даних
<b>SCAN</b>		Відновити інформацію групи членів

## Висновки

- GPSS World - комплексний моделюючий інструмент, який охоплює області як дискретного, так і безперервного комп'ютерного моделювання, що володіє найвищим рівнем інтерактивності і візуального представлення інформації..
- Особливістю системи GPSS є те, що тривалість моделювання визначається не тривалістю інтервалів часу між подіями, а числом подій, що виникають в системі. Модель утворюється з модельних блоків та модельних об'єктів.

Контрольні запитання.

- Чому система моделювання виникла у 60-х роках минулого століття?
- Чим відрізняється система GPSS від інших систем моделювання ?
- Поясніть архітектуру інтерфейсу GPSS World.
- Яким чином підтримується інтерактивність процесу моделювання?
- В чому динамічність транзактів?
- Що таке «стандартні числові атрибути(СЧА)»?
- Вкажіть основні стани транзактів в моделі?
- Що є оператором мови GPSS?
- Наведіть приклади операторів та їх призначення.

## 4. ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ GPSS WORLD

### 4.1 Основні блоки і команди мови GPSS

#### *Основні модельні блоки:*

Блок генерації транзактів:

GENERATE A, B, C, D, E

A – час між сусідніми генераціями.

B – модифікатор значення A: інтервал часу рівномірно розподілений в інтервалі  $[AB, A + B]$ .

C – час створення транзакта.

D – граничне число транзактів, яке може бути введено в модель через даний блок GENERATE.

E – пріоритет транзактів.

Блок GENERATE імітує потік заявок, що надходять в систему шляхом завдання інтервалу часу між сусідніми заявками в потоці.

#### Приклади опису вхідного потоку:

GENERATE 60; Задає генерацію заявок через кожні 60 одиниць часу

GENERATE 60,5; Генерація заявок з інтервалом часу, значення якого рівномірно розподілені в діапазоні  $[55; 65]$ .

При моделюванні важливо вибрати відповідність модельного часу з часом реальним процесу.

1 од. модельного часу  $\in \{1 \text{ с}, 1 \text{ хв}, 1 \text{ ч}, 0,001 \text{ с}, 1 \text{ рік}, \dots\}$

Відповідність модельного часу реального задає дослідник сам (перед написанням моделі)! Наприклад:

GENERATE 1; генерація заявок разів на хвилину (1 од. мод. часу = 1 хв)

GENERATE 60; генерація заявок разів на хвилину (1 од. мод. часу = 1 с)

Блок видалення транзактів з моделі:

TERMINATE A



A – обов'язковий операнд, задає значення інкрементального зменшення лічильника числа завершень модельних прогонів

Задання значення лічильника завершень:

START A

A – величина лічильника завершень.

Елементарна модель потоку заявок:

Модель 1 (рівномірний потік)

GENERATE 10,5

TERMINATE 1

Start 1000

Модель імітує потік з 1000 заявок, в якому значення інтервалу часу рівномірно розподілено в діапазоні [5,15].

Блок затримки транзактів:

ADVANCE A, B

A – обов'язковий операнд, задає середнє значення часу, після якого транзакт повинен вийти з ланцюга майбутніх подій, тобто затриманий до моменту настання події продовження руху по модельним блокам.

B – значення відхилення або функція, що модифікує величину A (рівномірне відхилення в інтервалі  $A + B$ ).

Приклади.

ADVANCE 60 ; Забезпечує затримку на 60 од. модельного часу

ADVANCE 101.6, 50.3; Транзакт затримується на час, рівномірно розподілене в інтервалі (101,6 - 50,3; 101,6 + 50,3).

Блок статистичної обробки:

TABULATE A, B

A – ім'я таблиці, збору та обробки статистичних даних.

Наприклад, коли транзакти входять в блок TABULATE:

TABULATE Sales ; здійснюється статистична обробка параметра, заданого в таблиці Sales, описаної в команді Table.

Команда TABLE визначає статистичну частість значень.

NAME TABLE A, B, C, D

Мітка / Операнд

NAME – мітка (ім'я) об'єкта.

A – аргумент таблиці, значення якого табулюються у вигляді частотного розподілу.

B – нижній інтервал значень (верхня межа першого частотного класу)

C – ширина інтервалу.

D – кількість інтервалів (частотних класів)

Приклад:

Sales TABLE M1, 0,0.5, 10

Дана команда наказує фіксувати час перебування транзактів в системі (M1-параметр транзакта (системний числовий атрибут),

визначає середні значення M1; будувати гістограму частоти потраплянь значень M1 в кожний з 10 інтервалів модельного часу в діапазоні від 0 з кроком 0,5. Оцінка частоти попадання в інтервали від 0 до 5 з кроком 0.5. Всього 10 інтервалів:

0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | ... | 5

## 4.2 Побудова моделей в системі GPSS

Елементарна модель найпростішого потоку заявок.

Модель 2 (з розрахунком інтервалу)

Tinter Table M1, 0,0.5,20 ; табуляція від 0 з кроком 0.5 20-ти інтервалів

TSRV FVARIABLE -1 # LOG ((1 + RN1) / 1000); інтенсивність - 1 заявка ;/

1од.модельного часу

GENERATE 1

ADVANCE V\$TSRV

TABULATE Tinter

TERMINATE 1

Start 10000

У модель вводяться 10000 транзактів. Кожен затримується блоком ADVANCE на тривалість Tsrv (відповідно розіграним значенням  $\Delta t$  за експоненціальним розподілом). Блок TABULATE враховує розігране значення  $\Delta t$  і блок TARMINATE виводить транзакти з моделі (лічильник завершень зменшується на 1).

Розрахунок значення змінної TSRV:

$$TSRV \text{ FVARIABLE } -1 \# \text{ LOG } ((1 + RN1) / 1000)$$

В даному випадку, задана інтенсивність - 1 заявка/1од.модельного часу. Розрахунок значень змінної TSRV заснований на застосуванні співвідношення між значенням ДСЧ  $\varepsilon_i$  і експоненціально розподіленої величини  $\Delta t_i$ :

$$\Delta t_i = -\frac{1}{\lambda} \ln \varepsilon_i \quad (4.1)$$

Інтервал часу  $\Delta t_i$  між сусідніми заявками в найпростішому потоці (експоненціальним розподілом  $\Delta t_i$ ) підпорядкований розподілу:

$$P(\Delta t) = P(\tau < \Delta t) = 1 - \lambda e^{-\lambda \Delta t}; \quad p(\Delta t) = \lambda e^{-\lambda \Delta t} \quad (4.2)$$

Генератор випадкових чисел (ГВЧ) RN1 видає випадкове ціле число в діапазоні 0 ... 999.

Розрахунок значення змінної TSRV:

$$TSRV \text{ FVARIABLE } -1 \# \text{ LOG } ((1 + RN1) / 1000)$$

Алгоритм генерації псевдовипадкових чисел в GPSS World базується на алгоритмі Лемера. Період послідовності дорівнює  $2^{31}-2$  і він не включає 0, тобто алгоритм дає псевдовипадкові числа на інтервалі  $[0; 2147483647]$  і генерує 2147483646 унікальних випадкових чисел до моменту їх повторення. Системний числовий атрибут класу RN видає числа від 0 до 999 включно. Для обчислень випадкових функцій використовуються випадкові числа в діапазоні від 0 до 0,999999 включно.

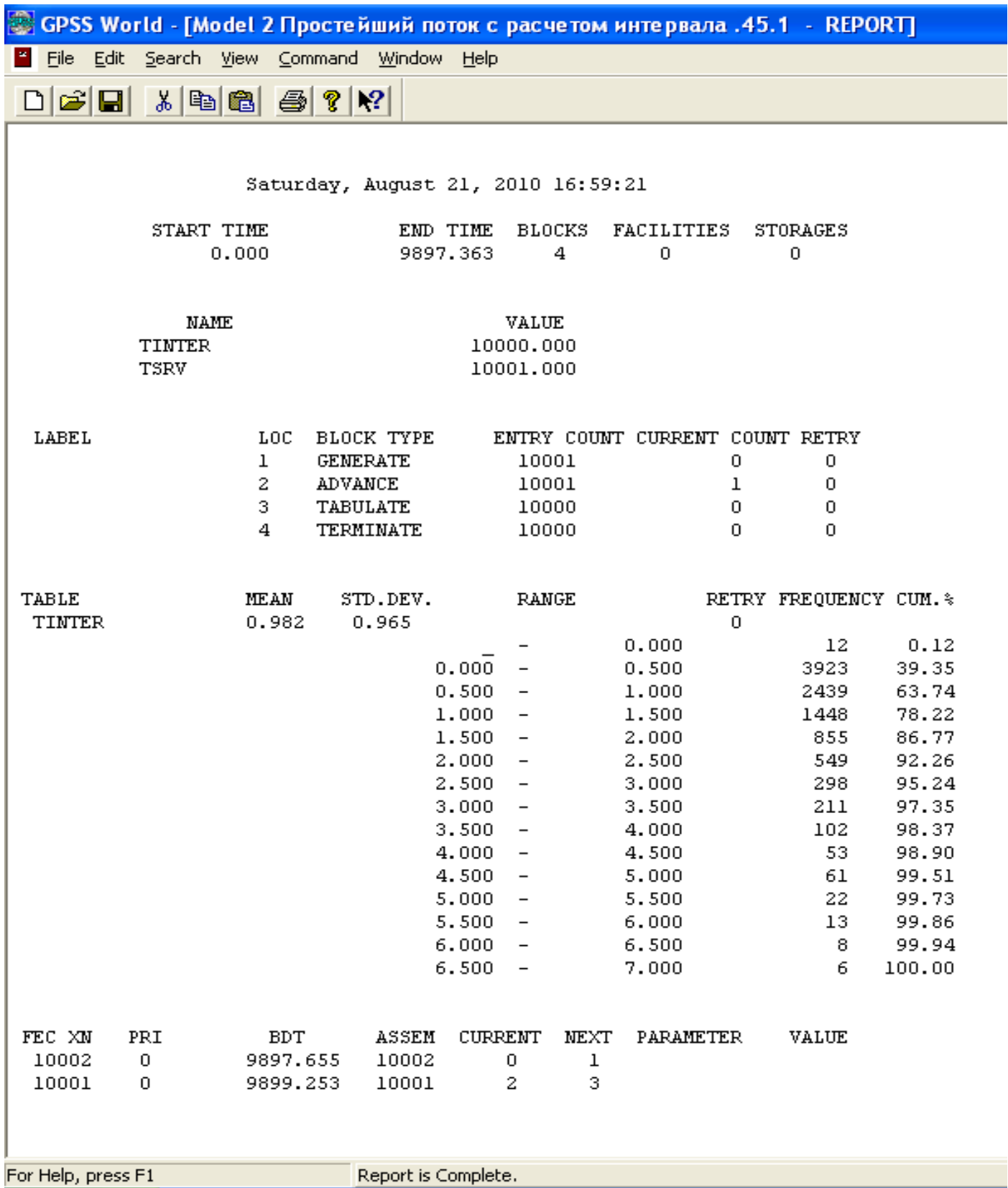


Рис.4.1 Виконання програми моделювання найпростішого потоку заявок

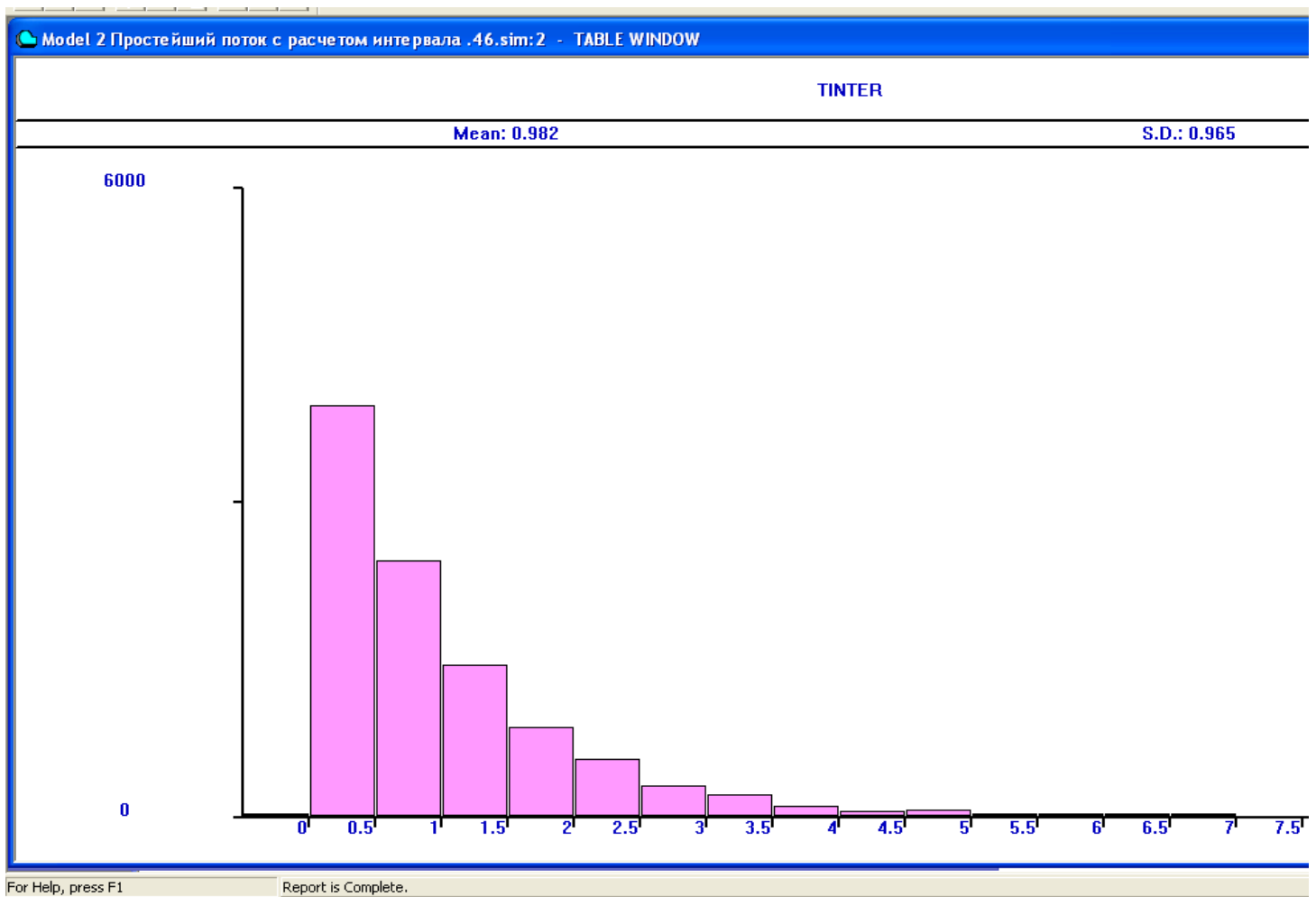


Рис.4.2 Діаграма значень інтервалу часу між заявками

Елементарна модель найпростішого потоку заявок

(На основі вбудованої функції Exponential)

Модель 3

Tinter Table M1, 0,0.5,20

GENERATE 1

ADVANCE (Exponential (1,0,1))

Tabulate Tinter

TERMINATE 1

Start 10000

У моделі використовується вбудована функція експоненціального розподілу

Real = EXPONENTIAL (Stream, Locate, Scale)

Аргументи:

- Stream – номер генератора випадкових чисел (ціле число).  
Обов'язковий. Дійсне ціле число.
- Locate ( $\lambda$ ) – значення зсуву, яке використовується для опису розподілу. Обов'язковий. Дійсне число. Може визначатися з виразу Expression.
- Scale ( $\beta$ ) – показник розподілу. Строго позитивний. позитивним.  
Обов'язковий. Дійсне число. Може визначатися з виразу Expression.

Значення функції:

Real - дійсне число, яке видається як окреме значення імовірнісного розподілу.

Функція щільності ймовірності:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-(x-\lambda)/\beta}, & x \geq \lambda \\ 0 & \end{cases} \quad (4.3)$$

Для імітації роботи обслуговуючих пристроїв з системою використовуються блоки:

- SEIZE – при вході в блок транзакт виконує спробу отримати право оволодіти приладом.
- RELEASE – при вході транзакта в блок прилад звільняється
- PREEMPT – при вході в блок транзакт виконує спробу отримати право оволодіти приладом, з можливістю переміщення раніше зайняв прилад транзакта.
- RETURN – при вході транзакта в блок повертається право використання приладом
- FAVAIL – при вході транзакта в блок прилад переводиться в стан доступності.
- FUNAVAIL – при вході транзакта в блок прилад переводиться в стан недоступності.

**Блоки, що моделюють роботу в черзі:**

- Блок заняття черги:

QUEUE A

A – ім'я черги

- Блок звільнення черги:

DEPART A

A – ім'я черги

Дані блоки ведуть статистичний облік параметрів черзі:

- довжину черги
- середню довжину черги
- час перебування транзакта в черзі.

**Блоки багатоканального пристрою (БКП):**

Задання ємності БКП:

A STORAGE B

A - ім'я багатоканального пристрою.

B - ємність багатоканального пристрою.

**Блок БКП:**

ENTER A, B

A - ім'я приладу.

B - число одиниць ємності, на які треба зменшувати ємність багатоканального пристрою при входженні в блок транзакта (за замовчуванням  $B = 1$ ).

**Блок звільнення БКП**

LEAVE A, B

A - ім'я приладу.

B - число одиниць ємності, на які треба збільшити ємність

багатоканального пристрою (за замовчуванням  $B = 1$ ) при входженні в блок транзакта.

### **Блоки примусової зміни стану БКП**

SAVAIL – переводить БКП в доступний стан.

SUNAVAIL - переводить БКП в недоступний стан.

### **Висновки**

- GPSS World включає основні модельні блоки, які імітують генерацію потоку замовлень та роботу системи обслуговування.
- Кожен модельний блок має вбудовану статистичну обробку параметрів моделювання.

Контрольні запитання.

- Опишіть блок генерації транзактів.
- Поясніть аргументи вбудованої функції експоненціального розподілу.
- Чому для моделювання обслуговуючого пристрою та багатоканальних пристроїв використовується пара модельних блоків?
  - Які блоки використовуються для імітації роботи обслуговуючих пристроїв з системою?
  - Що Ви знаєте про блоки моделювання роботи з чергами?
  - В чому полягає статистична обробка у таблиці статистичних даних ?
  - Як фіксується об'єм БКП?



