

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»

Махней О. В.

**Лабораторний практикум
з імітаційного моделювання у GPSS**

Частина 1

Методичні рекомендації
до проведення лабораторних занять

Івано-Франківськ
2020

УДК 004.94:519.682.6
ББК 32.973.26-018.2
МЗ6

Рекомендовано до друку Вченою радою факультету математики та інформатики ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» (протокол № 5 від 23 грудня 2019 р.).

Рецензенти:

Козленко М. І., кандидат технічних наук, доцент (Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника);

Василишин П. Б., кандидат фізико-математичних наук, доцент (Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника).

МЗ6 Махней О. В. Лабораторний практикум з імітаційного моделювання у GPSS. Ч. 1 : методичні рекомендації до проведення лабораторних занять. 2-ге вид. переробл. та допов. Івано-Франківськ : Голіней, 2020. 40 с.

Наведено методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт на мові імітаційного моделювання GPSS. Призначено для проведення лабораторних занять з математичного моделювання.

Для студентів спеціальностей «прикладна математика», «математика», «середня освіта (інформатика)». Може бути корисним для студентів галузі знань «інформаційні технології».

Зміст

Передмова	4
Основи моделювання у середовищі GPSS World	5
Лабораторна робота № 1. Ознайомлення з системою імітаційного моделювання GPSS	9
Методичні вказівки до лабораторної роботи № 1	10
Лабораторна робота № 2. Вивчення способів створення випадкового навантаження при моделюванні систем масового обслуговування в GPSS	11
Методичні вказівки до лабораторної роботи № 2	17
Лабораторна робота № 3. Моделювання конвеєрних систем масового обслуговування в GPSS	17
Методичні вказівки до лабораторної роботи № 3	21
Лабораторна робота № 4. Моделювання паралельних систем масового обслуговування з пріоритетною схемою обслуговування замовлень у GPSS	24
Методичні вказівки до лабораторної роботи № 4	28
Завдання для самостійної роботи	30
Елементи стандартного звіту	33
Список рекомендованої літератури	39

Передмова

Моделювання — найбільш потужний універсальний метод дослідження і оцінювання ефективності різноманітних систем. Для моделювання складних систем, поведінка яких залежить від випадкових чинників, зокрема систем масового обслуговування, звичайно використовують імітаційне моделювання, бо недоліками більшості аналітичних моделей, побудованих на основі теорії масового обслуговування, є використання в них значних спрощень, таких, як розгляд вхідного потоку вимог як пуассонівського, припущення про експоненціальний розподіл часу обслуговування тощо. У той же час імітаційне моделювання знімає більшість такого роду обмежень і дозволяє створювати моделі як завгодно близькі до реальних систем.

У наш час, з розвитком комп'ютерної техніки значно зросли можливості імітаційного моделювання систем. Для створення моделей, звичайно, можна використовувати класичні алгоритмічні мови програмування, але простіше й ефективніше здійснювати моделювання з допомогою спеціалізованих мов імітаційного моделювання. Мова GPSS (General Purpose Simulation System — система моделювання загального призначення) була однією з найперших мов моделювання, а її середовище GPSS World, розроблене компанією Minuteman Software, може використовуватись для професійного моделювання як дискретних, так і неперервних процесів у різноманітних системах.

Методичні рекомендації містять завдання і методичні вказівки до лабораторних робіт, призначених для проведення лабораторних занять з використанням середовища GPSS World у межах курсів з математичного моделювання. Використовується вільна версія програми, призначена для навчання студентів. Підібрано певну кількість завдань для самостійної роботи студентів.

Основи моделювання у середовищі GPSS World

Тут розглядаються лише основні поняття, необхідні для роботи у середовищі GPSS World. Більш-менш ґрунтовний виклад мови імітаційного моделювання GPSS потребує окремої книги.

Програми на мові GPSS часто називають моделями. Основні категорії об'єктів мови GPSS: операційна, динамічна, апаратна, обчислювальна, статистична і запам'ятовуюча.