## 5. МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ GPSS

### 5.1 Модель роботи переговорного пункту

Модель обслуговування абонентів на переговорному пункті описує процес обслуговування абонентів одним таксофоном переговорного пункту/

Опис процесу моделювання:

- імітація потоку приходу абонентів (через проміжки часу)
- очікування звільнення таксофона
- заняття таксофона
- використання таксофона в плинні тривалості розмови (збільшення часу на тривалість розмови)
- звільнення таксофона
- видалення абонента

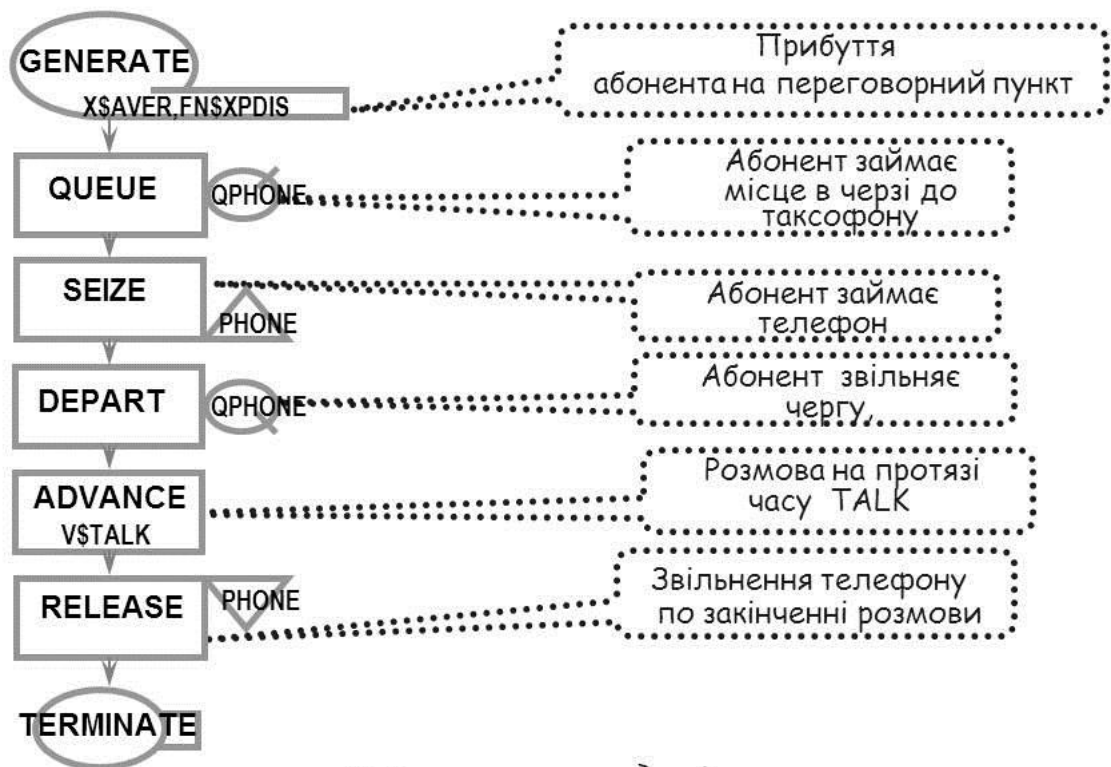
Допущення в моделі:

- потік абонентів – найпростіший
- тривалість розмови підпорядковується експоненціальним розподілом
- час очікування звільнення таксофона необмежено

Модель 4 складається з двох сегментів:

- Сегмент 1 - Генерація потоку заявок і моделювання процесу обслуговування

### 1-й сегмент моделі



### 2-й сегмент моделі

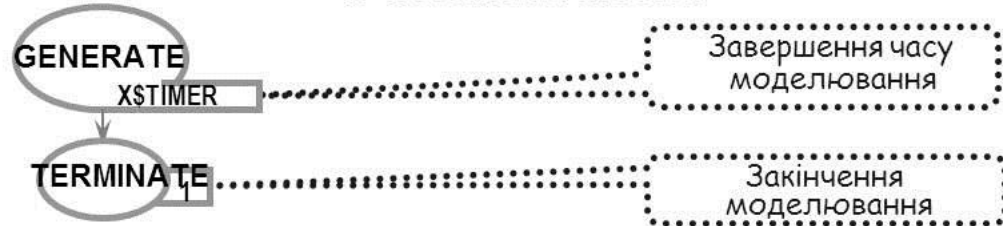


Рис. 5.1 Модель обслуговування абонентів на переговорному пункті

# \* Модель 4

```

*
FUNCTION DEFINITION(S)
XPDIS      FUNCTION      RN1,C24
0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38
.8,1.6/.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2
.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/.9998,8
*
*
SAVEVALUE INITIALIZATION(S)
INITIAL      X$AVER,300
INITIAL      X$AVTALK,180
INITIAL      X$TIMER,200000
*
*
VARIABLE DEFINITION(S)
*TALK        VARIABLE      X$AVTALK#FN$XPDIS
*****
*
MODEL SEGMENT 1
*****
GENERATE      X$AVER,FN$XPDIS
QUEUE         QPHONE
SEIZE         PHONE
DEPART        QPHONE
ADVANCE       V$TALK
RELEASE       PHONE
TERMINATE
*****
*
MODEL SEGMENT 2
*****
GENERATE      X$TIMER
TERMINATE     1

```

Рис. 5.2 Модель обслуговування абонентів на переговорному пункті:  
код програми

Friday, August 27, 2010 13:57:52

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	200000.000	9	1	0

NAME	VALUE
AVER	10001.000
AVTALK	10002.000
PHONE	10006.000
QPHONE	10005.000
TALK	10004.000
TIMER	10003.000
XPDIS	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
1	GENERATE		663	0	0
2	QUEUE		663	0	0
3	SEIZE		663	0	0
4	DEPART		663	0	0
5	ADVANCE		663	0	0
6	RELEASE		663	0	0
7	TERMINATE		663	0	0
8	GENERATE		1	0	0
9	TERMINATE		1	0	0

Рис. 5.3 Модель обслуговування абонентів на переговорному пункті:  
результат моделювання

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
PHONE	663	0.559	168.500	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
QPHONE	6	0	663	292	0.577	174.028	310.999

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
AVER	0	300.000
AVTALK	0	180.000
TIMER	0	200000.000

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
665	0	200000.426	665	0	1		
666	0	400000.000	666	0	8		

Рис. 5.4 Модель обслуговування абонентів на переговорному пункті:  
статистичні дані

## 5.2 Блоки умовного переходу

Блок TRANSFER реалізує умовну передачу транзакта в новий блок  
TRANSFER A, B, C, D

Операнди:

A – режим передачі: BOTH, ALL, PICK, FN, P, SBR, SIM, fraction, Name, PosInteger, ParenthesizedExpression, SNA, SNA \* Parameter, or Null.

B – номер блоку або мітка.

C – номер блоку або мітка або інкрементальної величини  
для режимів: FN і P.

D – модифікатор номери блоку для режиму ALL Mode.

За замовчуванням 1.

Приклад.

TRANSFER .75,, New\_Place

При надходженні транзакта в блок TRANSFER з ймовірністю 0.75 транзакт переходить в блок з ім'ям NEW\_PLACE. У решти 25% випадків, транзакти

переходять в блок, наступний за блоком TRANSFER (якщо вказаний операнд В, то в блок, зазначений операндом В).

#### Режим "Both" ("Both Mode")

У цьому режимі, коли транзакт входить в блок TRANSFER, перевіряється блок, позначений операндом В. Якщо цей блок «готовий» прийняти транзакт, то транзакт переходить в цей блок, інакше транзакт переходить в блок, позначений операндом С. Якщо і цей блок «не готовий », транзакт міститься в блоці.

#### Режим "ALL" ("ALL Mode")

При надходженні транзакта в блок TRANSFER, перевіряється блок, позначений операндом В, Якщо він «готовий» прийняти транзакт, транзакт переходить в нього. Якщо ні, перевіряються послідовно всі наступні до блоку зазначеного операндом С (включно), тобто всі блоки від покажчика в операнді В до покажчика в операнді С. Транзакт переходить в той блок, який (першим у цій послідовності блоків) готовий його прийняти .

#### Приклад.

TRANSFER BOTH, First\_Place, Second\_Place

Коли транзакт входить в блок TRANSFER, тестується блок з ім'ям First\_Place. Якщо транзакт може в нього увійти, то він переходить в цей блок. Якщо блок First\_Place не може прийняти транзакт, перевіряється блок з ім'ям Second\_Place. Якщо тест позитивний, транзакт переходить в цей блок. Якщо блок Second\_Place не може прийняти транзакт, транзакт затримується в блоці TRANSFER до найближчого моменту, коли він буде виведений.

#### Приклад,

TRANSFER ALL, First\_Place, Second\_Place, current

При надходженні транзакта в блок TRANSFER, тестується блок з ім'ям First\_Place. Якщо транзакт може в нього увійти, то він переходить в цей блок. Якщо блок First\_Place не може прийняти транзакт, перевіряється наступний за

ним блок на «можливість прийому транзакта». Аж до блоку з ім'ям, зазначеним у операнді С.

Сенс режиму «ALL» в тому, що перевіряються всі блоки від покажчика в операнді В до покажчика в операнді С. У операнді D фіксується покажчик блоку, який зміг прийняти транзакт.

Якщо жоден з блоків не може "прийняти" транзакт, транзакт затримується в блоці TRANSFER до найближчого моменту, коли він буде виведений. Перевірка такого моменту здійснюється в кожний момент модельного часу. Для реалізації механізму стримування (затримки) транзактів в блоках TRANSFER в системі використовується ланцюг повторних спроб (Retry Chain). У ланцюг повторних спроб транзакти потрапляють коли вони переходять в блоки перевірки умови можливості подальшого просування: аналізу можливості перемістити транзакт в блоки, зазначені в операндах В і С.

Подібний механізм перевірки (і при необхідності стримування (затримки) транзактів) виконується коли транзакт намагається увійти в блоки:

- GATE,
- TEST,
- TRANSFER ALL,
- TRANSFER BOTH.

Блок GATE змінює напрямок руху транзактів залежно від стану блоку

GATE O A, B

Операнди:

О - оператор перевірки (тестування) умови можливості увійти в блок.  
Умови перевірки: FNV, FV, I, LS, LR, M, NI, NM, NU, SE, SF, SNE, SNF, SNV, SV, U.

А - Покажчик блоку, до якого входить транзакт при позитивному тестуванні. Покажчик приймає значення: Name, PosInteger, ParenthesizedExpression, SNA, or SNA \* Parameter.

В - Показчик блоку, до якого входить транзакт при негативному тестуванні. Показчик приймає значення: Name, PosInteger, ParenthesizedExpression, SNA, or SNA \* Parameter.

#### Приклади.

##### GATE SNF MotorPool

Активний транзакт входить в блок GATE якщо ємність багатоканального пристрою (СКУ) MotorPool не повністю зайнята (Storage Not Full) і проходить у наступний блок. Якщо ємність БКП повністю зайнята, активний транзакт блокується в блоці GATE до моменту, поки не звільнитися хоча б один канал БКП MotorPool.

##### GATE SNF MotorPool, EXIT

У даному прикладі, якщо в момент надходження транзакта в блок GATE, ємність БКП MotorPool повністю зайнята, транзакт переходить до блоку з показником EXIT. Якщо є вільна ємність, транзакт переходить у наступний блок.

##### GATE SNE MotorPool, CupboardIsBare

У даному прикладі активний транзакт завжди входить у блок GATE. Якщо ємність (Storage Entity) БКП MotorPool не порожня (Storage Not Empty), тобто зайнятий хоч один канал), транзакт переходить у наступний блок. Якщо всі канали вільні (unsuccessful test), транзакт переходить в блок з показником CupboardIsBare.

Значення оператора перевірки (умови):

- FNV – перевірка стану приладу (Facility), зазначеного операндом А. Тест позитивний, якщо пристрій зайнятий.
- FV – перевірка стану приладу (Facility), зазначеного операндом А. Тест позитивний, якщо пристрій вільно.
- I – перевірка стану приладу (Facility), зазначеного операндом А. Тест позитивний, якщо пристрій в стані перерваного обслуговування.



- NI – перевірка стану приладу (Facility), зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо пристрій в стані неперервного обслуговування.
- NU – перевірка стану приладу (Facility), зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо пристрій не використовується. SE - перевірка стану багатоканального пристрою (БКП), зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо всі канали пристрої не працюють (не використовуються)
- SF – перевірка стану БКП, зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо всі канали пристрої працюють (використовуються).
- SNE – перевірка стану БКП, зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо зайняті всі канали пристрої.
- SNF – перевірка стану БКП, зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо є хоч один доступний канал для використання.
- SNV – перевірка стану БКП, зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо БКП недоступний.
- SV – перевірка стану БКП, зазначеного операндом A. Тест позитивний, якщо БКП доступний

### 5.3 Модель системи М/М/1 з відмовами

Імітаційна модель одноканальної системи обслуговування з відмовами (М/М/1)

Допущення:

- Вхідний потік викликів – найпростіший з параметром  $\lambda$ .
- Час обслуговування має експоненційний розподіл з параметром  $m$ .
- Час – дискретне.
- Система має два стаціонарних стани каналу:
  - вільний;
  - зайнятий;

- Зміни стану відбуваються при надходженні і завершенні обслуговування заявки.

Масив випадкових чисел рівномірно розподілених на інтервалі [ 0 ; 1 ]		параметр поточу	Вхідний потік		Стан каналу обслуговува ння	Вихідний потік		заявки, що були обслуговані
для вхідного поточу	для часу обслуговуван ня	№ заявки в поточі	t між сусідніми заявками у вхідному поточі	T - час надходження заявок на обслуговування	0 - вільний / 1 - зайнятий	Тривалість обслуговування заявки	T-час звільнення каналу обслуговування	
0,18051029	0,80111015	1	1,711967521	1,711967521	1	0,221767623	1,933735144	1
0,86604943	0,169069294	2	0,143813297	1,855780818	0	1,777446625	1,933735144	0
0,29982801	0,651001891	3	1,20454628	3,060327097	1	0,429242733	3,48956983	1
0,11354302	0,510233967	4	2,175573508	5,235900606	1	0,672885899	5,908786505	1
0,97052346	0,332662424	5	0,029919699	5,265820305	0	1,100627046	5,908786505	0
0,2439422	0,504071646	6	1,410823971	6,676644276	1	0,685036867	7,361681143	1
0,01685721	0,993387993	7	4,082976815	10,75962109	1	0,006633963	10,76625505	1
0,5024482	0,990417998	8	0,68826273	11,44788382	1	0,009628205	11,45751203	1
0,8063043	0,964078983	9	0,21529407	11,66317789	1	0,036582055	11,69975995	1
0,71773613	0,400660063	10	0,331653285	11,99483118	1	0,914641935	12,90947311	1
0,4891089	0,899064609	11	0,715170125	12,7100013	0	0,106400379	12,90947311	0
0,02198413	0,50022758	12	3,817434269	16,52743557	1	0,692692124	17,22012769	1
0,94178127	0,754576453	13	0,059982225	16,58741779	0	0,281598676	17,22012769	0
0,61689675	0,93331324	14	0,48305361	17,0704714	0	0,069014401	17,22012769	0
0,88651882	0,925469455	15	0,120452921	17,19092433	0	0,077454152	17,22012769	0
0,35720987	0,616074092	16	1,029431787	18,22035611	1	0,484388044	18,70474416	1
0,37862757	0,326763397	17	0,971202211	19,19155832	1	1,118518927	20,31007725	1
0,76640549	0,653172432	18	0,26604389	19,45760221	0	0,425914123	20,31007725	0
0,94603447	0,188676148	19	0,055476277	19,51307849	0	1,667723238	20,31007725	0
0,85061571	0,737746928	20	0,161794831	19,67487332	0	0,304154429	20,31007725	0
0,11949486	0,903779638	21	2,124481917	21,79935524	1	0,101169711	21,90052495	1
0,00830979	0,327259629	22	4,790321354	26,58967659	1	1,117001451	27,70667804	1
0,8485322	0,155360254	23	0,16424724	26,75392383	0	1,862008642	27,70667804	0
0,45344179	0,032556908	24	0,79088837	27,5448122	0	3,424765705	27,70667804	0
0,05261555	0,902733515	25	2,944743638	30,48955584	1	0,10232788	30,59188372	1
0,42814246	0,184268421	26	0,848299288	31,33785513	1	1,691361776	33,02921691	1
0,1018261	0,069912314	27	2,284488865	33,62234399	1	2,660513481	36,28285748	1
		27			16			16
					59%			

Рис. 5.5 Модель в програмі Excel

Модель 5**Імітаційна модель М/М/1 (з відмовами) в системі GPSS Word**

Ttime TABLE M1, 0,0.5,20

GENERATE (Exponential (1,0,1))

QUEUE wait

TRANSFER both, met1, met2

met1 SEIZE Channel

DEPART wait

ADVANCE (Exponential (1,0,1))

RELEASE Channel

met2 TABULATE Ttime

TERMINATE 1

Start 1000

GPSS World Simulation Report - Model 5 MM1с <u>отказами</u> .26.1						
Friday, August 27, 2010 15:27:19						
START TIME		END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	
0.000		997.949	9	1	0	
NAME		VALUE				
CHANNEL		10002.000				
MET1		4.000				
MET2		8.000				
TTIME		10000.000				
WAIT		10001.000				
LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RET	
MET1	1	ENERATE	1001	0	0	
	2	QUEUE	1001	0	0	
	3	TRANSFER	1001	0	0	
	4	SEIZE	504	0	0	
	5	DEPART	504	0	0	
	6	ADVANCE	504	1	0	
	7	RELEASE	503	0	0	
MET2	8	TABULATE	1000	0	0	

Рис. 5.6 Імітаційна модель М/М/1 (з відмовами): звіт про виконання програми

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHANNEL	504	0.504	0.999	1	1000	0	0	0	0
QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY	
WAIT	497	497	1001	504	253.184	252.412	508.380	0	
TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%			
TTIME	0.503	0.866		0					
	-	-	0.000		497	49.70			
	0.000	-	0.500		202	69.90			
	0.500	-	1.000		120	81.90			
	1.000	-	1.500		64	88.30			
	1.500	-	2.000		44	92.70			
	2.000	-	2.500		25	95.20			
	2.500	-	3.000		23	97.50			
	3.000	-	3.500		11	98.60			
	3.500	-	4.000		5	99.10			
	4.000	-	4.500		5	99.60			
	4.500	-	5.000		2	99.80			
	5.000	-	5.500		1	99.90			
	5.500	-	6.000		0	99.90			
	6.000	-	6.500		0	99.90			
	6.500	-	7.000		0	99.90			
	7.000	-	7.500		1	100.00			
FEC	XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE	

Рис. 5.7 Статистичні дані

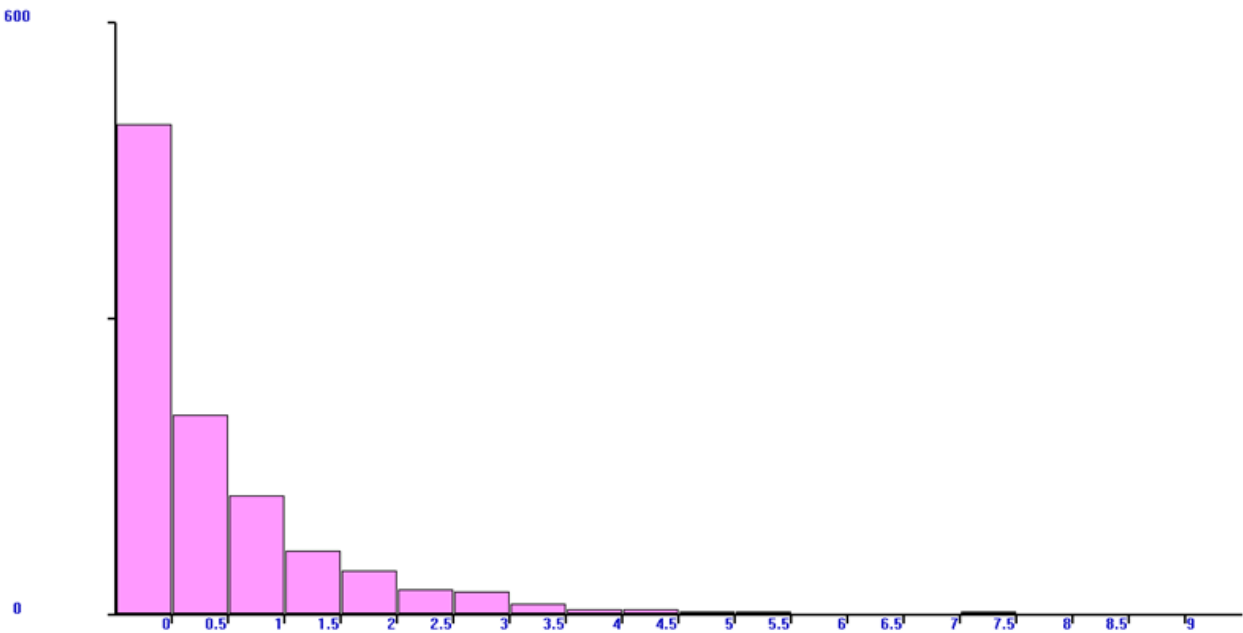


Рис. 5.8 Результат моделювання (графічно): відображення експоненціального розподілу обслуговуваних заявок.

## Висновки

- Функціональність умовних переходів значно підвищує можливість моделювання.
- Модель в системі GPSS має широкі можливості по відображенню процесу моделювання в реальному часі.

Контрольні запитання.

- Якою Ви бачите модель переговорного пункту? Прогляньте модель у прикладі та запропонуйте інші варіанти реалізації.
- Які блоки умовного переходу Ви знаєте?
- В яких режимах працює блок TRANSFER?
- Опишіть рух транзакта через блок TRANSFER в статистичному режимі та в режимі «ALL».
- Для чого використовується блок GATE?
- Чи є принципова різниця між блоком GATE і TRANSFER?
- Як у транзактах визначається номер блоку для продовження дії ?
- В яких параметрах транзактів фіксується час знаходження у моделі?

## 6. МОДЕЛЬ РОБОТИ CALL-ЦЕНТРУ

### 6.1 Модель роботи Call –центру

Модель Call - центру відображає роботу Call-центру, в якому заявки обслуговують декілька операторів.

Модель складається з двох сегментів:

- Сегмент моделювання процесу обслуговування.
- Сегмент управління модельним часом.

У моделі використовується *багатоканальний пристрій* (БКП) HOTLINE. Статистику збирає й обробляє блок QUEUE QHOTLINE. Вхідний потік заявок найпростіший. Середнє значення інтервалу між сусідніми заявками задається змінною  $X \sim AVER$ . Тривалість розмови з оператором підпорядковується експоненціальному розподілу і розраховується за формулою  $AVTALK \sim FN \sim XPDIS$ , де AVTALK – середній час розмови.

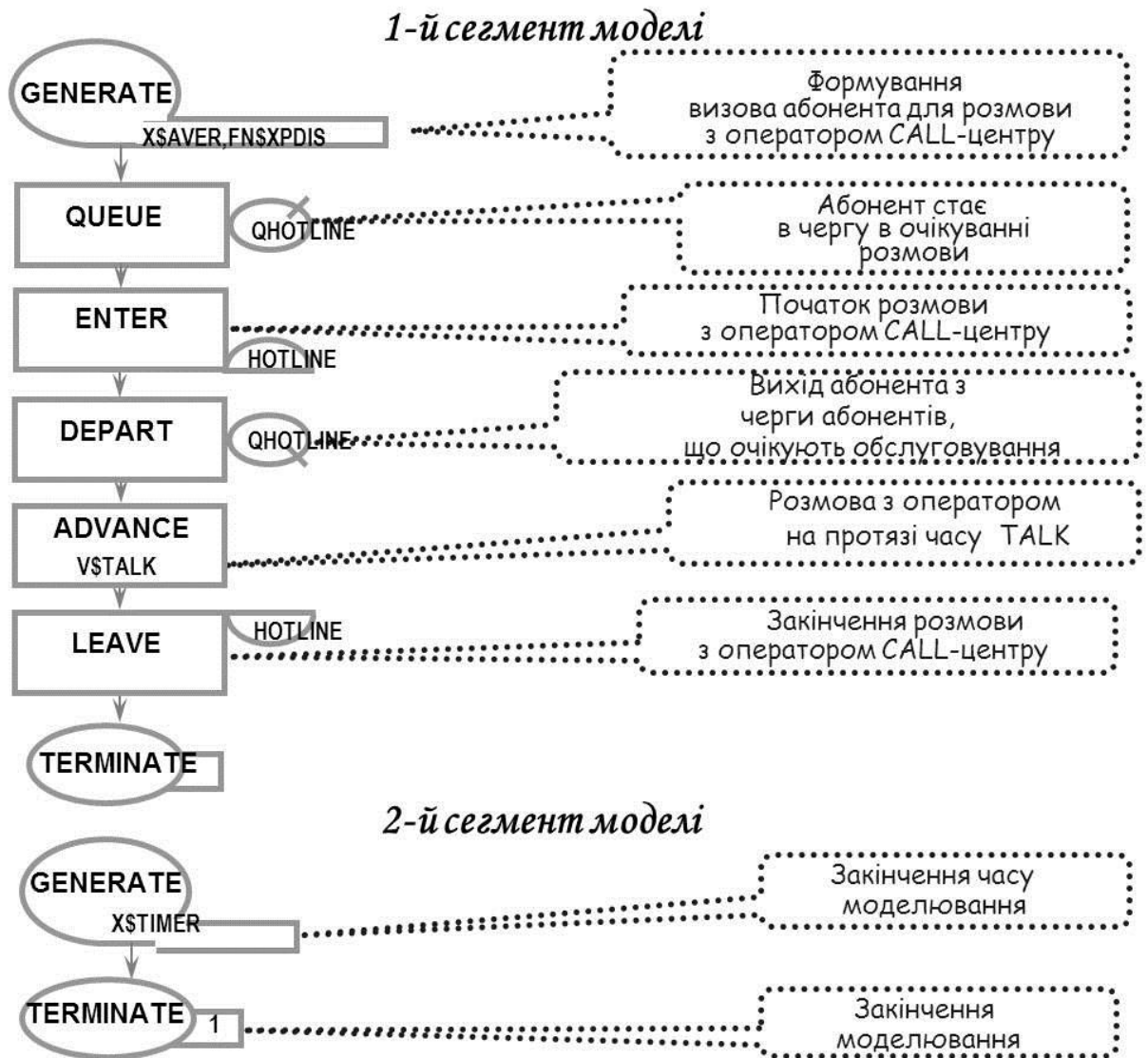


Рис. 6.1 Блок-схема моделі





GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.1.1  
Monday, August 30, 2010 17:56:17

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	300000.000	9	0	1

NAME	VALUE
AVER	10001.000
AVTALK	10002.000
HOTLINE	10005.000
QHOTLINE	10006.000
TALK	10004.000
TIMER	10003.000
XPDIS	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	3330	0	0
	2	QUEUE	3330	0	0
	3	ENTER	3330	0	0
	4	DEPART	3330	0	0
	5	ADVANCE	3330	5	0
	6	LEAVE	3325	0	0
	7	TERMINATE	3325	0	0
	8	GENERATE	1	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
QHOTLINE	11	0	3330	2327	0.542	48.872	162.258

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY DELAY
HOTLINE	5	0	0	5	3330	1	3.345	0.669

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
AVER	0	90.000
AVTALK	0	300.000
TIMER	0	300000.000

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
3327	0	300019.533	3327	5	6		
3332	0	300076.095	3332	0	1		
3331	0	300101.577	3331	5	6		
3326	0	300145.565	3326	5	6		
3330	0	300462.074	3330	5	6		
3329	0	301519.775	3329	5	6		
3333	0	600000.000	3333	0	8		

Рис. 6.3 Статистичні результати

У даному прикладі використовується 5-ти каналний пристрій.

За час моделювання на обслуговування надійшло 3300 викликів з яких 3325 обслужені. 5 транзактів, які залишилися, знаходяться в ланцюзі майбутніх подій (FEC).

У середньому в БКП було зайнято 3,345 каналів.

Коефіцієнт використання БКП (інтенсивність навантаження, що була обслугована) становить 0.669.

Максимально в черзі перебувало 11 транзактів

Середня довжина черги 0,542.

Середня тривалість очікування склала 48,872 модельних одиниць часу.

## 6.2 Системні числові атрибути

*Системні числові атрибути (СЧА)* – це числові атрибути різних об'єктів моделі (моделі, пристроїв, БКП, черг, транзактів, комірок пам'яті, ...).

У СЧА вказуються чисельні значення параметрів модельних об'єктів:

- імена СЧА зарезервовані;
- ім'я складається з двох частин:
  - групове ім'я;
  - конкретний член в групі.

Пряма адресація:

СЧА<sub>j</sub>,

де j – номер об'єкта.

Приклади.

Q3 - довжина черги номер 3.

FR2 - коефіцієнт використання пристрою 2.

Q \$ Base - довжина черги з ім'ям Base.

X1 - осередок пам'яті 1.

Непряма адресація:

ВЧА \* j,

де j - номер параметра активного транзакта

ВЧА \* name,

де name - ім'я параметра активного транзакта, що містить номер потрібного блоку

Приклади.

Q \* 3 - довжина черги номер якої знаходиться в параметрі 3 активного транзакта.

SR \* Rem - коефіцієнт використання пам'яті (БКП), номер якого знаходиться в параметрі з ім'ям Rem активного транзакта.

### Системні числові атрибути GPSS

Код	Значення	Примітка
<i>Системні числові атрибути OKU</i>		
Fj	Зайнятість пристрою j. Ціле значення.	1 – зайнятий; 0 – не зайнятий. Може бути змінений блоками SEIZE, RELEASE, PREEMPT і RETURN.
FIj	Перерваність пристрою j. Ціле значення.	1 – перерваний; 0 – не перерваний. Може бути змінений блоками PREEMPT і RETURN.
FVj	Доступність пристрою j. Ціле значення.	1 – доступний; 0 – не доступний. Може бути змінений блоками FAVAIL і FUNAVAIL.
FRj	Коефіцієнт використання пристрою j.	Виражається в тисячних частках, але значення СЧА – ціле, тобто якщо коефіцієнт рівний 0,88, то Fгj рівний 880.
FCj	Кількість транзактів, що займали пристрій j.	Збільшується при вході транзакта в блок SEIZE або PREEMPT.
FTj	Середній час використання пристрою j одним транзактом.	Визначається системою автоматично.
<i>Системні числові атрибути черг</i>		
Qj	Поточна довжина черги j. Ціле значення.	Збільшується при вході транзакта в блок QUEUE і зменшується при вході в блок DEPART.
QAj	Середня довжина черги j. Дійсне значення.	Зважене за часом кількість транзактів у черзі j.
QMj	Максимальна довжина черги j. Ціле значення.	Максимальна кількість транзактів що перебували одночасно в черзі j.
QCj	Загальне число входів у чергу j. Ціле значення.	Автоматично збільшується системою при вході транзакта в чергу j.
QZj	Число входів з нульовим часом перебування в черзі j.	Число входів транзактів, час знаходження яких у черзі дорівнює нулю.
QTj	Середній час перебування транзакта в черзі j.	Розраховується з урахуванням нульових входів.
QXj	Середній час перебування транзакта в черзі j.	Розраховується без урахування нульових входів.
<i>Системні числові атрибути комірок і матриць комірок</i>		
Xj	Вміст комірок j. Ціле, дійсне або строкове значення.	Змінюється блоком SAVEVALUE.
MXj (a,b)	Вміст комірок матриці j. Ціле, дійсне або строкове значення.	Значення комірки в рядку a й стовпці b. Змінюється блоком SAVEVALUE. Для матриць, що мають більш двох вимірів, всі інші індекси вважаються рівними 1. На відміну від СЧА класу MX, Plus-вирази можуть звертатися до будь-якого елемента багатомірних матриць.

### Системні числові атрибути GPSS (продовження)

Код	Значення	Примітка
MPj	Час проходження транзактом деякої ділянки моделі. Дійсне значення.	Обчислюється як різниця поточного абсолютного модельного часу й значення j-го параметра активного транзакта. Різниця – транзитний час – зберігається в j-му параметрі.
MI	Час перебування в моделі активного транзакта. Дійсне значення.	Обчислюється як різниця абсолютного модельного часу й позначки часу активного транзакта, у якій зберігається або час надходження транзакта в модель, або час останнього проходження транзактом блоку MARK без операнда A.
<i>Системні числові атрибути блоків</i>		
Nj	Загальне число входів транзактів в j-й блок. Ціле значення.	Збільшується при кожному вході транзакта в j-й блок.
Wj	Поточне число транзактів, що перебувають в j-му блоці. Ціле значення.	Збільшується при кожному вході транзакта в j-й блок і зменшується при кожному виході транзакта з j-го блоку.
<i>Системні числові атрибути БКП (пам'яті)</i>		
Sj	Поточний вміст пам'яті j. Ціле значення.	Змінюється блоками ENTER і LEAVE.
Rj	Число вільних одиниць пам'яті j. Ціле значення.	Змінюється блоками ENTER і LEAVE.
SRj	Коефіцієнт використання пам'яті j. Дійсне значення.	Виражається в тисячних частках, але значення СЧА — ціле, тобто якщо коефіцієнт рівний 0,65, то SRj рівно 650. Може бути нецілим.
SAj	Середнє значення зайнятому пам'яті j. Дійсне значення.	Зважене за часом середня кількість зайнятих елементів пам'яті.
SMj	Максимальна кількість елементів зайнятої пам'яті j. Ціле значення.	Максимальна кількість елементів пам'яті, яка була зайнята одночасно в процесі моделювання.
SCj	Лічильник використання пам'яті j. Ціле значення.	Загальна кількість елементів пам'яті j, що використовувались. Збільшується при кожному вході транзакта в блок ENTER.
STj	Середній час використання одного елемента пам'яті j.	Визначається системою автоматично.
SEj	Зайнятість пам'яті j.	1 — не зайнята; 0 — зайнята.
SFj	Заповненість пам'яті j.	1 — заповнена; 0 — не заповнена.
SVj	Доступність пам'яті j.	1 — доступна; 0 — недоступна.

Рис. 6.4 Приклади системних числових атрибутів (СЧА)

Змінні користувача.

Завдання користувацьких числових і строкових змінних:

- Ver EQU 2,65
- Stroka EQU 11
- Stolbez EQU 8
- Name EQU "Customer"; мітка оператора
- СЧА комірки пам'яті.

Комірки пам'яті – зберігають задані значення. До них можна звернутися в будь-який момент часу з будь-якого місця моделі. Це *стандартні числові атрибути* (СЧА). Перед початком моделювання значення осередків дорівнює 0.

Задати значення комірки пам'яті можна за допомогою команди:

INITIAL A, [B]

A – номер або ім'я комірки.

Позначення: X *додатнє число* - x32, X \$ ім'я - X \$ DEF.

B – значення змінної.

Початкове значення комірки пам'яті дорівнює 0!

Якщо операнд B не вказаний, а комірка описана, то значення комірки стає рівним 1.

Приклади.

INITIAL x32, 3895,56;

INITIAL X \$ DEF, Q \$ Pod (в комірку заноситься довжина черги Pod) ;

INITIAL X \$ Cost, Zena1 (в комірку заноситься значення змінної користувача Zena1).

INITIAL X \$ Time, "Result" (в комірку записується строкою константа).

INITIAL X1 (в комірку записується 1).

Для зміни значення зберігаємої комірки пам'яті використовується блок

SAVEVALUE A, B

При надходженні транзакта в блок SAVEVALUE значення, вказане в операнді B, стає значенням збереженої комірки, зазначеної операндом A.

SAVEVALUE 5 +, X2 (значення комірки 5 збільшується на значення в комірки 2).

SAVEVALUE VAD-, V \$ Hdl (значення комірки VAD зменшується на значення в комірки Hdl).

SAVEVALUE 3, (25 # X \$ Num1 + Q4).

SAVEVALUE 11, "Result".

### 6.3 Модель системи М/М/2 з відмовами і повторними викликами

```

*****
* Модель М/М/2 с отказами
*****
*
* Нагрузка 1Эрл
Sets      STORAGE  2
Transit   TABLE  M1,.5,1,20
          GENERATE      (Exponential(1,0,1))
Again1    GATE SNF Sets,Occupied
          ENTER  Sets
          ADVANCE      (Exponential(1,0,1))
          LEAVE  Sets
          TABULATE      Transit
Again2    TERMINATE      1

Occupied  TRANSFER      ,Again2 ; отказ в обслуживании
          START      10000

```

Рис. 6.6 Модель системи М/М/2 з відмовами і повторними викликами:  
приклад реалізації програми

GPSS World Simulation Report - Model 6 MM2 с отказами.50.1  
 Tuesday, October 19, 2010 11:23:30

START TIME		END TIME		BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000		10181.883		8	0	1
NAME		VALUE				
AGAIN1		2.000				
AGAIN2		7.000				
OCCUPIED		8.000				
SETS		10000.000				
TRANSIT		10001.000				
LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY	COUNT	CURRENT	COUNT RETRY
AGAIN1	1	GENERATE	10002	0	0	0
	2	GATE	10002	0	0	0
	3	ENTER	7998	0	0	0
	4	ADVANCE	7998	2	0	0
	5	LEAVE	7996	0	0	0
	6	TABULATE	7996	0	0	0
AGAIN2	7	TERMINATE	10000	0	0	0
OCCUPIED	8	TRANSFER	2004	0	0	0

Рис. 6.7 Звіт про виконання роботи моделі з відповідними статистичними результатами.

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
SETS	2	0	0	2	7998	1	0.793	0.396	0	0
TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE		RETRY FREQUENCY		CUM. %			
TRANSIT	1.009	1.025			0					
			-	0.500	3187	39.86				
			0.500 -	1.500	3005	77.44				
			1.500 -	2.500	1130	91.57				
			2.500 -	3.500	420	96.82				
			3.500 -	4.500	154	98.75				
			4.500 -	5.500	59	99.49				
			5.500 -	6.500	26	99.81				
			6.500 -	7.500	9	99.92				
			7.500 -	8.500	2	99.95				
			8.500 -	9.500	4	100.00				
FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE			
10000	0	10181.994	10000	4	5					
10003	0	10182.324	10003	0	1					
10001	0	10183.734	10001	4	5					

Рис. 6.8 Звіт про виконання роботи моделі з відповідними статистичними результатами (продовження)



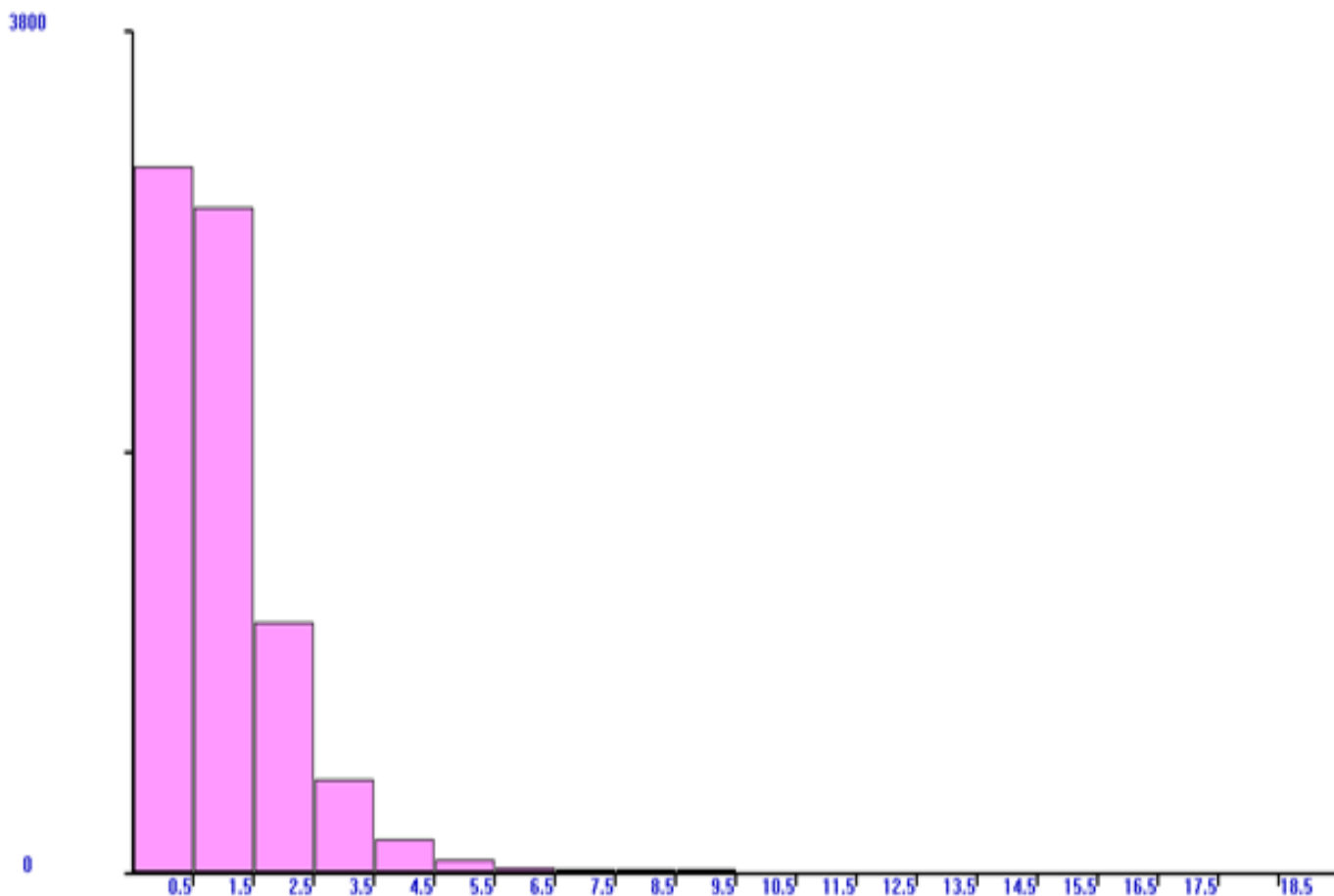


Рис. 6.9 Графічний результат: згідно початковим умовам, потік заявок, що поступають до моделі масового обслуговування, має експоненціальний розподіл (що й ілюструє даний рисунок). Також, можна спостерігати яка кількість заявок була обслугована в певний інтервал модельного часу.