До операційної категорії належить єдиний тип об'єктів — блоки. До динамічної категорії належать транзакти. Функціонування об'єкта відбувається в моделі у вигляді переміщення транзактів від блока **GENERATE** у блок **TERMINATE** через проміжні блоки. Транзакти (повідомлення) є абстрактними рухомими об'єктами, які, переміщуючись між блоками, викликають різні дії і зазнають їх.

До апаратної категорії відносять три типи об'єктів: одноканальні прилади, багатоканальні прилади і логічні перемикачі. Об'єктами обчислювальної категорії є змінні, арифметичні вирази і функції. До статистичної категорії належать черги і таблиці. Для збереження даних під час моделювання використовуються комірки пам'яті.

Всі об'єкти у GPSS мають числові характеристики, які називають *системними числовими атрибутами* (СЧА). Вони виконують функцію імен. СЧА бувають двох видів. СЧА першого виду складається з двох частин. Перша частина (префікс) вказує на тип (клас) об'єкта — групове ім'я, а друга — ідентифікує конкретного члена групи (вузьке ім'я).

Є кілька десятків класів системних числових атрибутів першого виду. Усі вони мають вигляд однієї чи двох латинських букв. Наприклад, **Q** — клас черг, **FN** — клас функцій. Друга частина СЧА (вузьке ім'я) може бути двох видів: 1) послідовність латинських букв, цифр і символів підкреслення; 2) натуральне число. Клас СЧА відокремлюється від вузького імені, яке містить букви, знаком **\$**. Число від класу СЧА нічим не від-

окремлюється. Наприклад, Q\$OTT, FN\$ABCD1, P125, RN4.

СЧА другого виду є атомарними і не мають вузького імені. Їх є лише кілька: A1, AC1, C1, M1, PR, TG1, XN1, Z1.

У межах однієї моделі однакові вузькі імена можуть використовуватись для позначення об'єктів різного типу. Зарезервовані ключові слова і префікси СЧА не можуть виконувати функцію імен. У деяких випадках використовують вузькі імена, але в більшості ситуацій мають бути повні СЧА.

Модель на мові GPSS, як і програма на кожній мові програмування, складається з операторів. Великі і маленькі букви в тексті програми не розрізняються. Оператор може бути блоком, командою опису чи командою керування. Кожен оператор записується в окремому рядку. Рядок також може бути порожнім або містити лише коментар. Формат рядка:

```
номер_рядка мітка ключове_слово операнди коментар
```

Всі елементи рядка відокремлюються один від одного одним чи кількома пропусками.

Номер є обов'язковим елементом рядка, ніде не використовується і ігнорується. Мітка теж є обов'язковим елементом. Як і перший варіант вузького імені, вона складається з довільних латинських букв, цифр і символів підкреслення. Зрозуміло, що мітка не повинна збігатись з ключовими словами і префіксами СЧА. Мітка, яка стоїть у блоці, використовується для переходу транзактів (умовного чи безумовного) на цей блок. При оголошенні змінної, функції, таблиці і т. п. мітка виконує роль вузького імені цієї змінної, функції, таблиці тощо.

Ключове слово визначає зміст оператора. Кількість операндів і їхній формат залежить від ключового слова. Як правило, операнди записуються через кому без пропусків (до чи після неї). Можуть бути обов'язкові та необов'язкові операнди. Їх порядок є строго фіксованим. Якщо якийсь з проміжних необов'язкових операндів треба пропустити, а якийсь з наступних (можливо останній) операнд мусить бути, то всі коми мають

бути збережені. В якості операндів можуть використовуватись арифметичні вирази у круглих дужках. Операція множення позначається нестандартно — знаком #.

Коментар є необов'язковим елементом рядка і починається з символу «;». Усі символи після нього в рядку ігноруються.