### Модель системи М/М/2 з повторними викликами

**Модель 8** Модель М/М/2 ( вариант с повторным поступлением заявок на обслуживание)

```

Sets      STORAGE 2
Transit   TABLE  M1,.5,1,20
          GENERATE (Exponential(1,0,1))
Again1    GATE SNF  Sets,Occupied
          ENTER     Sets
          ADVANCE   (Exponential(1,0,1))
          LEAVE     Sets
          TABULATE  Transit
Again2     TERMINATE 1
Occupied   ADVANCE  5,1
обслуживание TRANSFER ,Again1 ;   Again1 - ссылка на повторное
          START    10000

```

Рис. 6.10 Код програми

## GPSS World Simulation Report - Model 7 MM2 с повторными вызовами.46.1

Tuesday, October 19, 2010 11:50:44

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	9985.916	9	0	1

NAME	VALUE
AGAIN1	2.000
AGAIN2	7.000
OCCUPIED	8.000
SETS	10000.000
TRANSIT	10001.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	10002	0	0
AGAIN1	2	GATE	15137	0	0
	3	ENTER	10001	0	0
	4	ADVANCE	10001	1	0
	5	LEAVE	10000	0	0
	6	TABULATE	10000	0	0
AGAIN2	7	TERMINATE	10000	0	0
OCCUPIED	8	ADVANCE	5136	1	0
	9	TRANSFER	5135	0	0

Рис. 6.11 Статистичні результати (а)

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
SETS	2	1	0	2	10001	1	1.025	0.512	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TRANSIT	3.588	4.929		0		
			- 0.500		2623	26.23
			0.500 - 1.500		2614	52.37
			1.500 - 2.500		1056	62.93
			2.500 - 3.500		354	66.47
			3.500 - 4.500		229	68.76
			4.500 - 5.500		641	75.17
			5.500 - 6.500		747	82.64
			6.500 - 7.500		359	86.23
			7.500 - 8.500		123	87.46
			8.500 - 9.500		121	88.67
			9.500 - 10.500		195	90.62
			10.500 - 11.500		241	93.03
			11.500 - 12.500		133	94.36
			12.500 - 13.500		61	94.97
			13.500 - 14.500		63	95.60
			14.500 - 15.500		70	96.30
			15.500 - 16.500		84	97.14
			16.500 - 17.500		61	97.75
			17.500 - 18.500		33	98.08
			18.500 - _		192	100.00

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
10003	0	9986.131	10003	0	1		
10002	0	9987.704	10002	4	5		
9995	0	9988.613	9995	8	9		

Рис. 6.12 Статистичні результати (б)

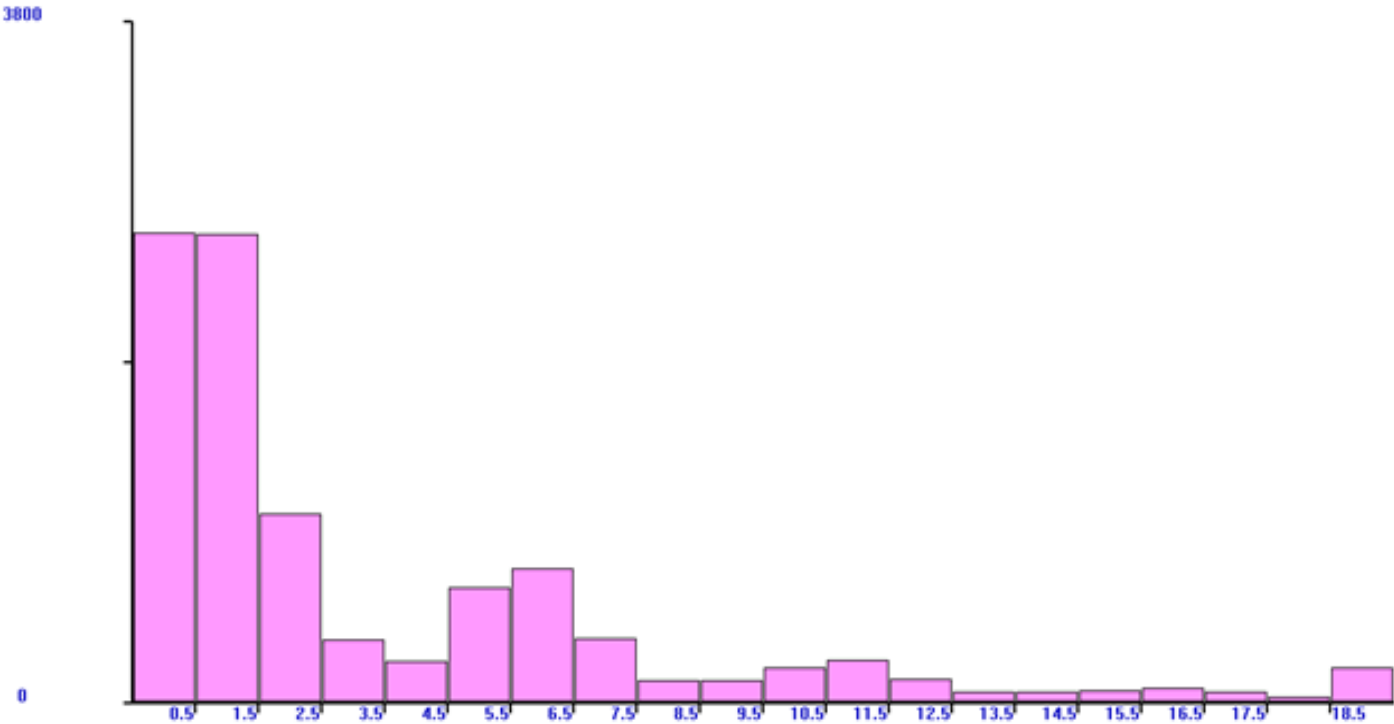


Рис. 6.13 Графічний результат

Порівняння моделей систем обслуговування в втратах і повторними викликами.

У моделях використовується однакові ресурси при використанні різних дисциплін обслуговування (дисципліна обслуговування в моделі змінюється тільки одним посиланням).

Порівняння коефіцієнта використання БКП показує, що в системі з повторними викликами коефіцієнт використання каналів вище. В системі з повторними викликами час перебування транзактів в системі вище.

Об'єкт моделі – багатоканальний пристрій (СКУ) однозначно відображає модель пучка каналів гілки, що зв'язує сусідні *комутаційні центри* (КЦ) мережі зв'язку.

### **Висновки**

- СЧА – це система фіксації основних параметрів моделювання у моделі.
- Для моделювання багатоканальних пристроїв використовується модельні блоки БКП, які мають розвинену статистичну обробку параметрів функціонування.

Контрольні запитання.

- Для чого використовуються СЧА?
  - Які параметри мають БКП?
  - Наведіть блок-схему моделі М/М/2 з повторними викликами.
  - Як, на Вашу думку, повинна бути реалізована робота Call – центру?
- Аргументуйте Ваші судження.
- Яким чином можна задати користувацькі числові та строкових змінні?
  - Як впливає потік повторних викликів на обслуговування первинних викликів?
  - Як змінюється ефективність використання каналів у одно- та багатоканальних системах обслуговування при однаковому підвищенні навантаження?
  - Порівняйте моделі систем обслуговування в втратах і повторними викликами.

## 7. МОДЕЛЬ РОБОТИ CALL-ЦЕНТРУ

### 7.1 Системні числові атрибути: матриці комірок, що зберігаються

Матриця комірок пам'яті - системний елемент, який являє собою упорядкований набір елементів пам'яті.

Задання матриці:

Name MATRIX A, B, C, [D], [F], [G]

Name-ім'я матриці (мітка - тільки строкова змінна. Не допускається використовувати число!).

Операнди:

A - не використовується (для сумісності із старими версіями).

B - число рядків матриці.

C - число стовпців матриці.

D, E, F - максимальна кількість елементів в третє, четвертому, п'ятому та шостому вимірах.

Приклад визначення матриці (5 x 7)

TraSr MATRIX, 5,7

Звернення до елементів матриці можна робити за допомогою СЧА – MX.

Приклади.

MX \$ Tab2 (P4, P \$ Nal) - елемент матриці Tab2, значення якого визначено через значення в параметрі транзакта 4 (рядок) і в параметрі з ім'ям Nal (стовпець).

MX \$ Sps (User, P3) - елемент матриці Sps, значення якого визначено через значення користувацької змінної User (рядок) і в параметрі 3 транзакта (стовпець).

MX \$ Sps (User, P3) - елемент матриці Sps, значення якого визначено через значення користувацької змінної User (рядок) і в параметрі 3 транзакта (стовпець).

Якщо задати:

Skl EQU 6; змінної привласнити значення 6,

то запис:

Sk1 MATRIX, 10,7

дозволяє замінити ім'я Sk1 на номер 6, за яким можна звертатися до матриці.

Наприклад.

MX6 (13,6) - визначається елемент матриці номер 6 з координатою (13, 6).

Приклад задання значень матриці 5x5:

CON MATRIX, 5,5; визначення імені і розміру матриці

INITIAL MX \$ CON (1,1), 0; завдання значення елементу (1,1)

INITIAL MX \$ CON (1,2), 1

INITIAL MX \$ CON (1,3), 0

INITIAL MX \$ CON (1,4), 0

INITIAL MX \$ CON (1,5), 1

.....

INITIAL MX \$ CON (5,4), 1

INITIAL MX \$ CON (5,5), 0

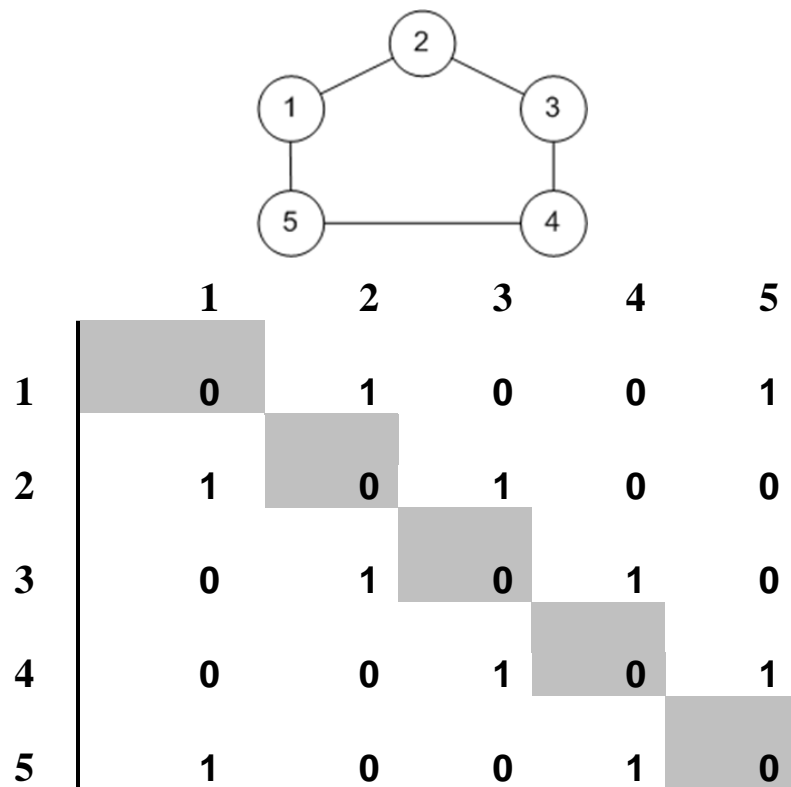


Рис. 7.1 Приклад задання матриці

## 7.2 Задання функцій розподілу користувачем

Вбудовані ГВЧ системи GPSS виробляють цілі випадкові числа, рівномірно розподілені від 0 до 999. При діленні на 1000 вийдуть числа на інтервалі  $[0; 1]$ .

Для моделювання випадкової величини  $X$  з заданою функцією розподілу  $F(X \leq x)$  використовується метод зворотної функції.

Якщо можна вирішити рівняння:

$$r = F(x), \quad (7.1)$$

в якому пов'язана випадкова величина  $x$ , підпорядкована розподілу  $F(x)$ , з випадковою величиною  $r$ , розподіленою рівномірно на відрізку  $[0, 1]$ , то можна знайти в явному вигляді зворотну функцію:

$$x = F^{-1}(r), \quad (7.2)$$

яка дозволяє для різних значень  $r$  (з діапазону від 0 до 0.999999) знайти значення  $x$ , у відповідності з функцією розподілу  $F(x)$ .

Функція задається у вигляді:

ім'я FUNCTION A, B

ім'я – унікальне ім'я функції, що використовується для посилань на неї;

A – стандартний числовий атрибут, що є аргументом функції;

B – тип функції і кількість точок таблиці, яка задає зворотну функцію.

Об'єкт типу функція має єдиний СЧА з назвою FN.

В системі GPSS можна задавати дискретні і безперервні числові функції.

Наприклад, значення випадкової величини  $X$  з рівномірним розподілом на відрізку  $[a, b]$  обчислюються за формулою:

$$x = F^{-1}(r) = a + r(b-a) \quad (7.2)$$

Якщо в блоках GENERATE A, B і ADVANCE A, B, використовується операнд B у вигляді модифікатора-інтервалу, то:

$$a = A-B; (b-a) = 2B \quad (7.3)$$

В системі GPSS використовується формула:

$$x = A - B + RN1 * (2B + 1) \quad (7.4)$$

Додаток 1 обумовлено тим, що в GPSS відкидається дробова частина обчисленого значення і якщо не додати 1, то блоки будуть виробляти випадкові величини, розподілені рівномірно на відрізку  $[AB, A + B - 1]$ , а не на відрізку  $[AB, A + B]$ .

Приклад задання дискретної функції (має 6 значень):

DISC FUNCTION RN3, D6

r1, x1/r2, x2/r3, x3/r4, x4/r5, x5/r6, x6

Символ D означає, що функція дискретна (від слова Discreet - дискретний),

Приклад задання функції користувачем.

Нехай випадкові інтервали приходу заявок в СМО приймають значення 30, 50, 80, 90 і 120 секунд з ймовірностями 0.1, 0.3, 0.2, 0.3 і 0.1 відповідно.

DISC FUNCTION RN1, D5

.1, 30/.4, 50/.6, 80/.9, 90/1, 120

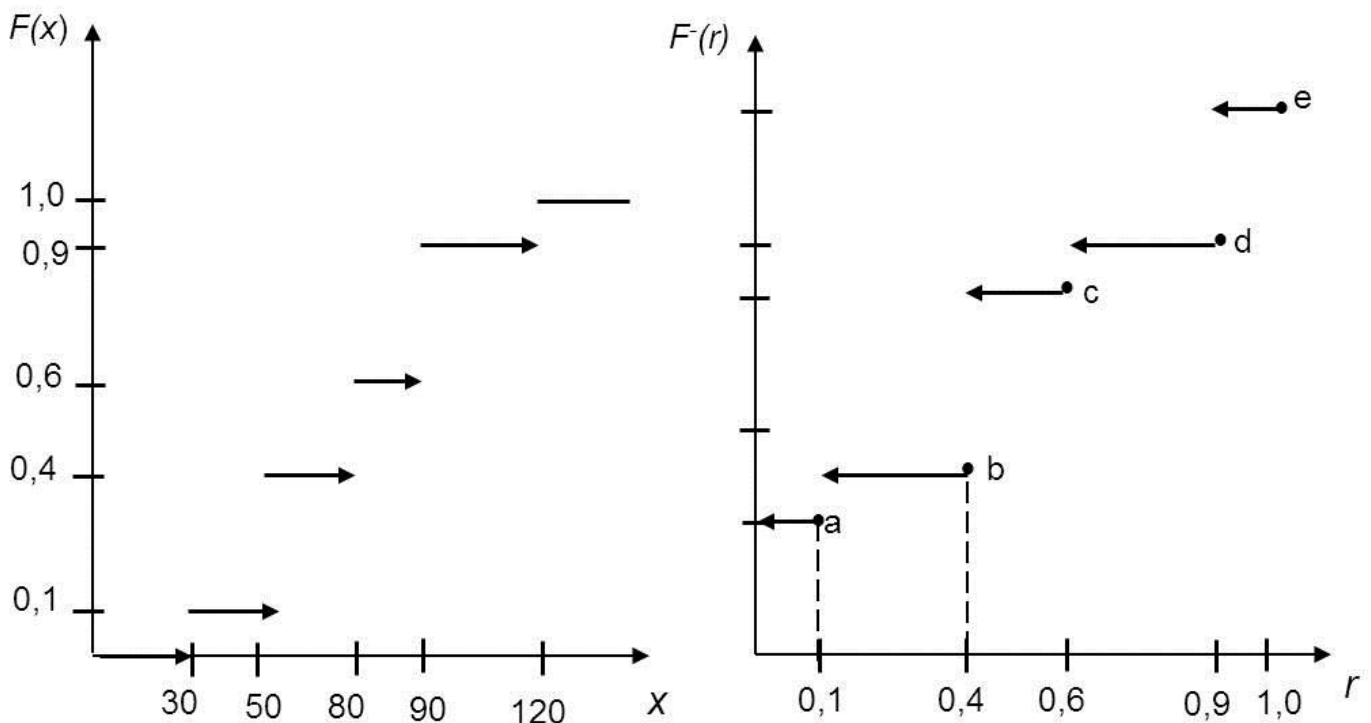


Рис. 7.2 Графіки функції розподілу прямого і зворотного функцій для дискретної випадкової величини



Приклад завдання неперервної функції (що має 10 значень).

DISTR FUNCTION RN1, C10

$r1, x1/r2, x2/r3, x3/r4, x4/r5, x5/r6, x6/r7, x7$

$r8, x8/r9, x9/r10, x10$

Символ С означає, що функція неперервна (від слова Continue – неперервний).

Обчислення значень неперервної функції проводиться таким чином.

Після звернення до генератору випадкових чисел (ГВЧ) (у нашому прикладі – генератор RN1), визначається інтервал  $(r_i, r_i + 1)$ , на який випадає отримане значення  $r$  аргументу-генератора. Потім на цьому інтервалі виконується лінійна інтерполяція з використанням відповідних значень  $x_i$  і  $x_{i+1}$ .

Значення FN функції визначається за формулою:

$$FN = x_i + (r - r_i) \frac{x_{i+1} - x_i}{r_{i+1} - r_i} \quad (7.5)$$

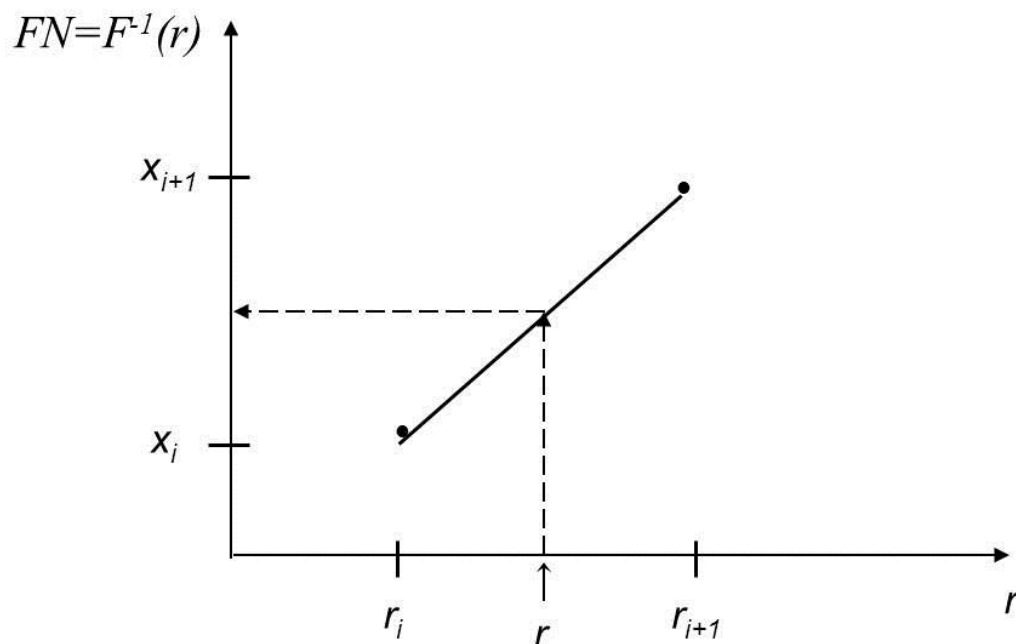


Рис. 7.3 Визначення значення зворотної функції

### Приклади

Задання функції рівномірного розподілу інтервалів приходу транзактів на інтервалі  $[50,90]$ :

## RAVN FUNCTION RN4, C2

0,50 / 1,91

Функція рівномірного розподілу:

## FROMAB FUNCTION RN2, D10

.1,10 / .2,20 / .3,30 / .4,40 / .5,50 / .6,60 / .7,70 / .8,80 / .9,90 / 1,100

Функція рівномірного розподілу:

## FU1 FUNCTION RN11, D9

.111,2 / .222,3 / .333,4 / .444,5 / .555,6 / .666,7 / .777,8 / .888,9 / 1,10

Задання експоненціального розподілу:

EXPDIS FUNCTION RN1, C24, 0/.1, .104/.2, .222/.3, .355/.4, .509/.5, .69/.6,  
 .915/.7, 1.2 / .75,1.38 / .8,1.6 / .84,1.85 .88,2.12 / .9,2.3 / .92,2.52 / .94,2.81 / .95,2.99  
 / .96,3.2 / .97,3.5 / .98 , 3.9/.99, 4.6  
 .995,5.3 / .998,6.2 / .999,7 / .9998,8

Дані 24 точки забезпечують досить точну апроксимацію.

Приклад використання.

## GENERATE A, FN \$ EXPDIS

У даному прикладі обчислення інтервалів часу проводиться шляхом множення операнда А (середнє значення) на обчислене значення функції. Причому, операнд А в даному блоці повинен бути рівний  $1/\lambda$ , а операнд В - посилання на функцію, яка в табличному вигляді задає залежність  $x = -\ln(1-r)$ .

**7.3 Модель PRI**

## Моделювання роботи каналу PRI (primary rate interface)

PRI - каналний інтерфейс системи передачі в системі з тимчасовим ущільненням, в якому швидкість основного цифрового каналу (ОЦК) становить 2048 кбіт / с.

$$2048 \text{ кбіт / с} = 32 * 64 \text{ кбіт / с}$$

Використання каналів:

- 30 робочих (розмовних) каналів;
- 1 загальний канал синхронізації (ЗКС) ;

- 1 канал сигналізації.

Всі розмовні канали є загальнодоступними і займаються для забезпечення розмови по мірі їх вільності.

*Модель 9.* Модель PRI - Модель імітації роботи багатоканального пристрою PRI як СМО з відмовами.

Мета дослідження – оцінити зайнятість каналів PRI при фіксованому (заданому) навантаженні. PRI – 30 канална СМО з відмовами.

Для оцінки стану зайнятості робочих каналів, в моделі використовується блок GATE з параметром SNF (storage not full). Якщо в момент надходження транзакта (заявки) в БКП є вільний канал, він займається, інакше заявка губиться. Тривалість заняття каналу заявкою визначається розіграним часом  $AVTALK \# FN \$ XPDIS$ , де AVTALK - середня тривалість розмови. Зайнятість каналів БКП оцінюється за СЧА БКП. Вхідний потік – найпростіший, тривалість обслуговування має експоненційний розподіл.

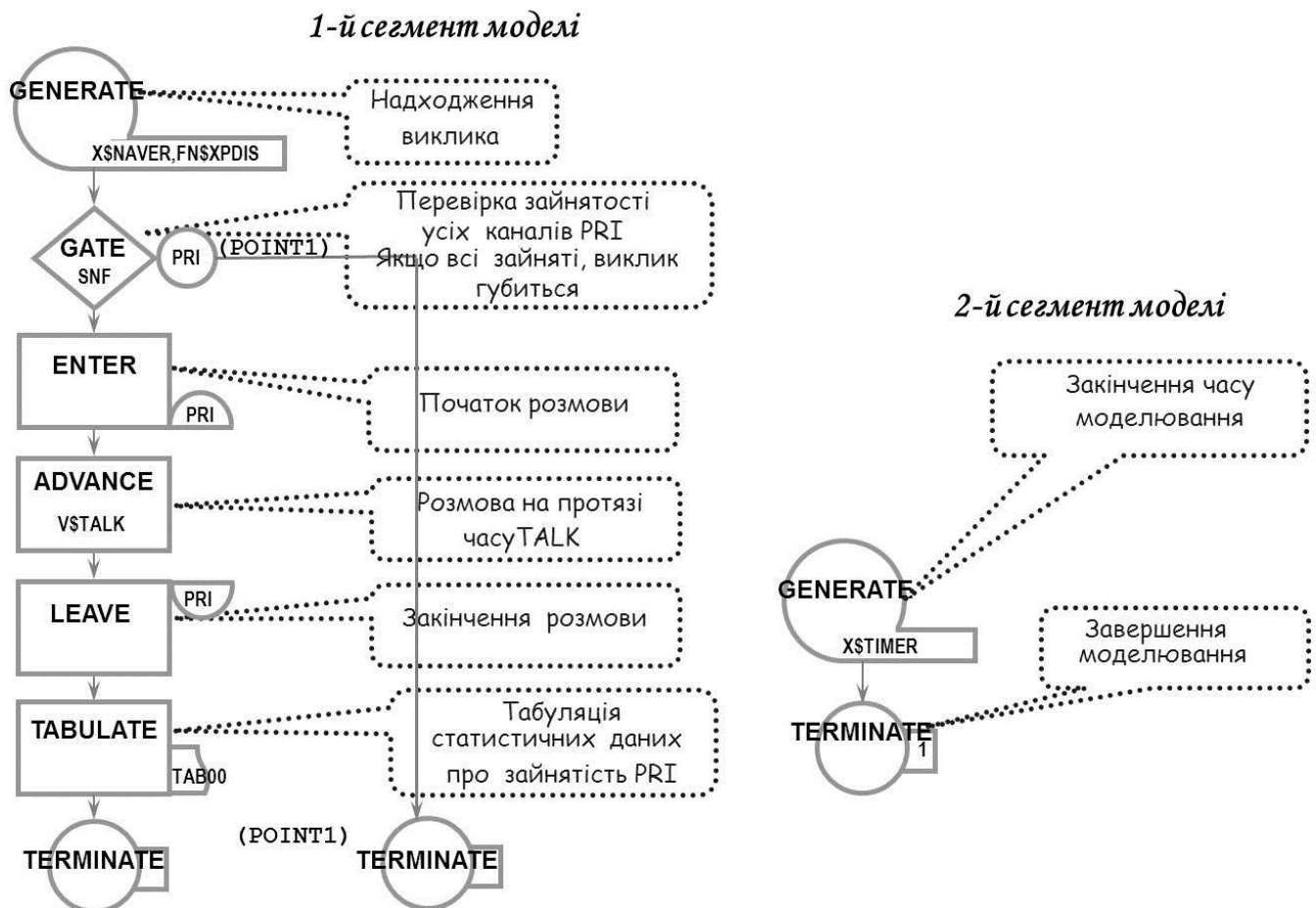


Рис. 7.4 Блок-схема моделі обслуговування викликів PRI

```

*
*
*      FUNCTION DEFINITION(S)
*
*      XPDIS      FUNCTION RN1,C24
*      0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38
*      .8,1.6/.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2
*      .97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/.9998,8
*
*
*      SAVEVALUE INITIALIZATION(S)
*
*
*      INITIAL    X$NAVER,50
*      INITIAL    X$AVTALK,1800
*      INITIAL    X$TIMER,2000000
*
*
*      VARIABLE DEFINITION(S)
*
*      TALK      VARIABLE  X$AVTALK#FN$XPDIS
*
*
*      STORAGE CAPACITY DEFINITION(S)
*
*
*      PRI      STORAGE   60
*
*
*
*      TABLE DEFINITION(S)
*
*
*      TAB00     TABLE    S$PRI,1,1,62
*

```

Рис. 7.5 Опис функцій в моделі PRI

```

*****
*
*      MODEL SEGMENT 1
*
*****
*
*      GENERATE      X$NAVER,FN$XPDIS
*      GATE SNF PRI,POINT1
*      ENTER  PRI
*      ADVANCE V$TALK
*      LEAVE  PRI
*      TABULATE      TAB00
*      TERMINATE
*
*
*      POINT1      TERMINATE
*
*****
*
*      MODEL SEGMENT 2
*
*****
*
*      GENERATE      X$TIMER
*      TERMINATE      1

```

Рис. 7.6 Опис сегментів моделі PRI

STORAGE	CAP.REM.MIN.MAX. ENTRIES AVL. AVE.C.UTIL.RETRY DELAY									
PRI	30	1	0	30	30510	1	27.573	0.919	0	0
TABLE	MEAN		STD.DEV.		RANGE		RETRY FREQUENCY CUM.%			
TAB00	26.786		2.222		0					
					8.000 -		9.000		1	0.00
					9.000 -		10.000		0	0.00
					10.000 -		11.000		1	0.01
					11.000 -		12.000		3	0.02
					12.000 -		13.000		5	0.03
					13.000 -		14.000		1	0.04
					14.000 -		15.000		1	0.04
					15.000 -		16.000		9	0.07
					16.000 -		17.000		27	0.16
					17.000 -		18.000		48	0.31
					18.000 -		19.000		103	0.65
					19.000 -		20.000		209	1.34
					20.000 -		21.000		425	2.73
					21.000 -		22.000		786	5.31
					22.000 -		23.000		1267	9.47
					23.000 -		24.000		1823	15.45
					24.000 -		25.000		2643	24.12
					25.000 -		26.000		3650	36.09
					26.000 -		27.000		4900	52.17
					27.000 -		28.000		6461	73.37
					28.000 -		29.000		8118	100.00
SAVEVALUE	RETRY		VALUE							
NAVER	0		50.000							
AVTALK	0		1800.000							
TIMER	0		2000000.000							

Рис. 7.7 Статистичні результати моделювання

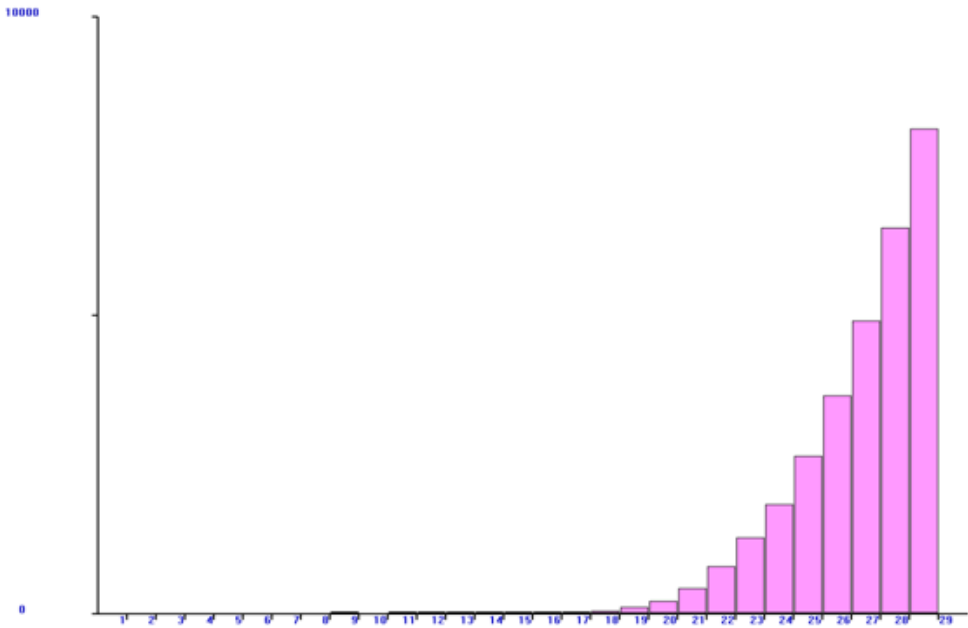


Рис. 7.8 Графічні результати моделювання (а)

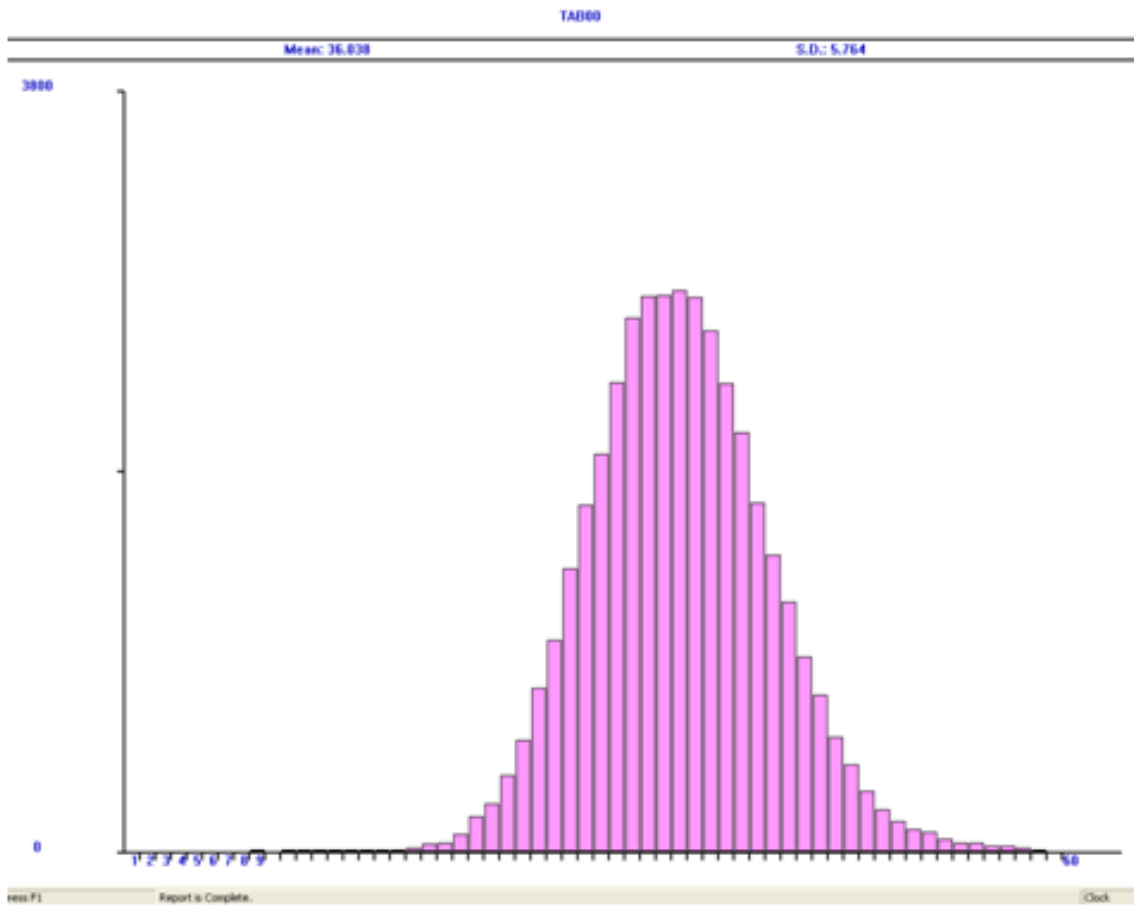


Рис. 7.9 Графічні результати моделювання (б)

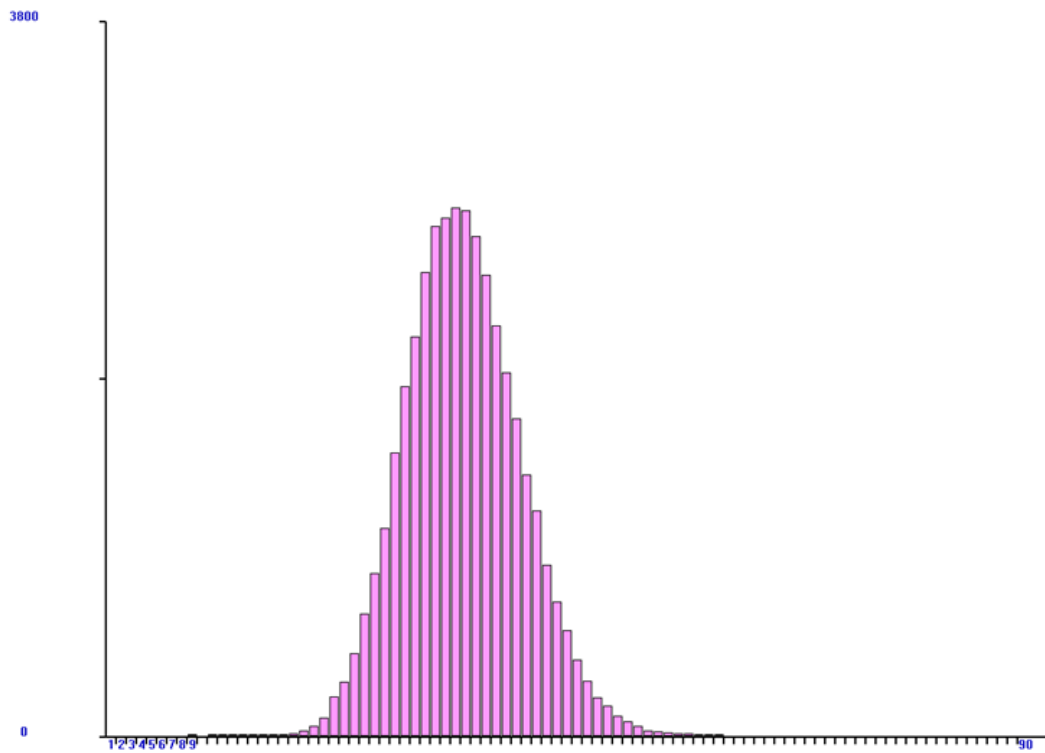


Рис. 7.10 Графічні результати моделювання (в)