Практично в усіх моделях потрібно збирати і обробляти статистичну інформацію про результати моделювання. Для цього використовується команда опису таблиць TABLE. Її формат:

N TABLE *A,B,C,D*,

де *N* — ім'я таблиці, *A* — СЧА об'єкта, для якого створюють таблицю, *B* — верхня межа нижнього інтервалу таблиці, *C* — ширина інтервалів (крім першого і останнього), *D* — кількість інтервалів. Найчастіше таблиця створюється для фіксування часу перебування транзактів в моделі (від створення до входу в блок TABULATE *K*, де *K* — ім'я таблиці). У цьому випадку замість *A* використовують СЧА *M1*.

В усіх моделях для створення транзактів використовується блок GENERATE *A,B,C,D,E*. Обов'язковим є лише перший операнд *A*. При використанні тільки його в модель вводиться детермінований потік транзактів (через кожні *A* одиниць модельного часу в модель вводиться один транзакт). Для моделювання випадкового потоку транзактів з рівномірним законом розподілу з проміжку $[a, b]$ використовуються операнди *A* і *B*. У цьому випадку операнд *A* задає середину проміжку $\frac{a+b}{2}$, а операнд *B* — половину довжини проміжку $\frac{b-a}{2}$. Замість операнда *A* може бути задана функція, створена командою опису FUNCTION, чи один з 35 розподілів випадкових величин. Інші операнди використовуються рідко. Операнд *C* задає час появи першого транзакта. Операнд *D* вказує кількість транзактів, які треба згенерувати. Операнд *E* визначає пріоритет транзактів.

Процес моделювання запускається командою керування START *A*, де *A* — початкове значення лічильника кількості завершень. Для знищення транзактів використовується блок TERMINATE *A*, де *A* — значення, яке віднімається від значення лічильника кількості завершень.

Для затримки транзактів з метою імітації їхнього обслуговування використовується блок **ADVANCE** A, B . Зміст операндів A і B тут той самий, що й у блоці **GENERATE**.

Для створення функцій користувача призначена команда опису **FUNCTION**. Вона записується принаймні у два рядки:

```
N FUNCTION A,B
X1,Y1/X2,Y2/.../Xn,Yn
```

Операндом A є аргумент функції, ним може бути будь-який СЧА. Часто буває потрібним задати деяку випадкову залежність. Тоді операндом A є один з генераторів випадкових чисел, який має вигляд RNj , де j — натуральне число (тобто $RN1$, $RN2$ і т. д.). У цьому випадку аргументом функції буде випадкове число з проміжку $[0, 1)$.

Операнд B має вигляд Cn або Dn (без пропуску), де перша буква вказує на тип функції (C — неперервна, D — дискретна), а натуральне число n — це кількість точок, за якими будується функція.

Пари чисел X_i, Y_i — координати точок. Якщо аргументом функції є генератор випадкових чисел, то X_n має дорівнювати 1. Для неперервної функції використовується лінійна інтерполяція. Дискретна функція дорівнює Y_i на цілому півінтервалі $(X_{i-1}, X_i]$ для $i > 1$ і дорівнює Y_1 на проміжку $[0, X_1]$.

Блок **TRANSFER** A, B, C дозволяє організувати ймовірнісні переходи. Операнд A — це ймовірність переходу у блок, мітка якого визначена операндом C . Операнд B містить мітку блока для переходу з ймовірністю $1 - A$.

Всі знання, необхідні для виконання лабораторних робіт, студенти можуть отримати на лекціях. У методичних вказівках до лабораторних робіт наведено необхідний мінімум інформації, потрібної для виконання цих робіт. Крім того, рекомендується використовувати для самостійної підготовки книги [1 – 6] і довідкову систему GPSS World.