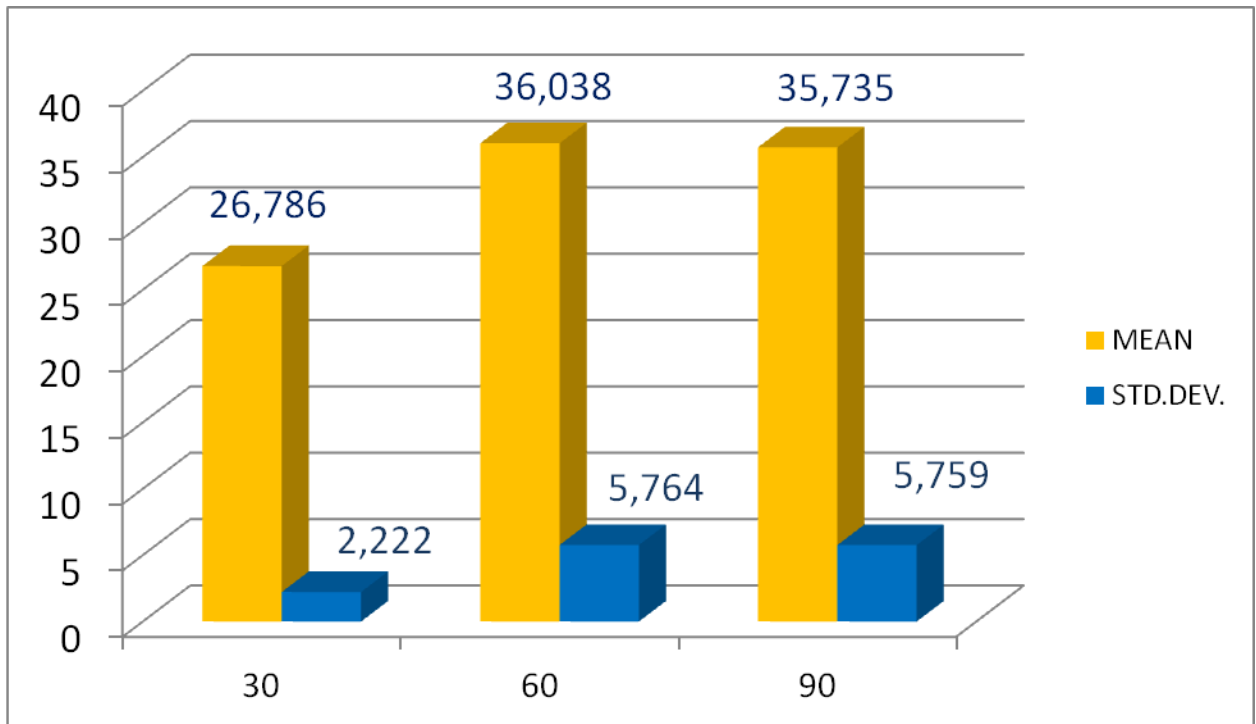


Рис. 7.11 Графічні результати моделювання (г)

Графічні результати моделювання ілюструють наступне: при реалізації моделі необхідно врахувати кількість каналів обслуговування. На рис. 7.11а показано, що кількість заявок починає зростати і ресурсів системи не вистачить для обслуговування всіх заявок. На рис. 7.11б кількість каналів обрана так, що в залежності від навантаження на систему буде певний розподіл заявок, при якому будуть задіяні більше каналів обслуговування. Але при збитковій кількості каналів (рис.7.11в), можливий «простій» ресурсів СМО. На рис 7.11г зображено математичне сподівання та стандартне відхилення розподілу часу зайнятості каналів обслуговування для різної ємності системи, але при фіксованому навантаженню.

### Висновки

- Система GPSS дозволяє використовувати дискретні та неперервні функції.
- Модель тракту PRI підтверджує необхідність оптимального вибору кількості каналів відповідно до реального навантаження.

### Контрольні запитання

- Чи знаєте Ви для чого призначений канал PRI?
- Що таке матриця комірок пам'яті?
- Яким чином можна задавати функції розподілу користувача? Наведіть приклад.
- Опишіть модель PRI. Які її особливості?
- Як описуються у моделях структурні зв'язки між елементами?
- Як в моделі задати задану (відому) функцію розподілу ?
- Як по завантаженню системи обслуговування вибрати необхідну кількість каналів обслуговування?



## 8. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

### 8.1 Форми представлення плану розподілу навантаження

Формування *плану розподілу навантаження* (ПРН) – одна з найважливіших функцій управління мережею зв'язку. ПРН являє собою сукупність шляхів встановлення з'єднань в кожному напрямку зв'язку і порядок їх заняття. ПРН може бути сформований на основі аналізу структури мережі:

- Аналітичними методами оцінки параметрів гілок і розрахунком показників шляхів встановлення з'єднань.
- Візуальною оцінкою шляхів встановлення з'єднань.

Вибір шляху встановлення з'єднання здійснюється на основі заданого критерію його оцінки. Найбільш загальним показником при оцінці є довжина шляху.

Оцінка довжини шляху може визначатися:

- Протяжністю складових його каналів (в км).
- Кількістю транзитних КЦ або гілок, що беруть участь у встановленні з'єднання за встановленим шляху.
- Показниками якості обслуговування заявок.
- Довжиною черги вихідних каналів передачі.
- Середньою вартістю обладнання шляху в перерахунку на одне з'єднань.

Зазвичай, вибір шляху здійснюється за критерієм мінімального шляху. Для телефонних мереж зв'язку найчастіше довжину шляху визначають кількістю вхідних в шлях гілок, числом КЦ або числом транзитів. Формування ПРН, як правило, проводиться в два етапи:

- 1 етап. Визначення сукупності можливих шляхів встановлення з'єднань у напрямку зв'язку.
- 2 етап. Завдання черговості вибору і зайняття цих колій.

## 8.2 Методи формування плану розподілу навантаження

*Матричний метод формування ПРН в централізованих системах управління зв'язком.*

Визначення сукупності всіх незалежних шляхів у напрямках зв'язку здійснюється на основі матриці  $||M||$  параметрів гілок  $\{m_{ij}\}$ .

Значення  $\{m_{ij}\}$ :

- $m_{ij} = \infty$ , якщо відсутня гілка;
- $m_{ii} = 0$ , для елементів діагоналі матриці;

Вихідна матриця показує безпосередні зв'язки між КЦ мережі. Визначення шляхів проводиться шляхом перетворення матриці гілок.

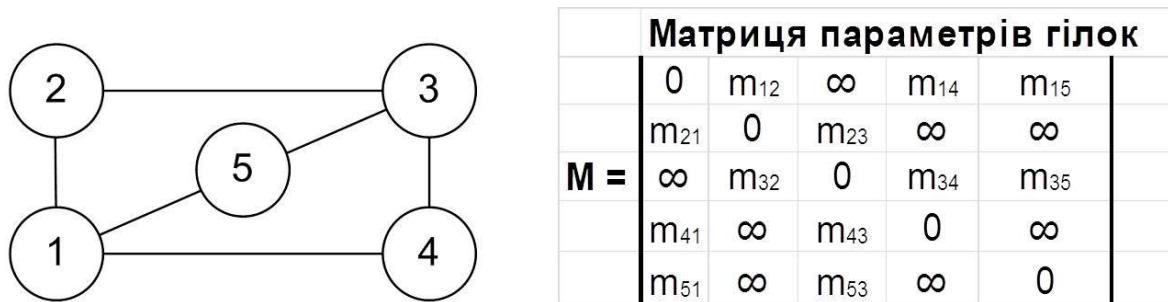


Рис. 8.1 Матриця параметрів гілок.

Приклад. Визначення шляхів у напрямку зв'язку 2 – 4.

Напрямок 2-4 містить два шляхи. Черговість вибору визначається за заданою ознакою (більший номер транзитного КЦ - перший вибір).

Матриця параметрів гілок					
	0	$m_{12}$	$\infty$	$m_{14}$	$m_{15}$
	$m_{21}$	0	$m_{23}$	$\infty$	$\infty$
<b>M =</b>	$\infty$	$m_{32}$	0	$m_{34}$	$m_{35}$
	$m_{41}$	$\infty$	$m_{43}$	0	$\infty$
	$m_{51}$	$\infty$	$m_{53}$	$\infty$	0

Рис. 8.2 Перетворення матриці

	$m_{21}$	0	$m_{23}$	$\infty$	$\infty$	
	$m_{14}$	$\infty$	$m_{34}$	0	$\infty$	
<hr/>						
	$m_{21}+m_{14}$	$\infty$	$m_{23}+m_{34}$	$\infty$	$\infty$	

Рис. 8.2 Поелементне додавання 2-го рядка і 4-го стовпця матриці.

Виконання перетворення матриці параметрів гілок для кожного напрямку зв'язку в мережі дозволяє визначити всі можливі шляхи для кожного напрямку. Кількість операцій по складанню рядків і стовпців дорівнює числу напрямків зв'язку:

$$I = N * (N-1) / 2 \quad (8.1)$$

Матричний метод побудови ПРН застосовується в централізованих СУМЗ (*системах управління мережею зв'язку*). Інформація про мережу збирається в СУМЗ (про зв'язності і вагові коефіцієнти гілок), здійснюється математична (програмна) обробка та передача таблиць ПРН (шляхів встановлення з'єднань) на кожен КЦ за всіма напрямками зв'язку від даного КЦ. Для обміну службовою інформацією між КЦ і СУМЗ використовуються, як правило, ті ж робочі канали, що і для передачі інформаційних повідомлень.

### **Формування ПРН методом «рельєфів»**

#### **Метод «Вхідних рельєфів»**

Входять рельєфом мережі по відношенню до якого-небудь КЦ називається сукупність коефіцієнтів, приписуваних кожної гілки мережі, що визначають мінімальну довжину шляху до цього КЦ від інших КЦ мережі.

Розмітка здійснюється наступним чином:

- По всіх гілках, що входять в даний КЦ приписується висота 1
- По всіх гілках, суміжних КЦ приписується висота 2
- Далі по гілках, суміжних КЦ приписується висота на 1 більше попередньої

- Сукупність «вхідних рельєфів» по всіх КЦ утворює повний рельєф мережі.

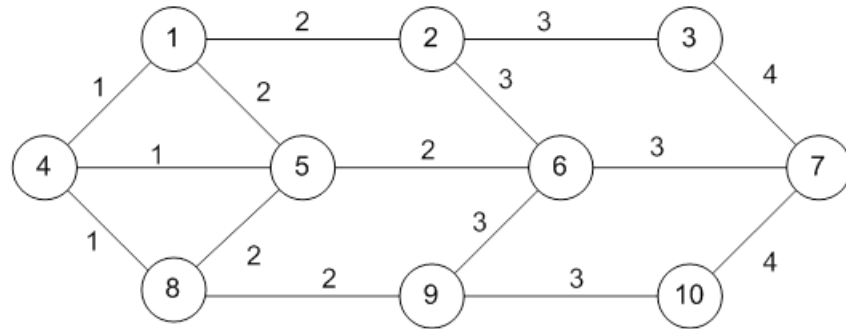


Рис. 8.3 Приклад вхідного рельєфу для КЦ 4

По-суті, значення висоти, приписані гілкам показують число гілок в найкоротшому шляху від КЦ мережі до КЦ4. Шлях КЦ 2 - КЦ 4 містить 2 гілки.

Вихід з ладу однієї гілки (наприклад, m45) змінює рельєф мережі.

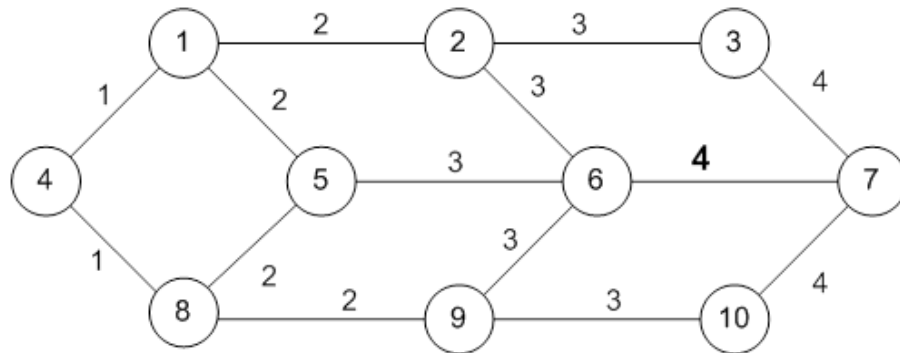
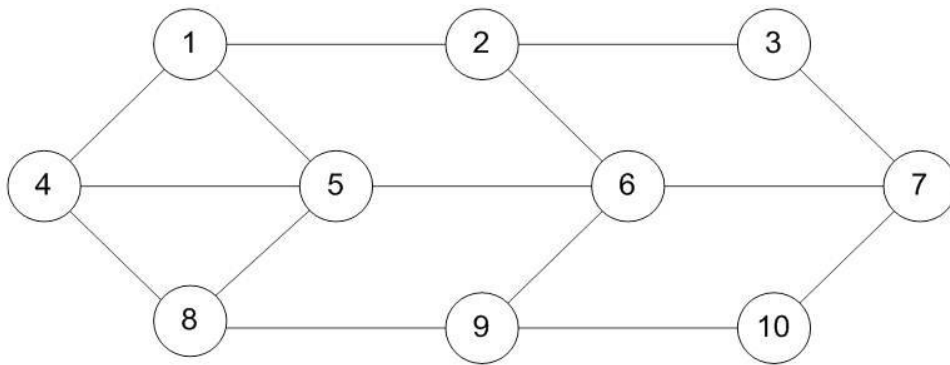


Рис. 8.4 Приклад зміни вхідного рельєфу для КЦ 4

### ***Метод «вихідних рельєфів»***

Вихідним рельєфом КЦ називається сукупність коефіцієнтів, які приписуються кожній гілці, яка «витікає» від КЦ і визначає мінімальну довжину шляху від даного КЦ до всіх інших КЦ мережі.



Вихідний рельєф від КЦ4										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_{41}$	1	2	3	0	2	3	4	3	4	5
$m_{45}$	2	3	4	0	1	2	3	2	3	4
$m_{48}$	3	4	5	0	2	3	4	1	2	3

Рис. 8.5 Приклад вихідного рельєфу для КЦ 4

### ***Відмінність методів «вхідних» і «вихідних» рельєфів.***

Вхідний рельєф КЦ4 (на мережу з КЦ 4) показує віддаленість по найкоротшому шляху від КЦ4 до решти КЦ. Вихідний рельєф КЦ4 (на вихідні гілки з КЦ 4) показує віддаленість по найкоротшому шляху від КЦ4 по всіх вихідних гілках до решти КЦ.

Метод рельєфів використовується в децентралізованих СУМЗ. Вихідні дані (загальна інформація для всіх КЦ): кількість КЦ в мережі, номери суміжних КЦ, ваговий коефіцієнт гілки (наприклад, 1 - при безпосередньому зв'язку КЦі - КЦj, 0 - при її відсутності). Кількість суміжних КЦ дорівнює числу вихідних гілок і числу шляхів встановлення з'єднань в будь-якому напрямку зв'язку мережі

Побудова рельєфу реалізується шляхом обміну таблицями між сусідніми КЦ. Обмін таблицями проводиться до отримання вже відомих даних. В отриманій таблиці є інформація про значення вагових коефіцієнтів шляхів до всіх КЦ мережі через всі вихідні гілки від КЦ.

Метод «вихідних рельєфів» знайшов широке застосування в комп'ютерній мережі Інтернет. Метод рельєфів широко використовується в адаптивних

протоколах маршрутизації - RIP (Routing Information Protocol) і OSPF (Open Shortest Path First). RIP використовується переважно на нижніх рівнях ієрархії мережі. У мережах, що працюють відповідно до методу OSPF, інформація про будь-яку зміну в мережі розсилається лавиноподібно.

В основі методу рельєфів (методу RIP) лежить алгоритм Беллмана-Форда. Алгоритм Беллмана-Форда відноситься до алгоритмів DVA (Distance Vector Algorithms). У DVA рельєф  $R_a(d)$  - це оцінка найкоротшого шляху від вузла  $a$  до вузла  $d$ . Оцінка (умовно назвемо її відстанню) може виражатися часом доставки, надійністю доставки або числом вузлів комутації (вимір в *hop*) на даному маршруті.

Метод рельєфів дуже добре використовується при зміні структури мережі.

Спочатку принципи побудови і функціонування систем адаптивного (динамічного) розподілу інформаційних потоків були сформульовані в 1964 р. радянським ученим - В. Г. Лазарєвим. Пізніше на їх основі був розроблений метод розподіленого управління вибором шляхів передачі інформації, що отримав назву методу рельєфів.

Практична реалізація ідей адаптивного розподілу була здійснена в США в мережі ARPA (Advanced Research Project's Agency), Управління перспективних наукових досліджень (DARPA) США в 1968 р., на основі якої була побудована глобальна мережа Internet.

У мережі Internet на основі методу рельєфів реалізовані два типи маршрутизації пакетів:

- віртуальних каналів;
- дейтаграмний (застосовується в мережах IP / MPLS).

*Переваги методу рельєфів:*

- висока оперативність побудови ПРН;
- висока ефективність при структурних змінах;
- відносна простота реалізації органів управління.

### *Недоліки:*

- не ефективне використання для оптимізації ПРН при виникненні перевантажень, так як в якості критерію раціональності сформованого ПРН використовується мінімум кількості гілок в шляху встановлення з'єднання, а не завантаження цих гілок;
- великий обсяг керуючої інформації, яким обмінюються між собою КЦ.

### ***Хвильовий метод встановлення з'єднань***

Даний метод знайшов широке застосування в деяких військових радіо мережах Франції та Італії. При хвильовому методі встановлення з'єднань здійснюється по всіх можливих шляхах одночасно. Тому ПРН не створюється взагалі. Кожному абоненту мережі присвоюватися унікальний номер (адресу). При переміщенні абонентів по мережі це номер зберігається і не змінюється. КЦ зберігають номери всіх абонентів, які включені в даний КЦ (потрапляють в зону їх обслуговування) і оновлюють їх відповідно до реального місцеположення абонента.

Процес встановлення з'єднання здійснюється в три етапи:

- Пошук. Заявка від абонента на встановлення з'єднання фіксується в обслуговуючому КЦ, порівнює із записаними і якщо немає відповідності, всім суміжним КЦ відсилається «сигнал пошуку». Якщо за отриманим сигналом пошуку не знайдено абонент в пам'яті КЦ, це сигнал розсилається далі. Сигнал хвилеподібно проходить через всі КЦ мережі
- Відповідь абонента. Якщо на КЦ абонент знайдений, даний КЦ посилає назад сигнал «абонент знайдений». При отриманні цього сигналу у відповідь КЦ джерелом, фіксується шлях відповіді в якості шляху встановлення з'єднання.
- Припинення пошуку. КЦ джерела посилає по всіх вихідних гілках сигнал «припинення пошуку».