Лабораторна робота № 1. Ознайомлення з системою імітаційного моделювання GPSS

Рекламне агентство «Фіалка». Основна виробнича функція рекламного агентства повного циклу послуг «Фіалка» — виробництво реклами трьох видів — телереклама, друкована реклама і радіореклама. Виробничий процес в агентстві «Фіалка» організований наступним чином. Реклама трьох видів, що надходить від замовників з інтервалом, рівномірно розподіленою на проміжку [1, 100] хвилин, обробляється групою менеджерів по рекламі на протязі 2 – 5 хвилин. Останні передають фінансові документи про оплату замовником прийнятої реклами в бухгалтерію, а самі рекламні замовлення у виробничий відділ. На це теж потрібно 2 – 5 хвилин. Виробничий відділ на протязі 1 – 3 хвилин скеровує замовлення залежно від їх типу в телестудію, видавництво або радіостудію рекламного агентства і здійснює контроль за їх виконанням. Імовірності того, що реклама виявиться телерекламою, друкованою рекламою та радіорекламою дорівнюють відповідно 0,25, 0,35 і 0,4. Тривалості виконання замовлень телестудією, видавництвом та радіостудією складають відповідно 50 – 100, 30 – 90 та 15 – 30 хвилин, причому студії і видавництво не можуть виконувати більше одного замовлення одночасно. Готова реклама надходить від студій і видавництва у виробничий відділ і спрямовується ним у засоби масової інформації на протязі 5 – 10 хвилин.

1. Ознайомитись з системою імітаційного моделювання GPSS World.

2. З допомогою запропонованого нижче лістингу моделі здійснити моделювання роботи рекламного агентства на протязі восьмигодинного робочого дня.

3. Проаналізувати кількість виконаних замовлень з різних видів реклами і порівняти її з заданими ймовірностями, визначити витрачений час на виконання замовлень, кількість часу, потрібного на виконання одного замовлення в середньому, від-

мінності між тривалостями часу виконання замовлень, наявність черг, їхні довжини, середній час перебування в чергах, кількість замовлень, виконаних без черги.

4. Внісши зміни в модель, визначити найбільший і найменший час виконання замовлень з точністю до 1 хвилини.

5. Здійснити моделювання роботи рекламного агентства протягом 22 робочих днів (робочого місяця) і провести аналіз його результатів.

6. Здійснити моделювання у випадку, коли одночасно можуть виконуватись кілька замовлень у кожному з відділів, причому це не впливає на тривалість їхнього виконання. Провести аналіз результатів. Відновити модель.

7. Отримати у викладача інші конкретні ймовірності надходження замовлень різних типів, тривалості виконання замовлень та інтервали між замовленнями і здійснити моделювання у цьому випадку.

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 1

Лістинг базової моделі для виконання лабораторної роботи:

```

tab table m1,10,10,100      ;друга колонка є
generate 480                ;продовженням першої
terminate 1                 seize pryl_tv
generate 50.5,49.5         depart ch_tv
advance 3.5,1.5            advance 75,25
advance 3.5,1.5            release pryl_tv
advance 2,1                transfer,zmi
transfer 0.4,,radio        druk queue ch_druk
transfer 0.5833,tv,druk    seize pryl_druk
radio queue ch_radio      depart ch_druk
seize pryl_radio          advance 60,30
depart ch_radio           release pryl_druk
advance 22.5,7.5          zmi advance 7.5,2.5
release pryl_radio        tabulate tab
transfer,zmi              terminate 0
tv queue ch_tv            start 1

```

Лабораторна робота № 2.

Вивчення способів створення випадкового навантаження при моделюванні систем масового обслуговування в GPSS

Скласти модель системи масового обслуговування, яка б функціонувала наступним чином.

Транзакти генеруються блоком **GENERATE**. Далі транзакти послідовно проходять чотири блоки **ADVANCE**, затримуючись у кожному з них на деякий час. Потім здійснюється табулювання загального часу затримки транзактів з допомогою СЧА M1 (M1 — час між моментом входу транзакта в модель і моментом використання даного СЧА). Транзакти видаляються з моделі через один з двох блоків **TERMINATE**, який визначається випадковим чином з допомогою блока **TRANSFER**, що працює в режимі статистичної передачі. Кількість транзактів, які повинні пройти через модель, дорівнює 500 (команда **START**).

У наступній таблиці для різних варіантів подані розподіли випадкових величин для вхідного потоку і затримок та ймовірності переходу в перший блок **TERMINATE**. У таблиці використано наступні позначення: \bar{x} — середнє значення експоненціального розподілу, μ — середнє значення нормального розподілу, σ — середньоквадратичне відхилення від середнього значення для нормального розподілу.

Варіант	Вхідний потік	Затримка 1	Затримка 2	Затримка 3	Затримка 4	Імовірність
1	нормальний, $\mu = 150$, $\sigma = 10$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	рівномірний, [17, 23]	рівномірний, [31, 40]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	0,635
2	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	експоненціальний, $\bar{x} = 71$	рівномірний, [38, 48]	рівномірний, [100, 200]	0,246

Варіант	Вхідний потік	Затримка 1	Затримка 2	Затримка 3	Затримка 4	Імовірність
3	рівномірний, [20, 50]	нормальний, $\mu = 85$, $\sigma = 6$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	рівномірний, [22, 41]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	0,452
4	експоненціальний, $\bar{x} = 65$	рівномірний, [19, 25]	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівномірний, [42, 69]	0,722
5	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівномірний, [45, 54]	рівномірний, [93, 119]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	нормальний, $\mu = 100$, $\sigma = 8$	0,311
6	рівномірний, [49, 106]	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівномірний, [21, 61]	експоненціальний, $\bar{x} = 34,7$	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	0,905
7	рівномірний, [51, 124]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	нормальний, $\mu = 54$, $\sigma = 1$	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівномірний, [13, 39]	0,862
8	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівномірний, [5, 21]	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	рівномірний, [48, 84]	експоненціальний, $\bar{x} = 16,1$	0,307
9	рівномірний, [8, 35]	рівномірний, [15, 65]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	нормальний, $\mu = 94$, $\sigma = 3$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	0,597
10	рівномірний, [85, 113]	експоненціальний, $\bar{x} = 42,6$	рівномірний, [3, 8]	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	0,736
11	нормальний, $\mu = 89$, $\sigma = 4,2$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівномірний, [42, 88]	рівномірний, [4, 49]	0,113

Варіант	Вхідний потік	Затримка 1	Затримка 2	Затримка 3	Затримка 4	Імовірність
12	функція $FUNC3$, рис. 3	рівномірний, [33, 55]	експоненціальний, $\bar{x} = 13,8$	функція $FUNC4$, рис. 4	рівномірний, [118, 131]	0,404
13	рівномірний, [52, 96]	функція $FUNC1$, рис. 1	функція $FUNC2$, рис. 2	рівномірний, [101, 104]	нормальний, $\mu = 152$, $\sigma = 5$	0,669
14	експоненціальний, $\bar{x} = 92,7$	рівномірний, [40, 81]	рівномірний, [11, 38]	функція $FUNC3$, рис. 3	функція $FUNC4$, рис. 4	0,777
15	рівномірний, [54, 161]	нормальний, $\mu = 44$, $\sigma = 0,8$	функція $FUNC1$, рис. 1	функція $FUNC2$, рис. 2	рівномірний, [22, 47]	0,326
16	функція $FUNC3$, рис. 3	функція $FUNC4$, рис. 4	рівномірний, [21, 67]	експоненціальний, $\bar{x} = 25,5$	рівномірний, [45, 69]	0,441
17	рівномірний, [46, 81]	рівномірний, [15, 57]	нормальний, $\mu = 62$, $\sigma = 2,2$	функція $FUNC1$, рис. 1	функція $FUNC2$, рис. 2	0,068
18	функція $FUNC3$, рис. 3	рівномірний, [40, 95]	функція $FUNC4$, рис. 4	рівномірний, [0, 105]	експоненціальний, $\bar{x} = 18,5$	0,147
19	нормальний, $\mu = 102$, $\sigma = 7$	функція $FUNC1$, рис. 1	рівномірний, [1, 6]	функція $FUNC2$, рис. 2	рівномірний, [53, 70]	0,751
20	рівномірний, [60, 72]	експоненціальний, $\bar{x} = 56,4$	функція $FUNC3$, рис. 3	рівномірний, [5, 62]	функція $FUNC4$, рис. 4	0,256