Абонент знайдений у 2-му циклі пошуку, але сигнал пошуку проходить через всі КЦ.

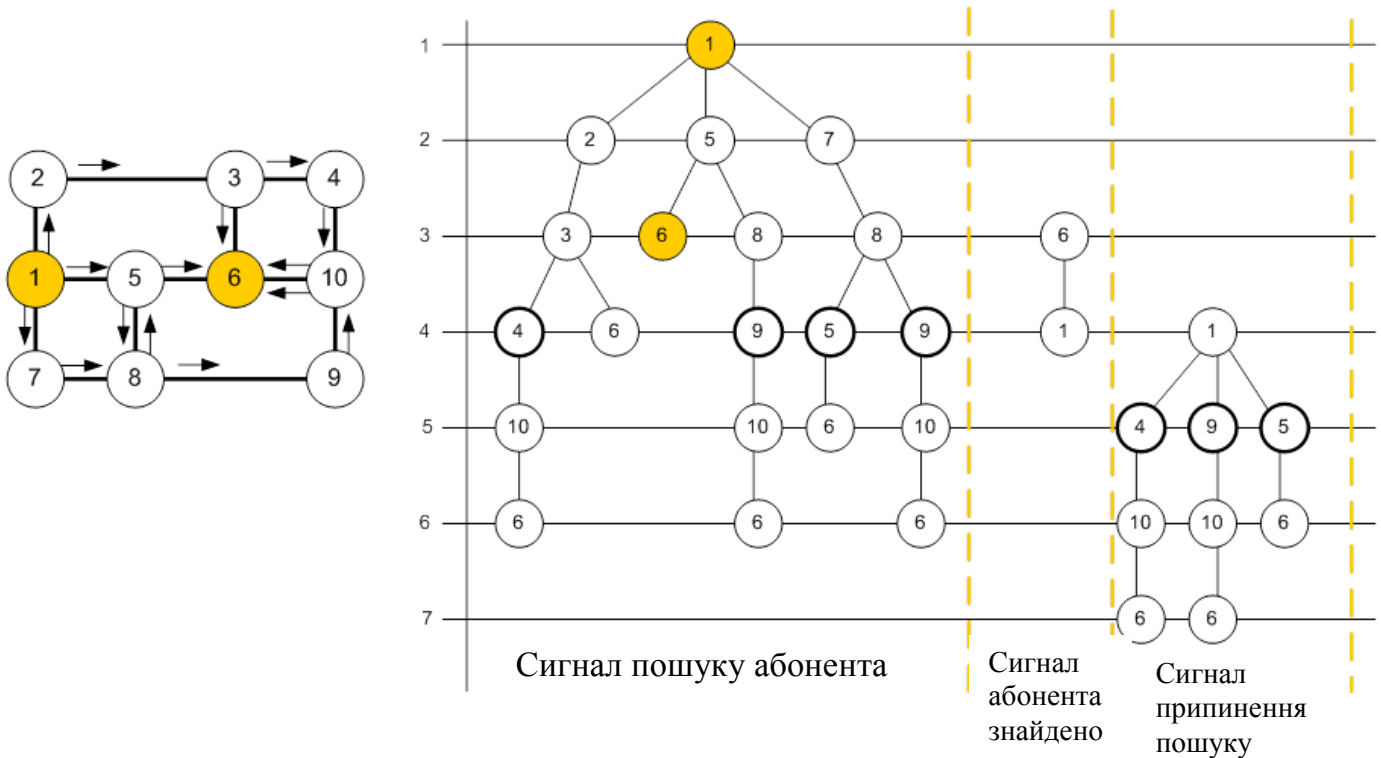


Рис. 8.5. Приклад. Встановлення з'єднання для абонента КЦ1  
з абонентом КЦ6

Переваги хвильового методу:

- Висока швидкість встановлення з'єднань.
- Можливість вільно пересуватися в межах мережі без зміни їх номери.

Недоліки:

- Відносна неефективність завантаження гілок (каналів) сигналами пошуку абонентів.
- Сигнал пошуку по кожному запиту абонента проходить по всіх КЦ мережі. Сигнал від вихідного КЦ про припинення пошуку не може «наздогнати» сам сигнал пошуку, тому передається з тією ж швидкістю.
- Необхідність використання високошвидкісних керуючих пристроїв на КЦ.



Хвильовий метод встановлення з'єднань знайшов застосування як на мережах з комутацією каналів, так і на мережах з комутацією пакетів.

### 8.3 Модель розподіленої мережі

Мета моделювання - оцінити основні параметри функціонування 5-ти вузлової мережі заданої структури.

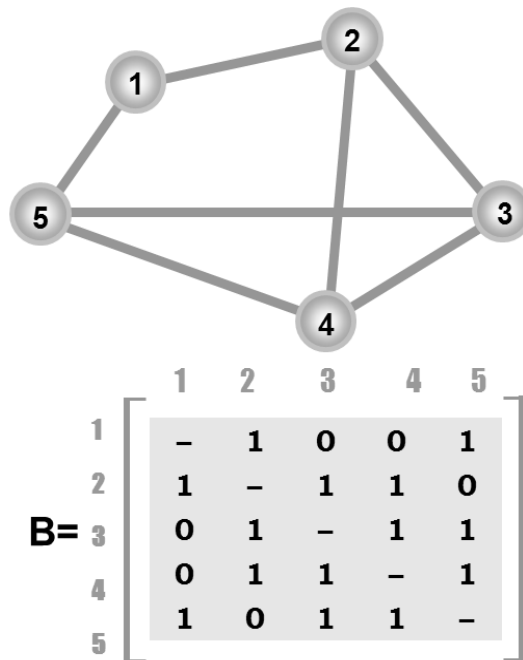


Рис. 8.6 Структура мережі і матриця зв'язності

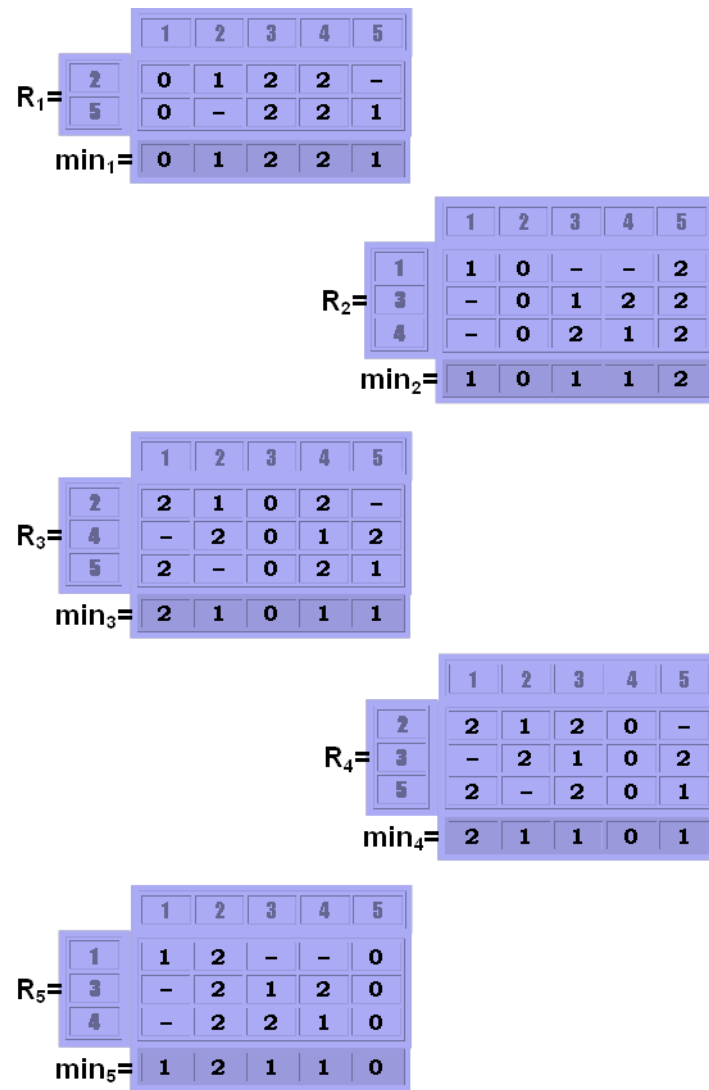


Рис. 8.7 Перша ітерація формування матриці рельєфів

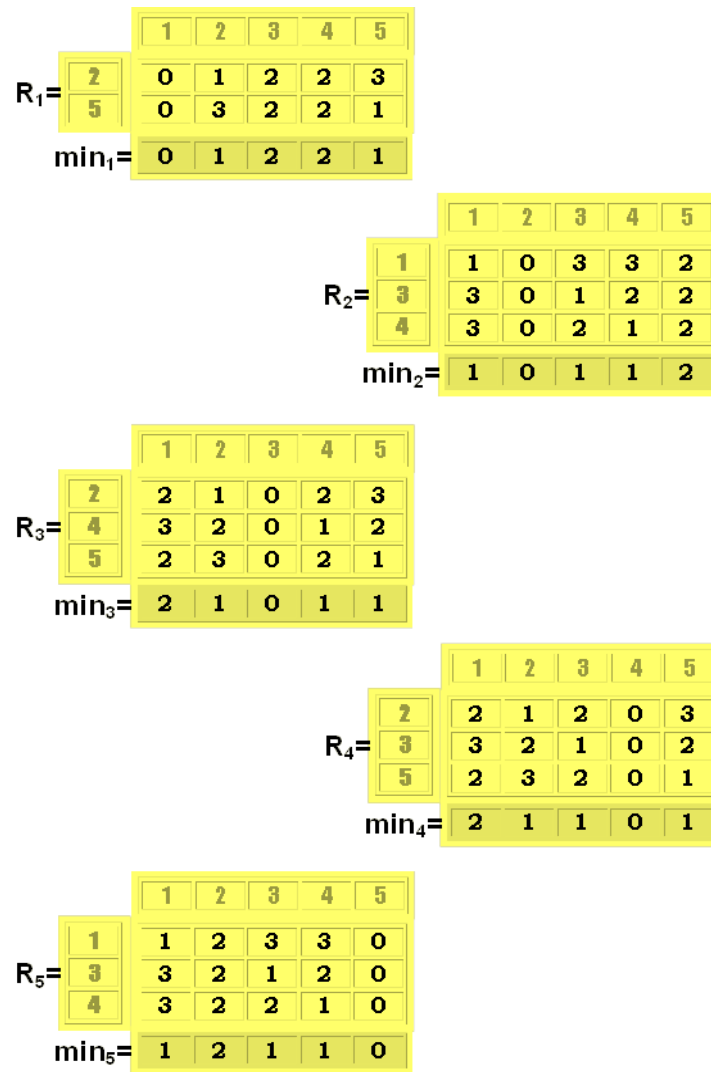


Рис. 8.8 Друга ітерація формування матриці рельєфів

		1	2	3	4	5
$R_1 =$	2	0	1	2	2	-
	5	0	-	2	2	1
$\min_1 =$	0	1	2	2	1	

		1	2	3	4	5
$R_2 =$	1	1	0	-	-	2
	3	-	0	1	2	2
	4	-	0	2	1	2
$\min_2 =$	1	0	1	1	2	

		1	2	3	4	5
$R_3 =$	2	2	1	0	2	-
	4	-	2	0	1	2
	5	2	-	0	2	1
$\min_3 =$	2	1	0	1	1	

		1	2	3	4	5
$R_4 =$	2	2	1	2	0	-
	3	-	2	1	0	2
	5	2	-	2	0	1
$\min_4 =$	2	1	1	0	1	

		1	2	3	4	5
$R_5 =$	1	1	2	-	-	0
	3	-	2	1	2	0
	4	-	2	2	1	0
$\min_5 =$	1	2	1	1	0	

Рис. 8.9 Третя ітерація формування матриці рельєфів

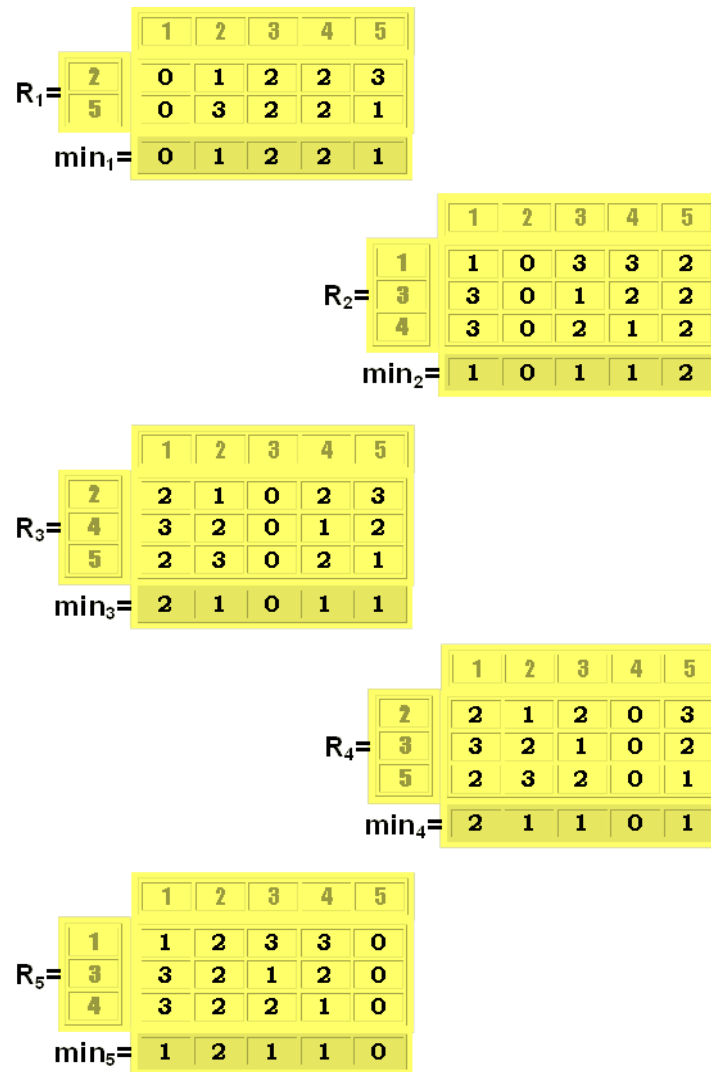


Рис. 8.10 Четверта ітерація формування матриці рельєфів

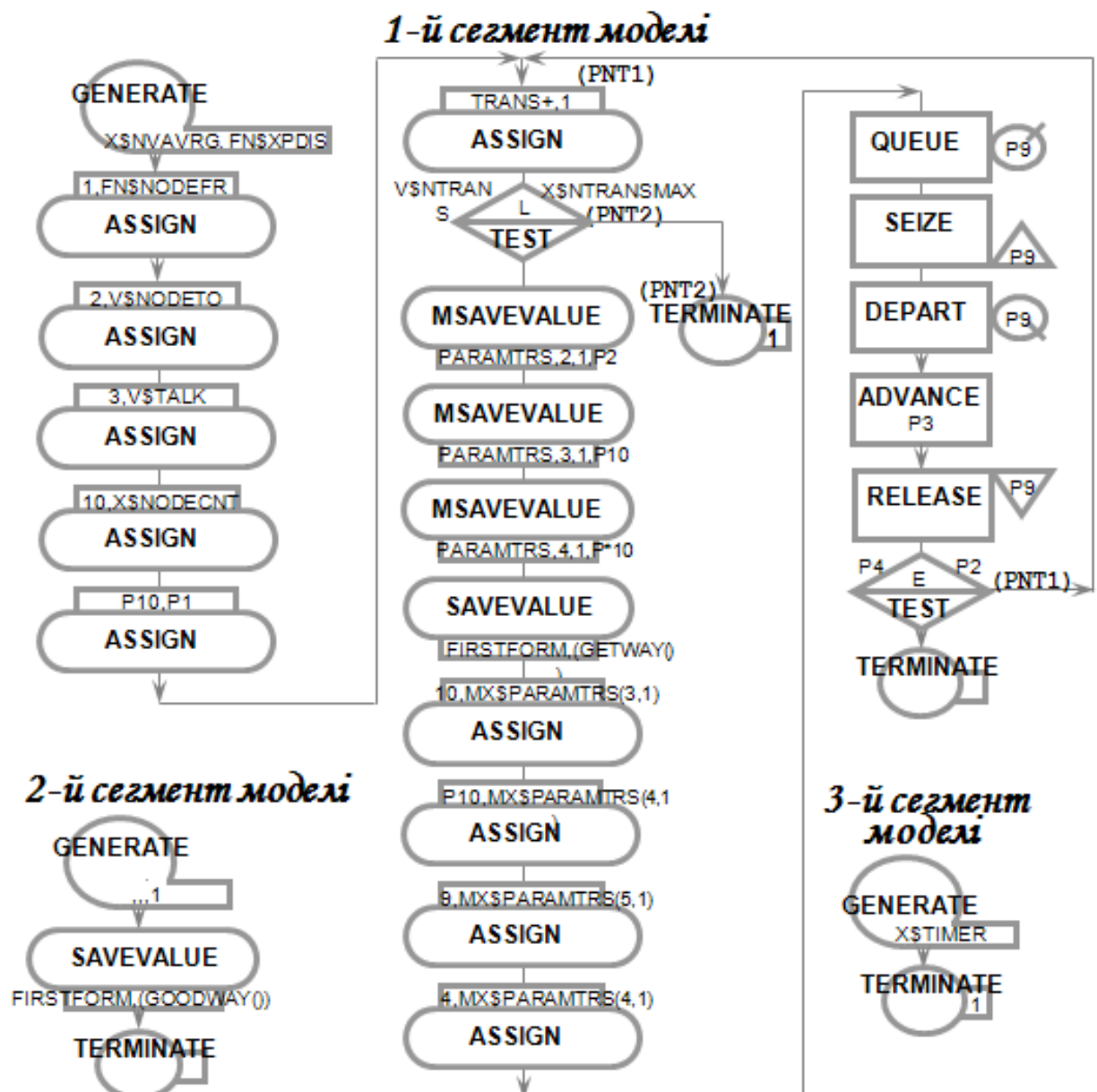


Рис. 8.11 Блок-схема моделі

Блок-схема складається з трьох сегментів:

- 1-й сегмент: моделювання заняття каналів: визначення функцій, матриць, генерація заявок та заняття каналів обслуговування.
- 2-й сегмент: маршрутизації на основі рельєфу мережі: реалізація методу розкрита в процедурі FIRSTFORM
- 3-й сегмент: управління часом моделювання: за допомогою значень функції TIMER.

### Висновки

- Моделювання роботи системи розподілу навантаження – це найбільш важливе завдання імітаційних моделей телекомунікаційних мереж

- Для побудови маршрутних таблиць доцільно використовувати можель PLUS .

#### Контрольні запитання

- Що являє собою план розподілу навантаження?
- На основі чого він будується? Які етапи включає?
- Опишіть метод «вхідних рельєфів».
- Опишіть метод «вхідних рельєфів».
- Поясніть відмінність цих методів. Які їхні переваги?
- Розкажіть як виник хвильовий метод встановлення з'єднань. В чому полягає його суть?
- В чому полягає принцип децентралізованого управління навантаженням?
- Як імітувати вибір напрямку зв'язку між абонентами?
- Для чого створюють розподілені системи?
- Які основні критерії оцінки правильності розподілу навантаження ?