Варіант	Вхідний потік	Затримка 1	Затримка 2	Затримка 3	Затримка 4	Імовірність
21	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівномірний, [23, 59]	рівномірний, [18, 61]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	нормальний, $\mu = 44$, $\sigma = 3$	0,569
22	рівномірний, [7, 88]	рівномірний, [52, 193]	експоненціальний, $\bar{x} = 27,5$	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	0,211
23	рівномірний, [16, 71]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	нормальний, $\mu = 124$, $\sigma = 9$	рівномірний, [61, 109]	0,412
24	експоненціальний, $\bar{x} = 12,3$	рівномірний, [45, 67]	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівномірний, [89, 120]	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	0,927
25	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	нормальний, $\mu = 98$, $\sigma = 7$	рівномірний, [65, 143]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівномірний, [21, 109]	0,872

Завдання.

1. Використовуючи лістинг програми для подібної моделі, скласти програму реалізації наведеної вище моделі на мові GPSS, задаючи опис функцій (команди *FUNCTION*) і вибираючи відповідні операнди блоків *GENERATE*, *ADVANCE*, *TRANSFER* і команди *TABLE*. Неперервну функцію закодувати не менше, ніж п'ятьма точками.

2. Виконати програму на комп'ютері. За необхідності скоректувати операнди команди *TABLE* і повторно виконати програму.

3. По лічильниках числа входів у блоки визначити відсоток транзактів, що потрапили в блоки з іменами *LBL1* і *LBL2*, і зіставити його з операндом *A* блока *TRANSFER*.

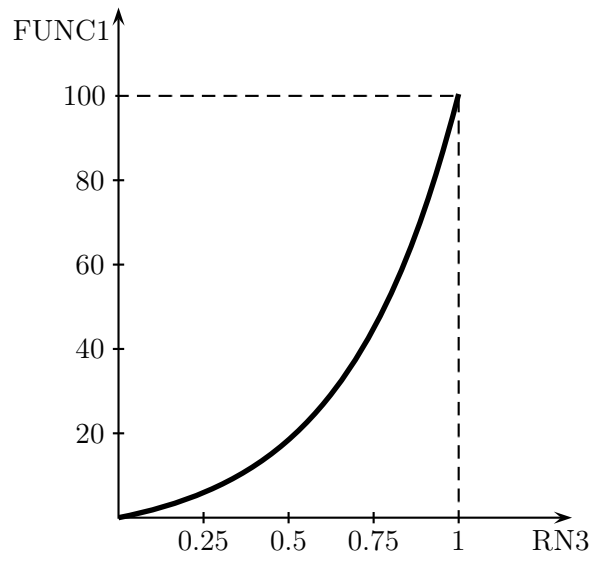


Рис. 1.

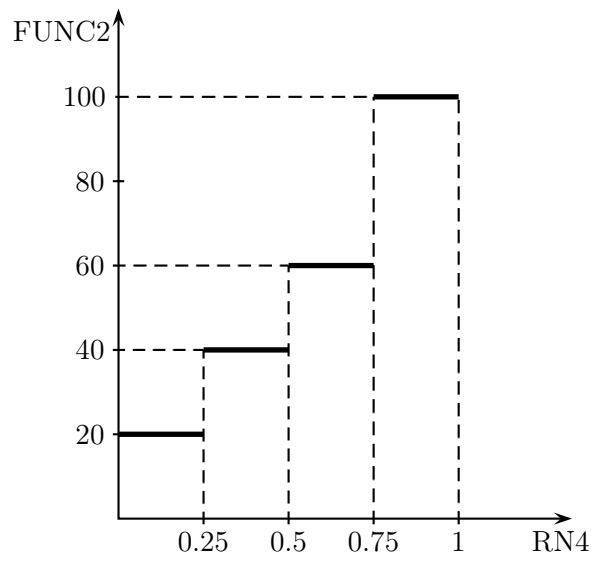


Рис. 2.