## 9. ФІНАНСОВА ОЦІНКА МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

### 9.1 Фінансові показники оцінки мережі зв'язку

При оцінці перспектив розвитку телекомунікаційного бізнесу виникає задача оцінки ефективності вкладення грошових коштів на створення телекомунікаційної мережі. Задачу оцінки фінансових показників, як правило, вирішують при:

- прийнятті рішення про будівництво мережі зв'язку або мережевого елементу на етапі проектування мережі;
- розробці бізнес-плану;
- виборі обладнання від різних постачальників;
- прийнятті рішення про покупку власних мережевих засобів або оренді ресурсів у сторонніх операторів.

Рішення про фінансування розвитку телекомунікаційної мережі приймає або власник бізнесу (оператор), або інвестор, або особа, якій делеговані такі повноваження.

Варіанти вибору у інвестора:

- депозитний вклад в банк під річні відсотки ( $r$ , %)
- внесок у бізнес: покупка телекомунікаційних засобів з метою отримання прибутку або надання кредиту оператору під%.

Порівняння прибутку від банківського вкладу та прибутком від бізнесу дає можливість вибрати найбільш ефективний спосіб вкладення грошових коштів.

Показник прибутковості  $r$  визначається у вигляді:

$$r = \frac{\text{отриманий}_\text{прибуток}}{\text{вклад}} \% \quad (9.1)$$

Інвестор шукає варіант вкладу грошових коштів з максимальною вигодою (прибутковістю).

Варіанти вибору у власника (телекомунікаційного оператора):

- придбання власного ресурсу;
- оренда ресурсу (каналів, устаткування) у стороннього оператора.



Порівняння витрат на реалізацію кожного варіанту дозволяє вибрати кращий.

Варіант 1. Купівля телекомунікаційного обладнання

Оцінка прибутку (П1):

$$П1 = Д - P1, \quad (9.2)$$

де  $Д$  – дохід,

$P1$  – витрати при реалізації 1 варіанта.

Варіант 2. Оренда ресурсу у стороннього оператора

Найпростіша оцінка прибутку (П2):

$$П2 = Д - P2, \quad (9.2)$$

де  $Д$  – дохід,

$P2$  – витрата при реалізації 2 варіанти

Оцінка невтраченого прибутку або економії витрат:

$$П1 - П2 = (Д - P1) - (Д - P2) = P2 - P1 \quad (9.3)$$

$$\Delta П = \Delta P \quad (9.4)$$

Власник, перш за все, вирішує задачу економії витрат, тому це дозволяє збільшувати (не втрачати) прибуток.

Особливості оцінки вкладень в телекомунікаційні системи:

- Високі первинні витрати на побудову телекомунікаційної мережі та її елементів.
- Прибутковість від телекомунікаційних послуг - не менше 5 років (зазвичай 10 - 15 років - цикл принципів змін технології надання послуг).

Оцінка прогнозованого доходу (в майбутньому) або прибутку здійснюється не за абсолютним значенням, а по співвідношенню з поточними (і майбутніми) витратами. Оцінка ефективності вкладень може бути зроблена за прогнозованими надходженнями від використання телекомунікаційної мережі в майбутньому: за встановлений інтервал часу  $T$  в майбутньому.

Вкладення в поточний момент часу передбачають отримання грошей у майбутньому. При цьому внесок сьогодні, повинен принести грошовий потік в майбутньому. Вартість грошей сьогодні і в майбутньому - різні величини.

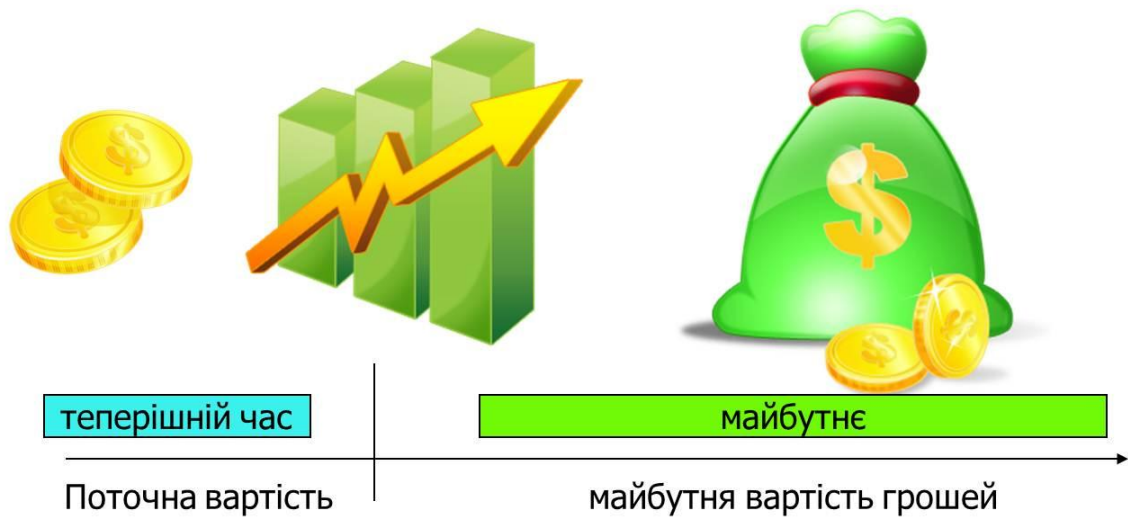


Рис. 9.1 Оцінка грошових потоків

Оцінка майбутнього грошового потоку:

Майбутня вартість інвестицій - це вартість грошей через певний час у майбутньому з урахуванням ставки дохідності (%) або вартості грошей у майбутньому.

Наприклад, при ставці  $r = 10\%$  і сумі вкладу  $PV = 1000$ , майбутній грошовий потік ( $FV$ ) за 3 роки складе.

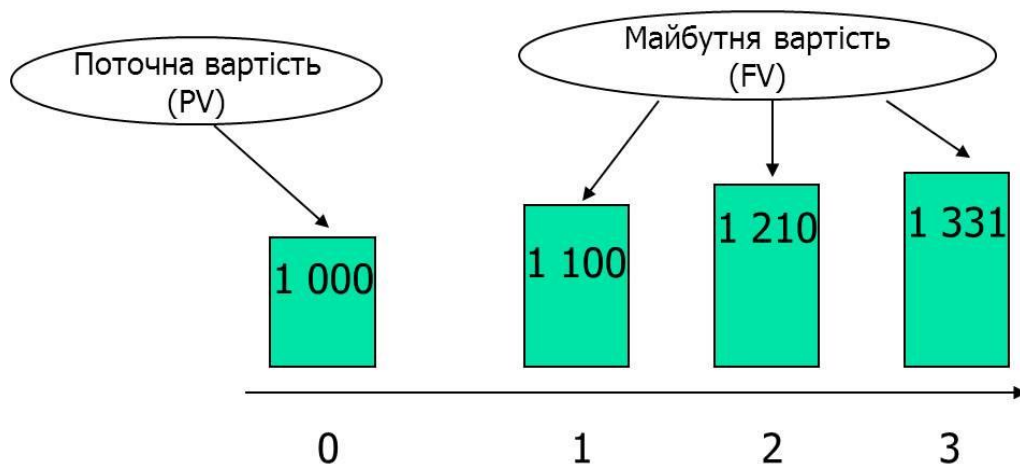


Рис. 9.2 Оцінка майбутнього грошового потоку

$FV1 = 1000 * (1 + 10\%) = 1100$  - в кінці 1 року;

$FV2 = 1100 * (1 + 10\%) = 1210$  - в кінці 2 роки;

$FV3 = 1210 * (1 + 10\%) = 1331$  - в кінці 3 роки.

В загальному вигляді поточна і майбутня вартості зв'язані наступним чином:

$$FV = PV(1+r)^n \quad PV = \frac{FV}{(1+r)^n} \quad (9.5)$$

$FV$  – майбутня вартість в  $n$ -му періоді.

$PV$  – поточна вартість.

$r$  – ставка прибутку (%).

Сумарний потік майбутніх грошей за  $n$  періодів визначається у вигляді:

$$FV = \sum_{i=1}^n FV_i = \sum_i PV(1+r)^i \quad (9.6)$$

Основні фінансові показники:

- Чиста поточна вартість (Net Present Value - NPV).
- Рентабельність (Profitability).
- Внутрішня норма прибутку (Internal rate ratio - IRR).
- Норма прибутку на інвестиції (Return on Investment - ROI).

*Чиста Поточна вартість (Net Present Value - NPV) проекту:*

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{FVi}{(1+r)^i} - I, \quad (9.7)$$

де  $FVi$  – річні грошові потоки, згенеровані первісною інвестицією з плином  $n$  років.

$r$  – норма прибутку (норма дисконтування) в %

$I$  – величина інвестованого капіталу.

Дисконтування майбутньої вартості ( $FV$ ) на даний момент ( $PV$ ) показує скільки коштують сьогодні майбутні гроші (будуть одержані в  $n$ -му періоді):

$$PV = \frac{FV}{(1+r)^n} \quad (9.8)$$

Оцінка успішності (ефективності) проекту може бути зроблена на основі порівняння приведенного грошового потоку з величиною інвестиції відповідно до умов:

- $NPV > I$  – проект приносить прибуток;
- $NPV = I$  – проект тільки самооплачується;
- $NPV < I$  – проект збитковий.

З декількох альтернативних проектів слід приймати проект з позитивним і великим  $NPV$ :

$$NPV_{\text{проекту 1}} > 0 \quad (9.9)$$

$$NPV_{\text{проекту 1}} > NPV_{\text{проекта 2}} \quad (9.10)$$

Рентабельність (Profitability Index)

Рентабельність інвестицій розраховується як відношення загального результату до загальних витрат:

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n PV_i}{I} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{FVi}{(1+r)^i}}{I} \quad (9.11)$$

Приклад розрахунку індексу рентабельності побудови мережі WiMAX:

$$PI = \frac{20000}{(1+0,15)^1} + \frac{25000}{(1+0,15)^2} + \frac{30000}{(1+0,15)^3} : 50000 = 1,12$$

Критерії ефективності проекту:

- $PI > 1$  (при  $NPV > 0$ ) - проект можна прийняти для реалізації;
- $PI < 1$  - проект збитковий.

Індекс рентабельності може застосовуватися при виборі проекту з альтернативних, що мають однакові показники  $NPV$ , але різні обсяги інвестицій  $I$ .

Внутрішня норма прибутку проекту (*Internal rate ratio* - IRR). IRR визначається зі співвідношення:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FVi}{(1+IRR)^i} = I \quad (9.12)$$

IRR розраховується з цієї формули математично. Сенс показника IRR полягає в тому, що він показує внутрішню норму прибутковості проекту. Як відносно швидко буде окупатися проект. По-суті, це така ставка прибутковості проекту, при якій наведений (дисконтований) майбутній грошовий потік чисельно дорівнює величині інвестицій  $I$ .

Критерії оцінки проектів за показником IRR. Зазвичай IRR порівнюють з бажаним рівнем прибутковості  $r$ .

Цей рівень наприклад, може здаватися середньої кредитною ставкою  $r_{ср}$ :

- якщо  $IRR > r_{ср}$ , то проект варто прийняти;
- якщо  $IRR = r_{ср}$ , то проект не прибутковий і не збитковий;
- якщо  $IRR < r_{ср}$ , то проект варто відкинути.

Даний показник, як правило, розраховують для порівняння внутрішньої ставки доходності проекту зі ставками прибутковості, які пропонують банки (наприклад, за депозитними вкладами) або для порівняння з середньогалузевими даними.

Норма прибутку на інвестиції (Return on Investment - ROI) або окупність інвестицій – відношення середньорічного прибутку до обсягу інвестицій.

$$ROI = \frac{\frac{NPV}{n}}{\frac{I - L}{2}} = \frac{\text{середній чистий прибуток}}{\text{середня вартість інвестицій}} \quad (9.13)$$

де  $I$  – величина інвестицій.

$L$  – ліквідаційна вартість проекту.

ROI показує ефективність вкладень інвестицій не на основі грошових надходжень, а на основі річного бухгалтерського показника – доходу.

Оцінку ROI виробляють на основі зіставлення з нормованими значеннями аналогічних проектів або показників по кампаніям.

## 9.2 Приклади оцінки фінансових показників

Приклад 1. Інвестиційний проект будівництва мережі WiMAX передбачає отримання прибутку за:

- 1 рік – 20000;
- 2 рік – 25 000;
- 3 рік – 30 000;

Вартість обладнання, доставки, монтажу та інсталяції складають 50 000. Інвестиційні витрати повинні бути зроблені одноразово. Кошти можуть бути отримані у вигляді банківського кредиту під 15% річних.

Чисту вартість проекту можна розрахувати у вигляді:

$$NPV = \frac{20000}{(1+0,15)^1} + \frac{25000}{(1+0,15)^2} + \frac{30000}{(1+0,15)^3} - 50000 = +6000 \quad (9.9)$$

Позитивна різниця майбутніх надходжень, приведених на момент часу, і величини вкладу інвестицій показує, що проект можна прийняти до реалізації.

Приклад 2. Інвестор обирає куди вкласти вільний капітал - 50 000 грн  
Депозитний вклад в банк. Інвестиційний кредит в бізнес.

#### Депозитний вклад

періоди	1	2	3
-50 000,00 грн.	0 грн.	0 грн.	0 грн.
через 1 рік	55 000 грн.		
через 2 роки		60 500 грн.	
через 3 роки			66 550 грн.

прибуток 16 550,00 грн.

Період	0	1	2	3
Майбутній грошовий потік		20 000 грн.	25 000 грн.	30 000 грн.
ставка	10%			
інвестиція	-50 000,00 грн.			

сумарна поточна вартість (PV)	61 382,42 грн.
NPV	11 382,42 грн.

Рис 9.3 Оцінка депозитного вкладу

### Повернення по інвестиційному кредиту

періоди	1	2	3
-50 000,00 грн.	18 000 грн.	22 000 грн.	20 570 грн.
через 1 рік	55 000 грн.		
залишок по кредиту	37 000 грн.		
через 2 роки		40 700 грн.	
залишок по кредиту		18 700 грн.	
через 3 роки			20 570 грн.
залишок по кредиту			0 грн.
прибуток			36 382 грн.

Рис 9.4 Оцінка інвестиційного кредиту

Куди вкласти 50 000 в бізнес або в банк?

#### Депозитний вклад

періоди	1	2	3
-50 000,00 грн.	0 грн.	0 грн.	0 грн.
через 1 рік	55 000 грн.		
через 2 роки		60 500 грн.	
через 3 роки			66 550 грн.
прибуток			16 550,00 грн.

#### Повернення по інвестиційному кредиту

періоди	1	2	3
-50 000,00 грн.	18 000 грн.	22 000 грн.	20 570 грн.
через 1 рік	55 000 грн.		
залишок по кредиту	37 000 грн.		
через 2 роки		40 700 грн.	
залишок по кредиту		18 700 грн.	
через 3 роки			20 570 грн.
залишок по кредиту			0 грн.
прибуток			36 382 грн.

Рис 9.5 Порівняльна характеристика

Приклад 3. Розрахунок доходу за послугу при використанні існуючих засобів оператора на підключення.

**Послуга оператора****Доступ до Інтернету (2М)**

рентабельність

0% (самоокупність)

	абон плата	прибуток	витрати	прибуток	рентабельність
інсталяція		2500	-50000		
1 рік	1319	15833			
2 роки	1319	15833			
3 роки	1319	15833			
всього		50000	-50000	0	0%

рентабельність

25%

	абон плата	прибуток	витрати	прибуток	рентабельність
інсталяція		2500	-50000		
1 рік	1667	20000			
2 роки	1667	20000			
3 роки	1667	20000			
всього		62500	-50000	12500	25%

1319

1667

збільшення абонентської плати на

21%

Рис. 9.6. Аналіз прикладу розрахунок доходу за послугу при використанні існуючих засобів оператора на підключення (Приклад 3)

**Висновки**

- Окрім оцінок функціональних параметрів систем та мереж телекомунікації необхідно оцінювати успішність (ефективності) проекту на основі порівняння приведеного грошового потоку з величиною інвестиції відповідно до умов
- Ефективність системи оцінюється як по технічним так і по фінансовим показникам .

Контрольні запитання.

- Що Ви розумієте під поняттям «фінансові показники»? Яке їх призначення?
- Яким чином можна оцінити успішність (ефективність) проекту за допомогою показника NPV?
- Які критерії ефективності проекту (з врахуванням індексу рентабельності)?
- Що таке майбутня вартість грошей ?
- Що називають нормою доходності?
- Наведіть критерії оцінки проектів за показником IRR.



- Проаналізуйте ситуацію з вкладом коштів на депозитний рахунок та інвестування тієї ж суми в проект, пов'язаний з ризиками. Яке рішення прийняли б Ви? Чому саме?
- Як розрахувати майбутній дохід?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кудрявцев Е.М. GPSS Word. Основы имитационного моделирования различных систем.- М. ДМК Пресс, 2004
2. Учебное пособие по GPSS Word./Перевод с англ. – Казань, Изд-во «Мастер – Лайн», 2002
3. Богуш К.Ю., Богуш Ю.П., Шиян А.И. GPSS World Моделювання телекомунікаційних систем та мереж. Посібник для дипломного проектування . – ІСЗЗІ НТУУ КПІ, 2010
4. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World.- СПб, БХВ- Петербург, 2004
5. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS: Пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1980.
6. GPSS/PC general purpose simulation. Reference Manual. - Minuteman software. P.O. Box 171. Stow, Massachusetts 01775, 1986.
7. В.Н. Томашевський, Е.Г. Жданова "Імітаційне моделювання засобами GPSS / PC." - К.: ІЗМН, "ВІПОЛ", 1998. - 123 с.
8. В.Н. Томашевський "Імітаційне моделювання систем та процесів." - К.: ІСДО, "ВІПОЛ", 1994. - 124 с. (мова українська). Романов А. И. Телекоммуникационные сети и управление: Учебное пособие –К. ИПЦ « Киевский университет», 2003, -247с.
9. Лазарев В.Г., Лазарев Ю.В. Динамическое управление потоками информации в сетях связи. – М.: Радио и связь, 1983. – 216
10. Сети ЭВМ. Под редакцией В.М. Глушкова – М.: Связь, 1977
11. Клейнрок Л. Коммутационные сети – М.: Наука, 1970
12. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование - М.: Радио и связь, 1981
13. Лазарев В. Г., Саввин Г. Г. Сети связи, управление и коммутация. – М: Связь, 1973.

14. Дэвидсон Д., Питерс Д., Бхатия М., Калидинди С., Мукхержи С., и др. Основы передачи голосовых данных по сетям IP: Пер. с англ. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2007
15. Инвестиционная деятельность: Учебное пособие. Под редакцией Г.П. Подшиваленко и Н.В. Киселевой. –М.: КНОРУС, 2005
16. Боев В. Д. Некоторые аспекты адекватности систем имитационного моделирования дискретно-событийных процессов: Статья — В сб. докладов Пятой Всероссийской конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2011 — СПб.: ЦТСиР, 2011
17. Девятков В.В., Федотов М.В. САИИ для профессионалов - расширенный редактор GPSS World New GPSS World professional development environment // Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию социально-экономических систем (ВКИМСЭС). ГОУ ВПО ВЗФЭИ. Труды конференции 15 мая 2012г., Москва: ООО «Принт-Сервис», 2012. – с. 114-119.
18. Задорожный В.Н. Аналитико-имитационные исследования систем и сетей массового обслуживания: *монография* / В.Н. Задорожный. – Омск: Изд-во ОмГТУ. 2010. – 280 с.
19. Боев В. Д. Об адекватности систем имитационного моделирования GPSS World и AnyLogic. Часть 2 // Прикладная информатика. № 4 (34). 2011. С. 50-62.
20. Романова О. И. «Телекоммуникационные сети и управление». – К: ВПЦ «Киевский Университет», 2003, – 247с