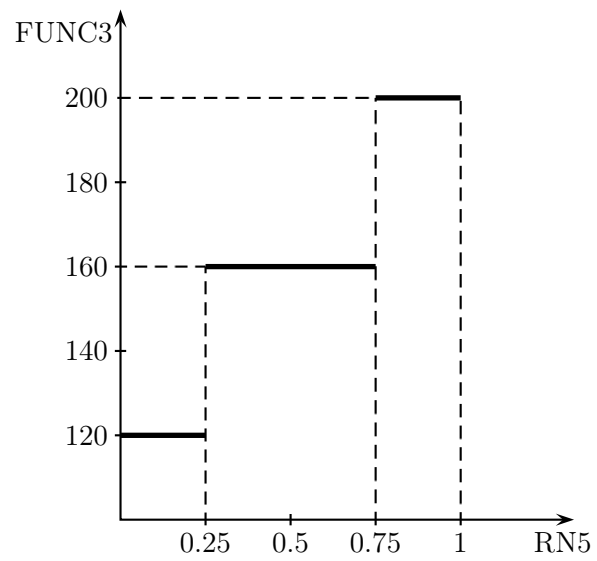


Рис. 3.

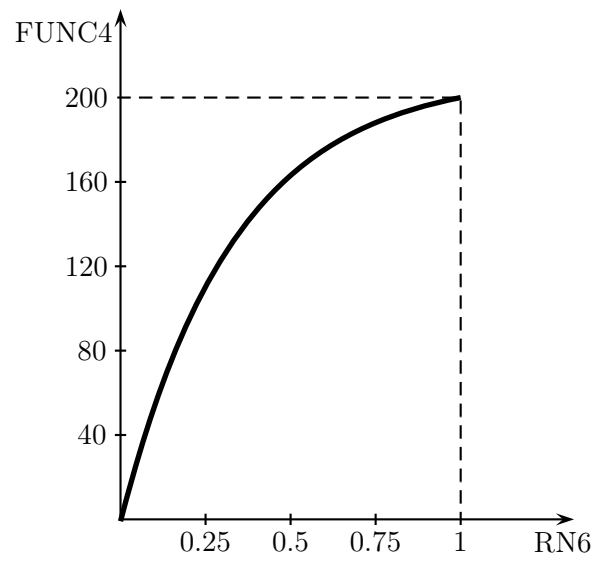


Рис. 4.

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 2

Нижче наводиться лістинг моделі на мові GPSS для подібної задачі. У нього потрібно внести певні зміни відповідно до конкретного варіанта.

```
FUNC5 FUNCTION RN1,C2 ; Функція 5
0,1/1,17
FUNC6 FUNCTION RN2,D4 ; Функція 6
.25,10/.5,20/.73,30/1,40
TAB1 TABLE M1,20,10,12
GENERATE 100,30 ; Генерація транзактів
ADVANCE (NORMAL(3,27,4)) ; Затримка 1
ADVANCE (EXPONENTIAL(5,0,4.5)) ; Затримка 2
ADVANCE FN$FUNC6 ; Затримка 3
ADVANCE FN$FUNC5 ; Затримка 4
TABULATE TAB1 ; Табулювання
TRANSFER .831,LBL1,LBL2 ; Випадковий перехід
LBL1 TERMINATE 1 ; Видалення транзактів 1
LBL2 TERMINATE 1 ; Видалення транзактів 2
START 500 ; Повторити 500 разів
```

Лабораторна робота № 3. Моделювання конвеєрних систем масового обслуговування в GPSS

Задана система масового обслуговування з конвеєрною структурою, що складається з трьох пристроїв *PF1*, *PF2*, *PF3* (рис. 5). На вхід системи надходить потік вимог, які послідовно обробляються в кожному з пристроїв. На вході кожного пристрою є буфер (*BUF1*, *BUF2*, *BUF3*), призначений для прийому вимог і запобігання їх втраті при пікових навантаженнях. Вимоги в буфері утворюють чергу й обробляються відповідним пристроєм у порядку їхнього надходження. Оброблені вимоги утворюють вихідний потік вимог.

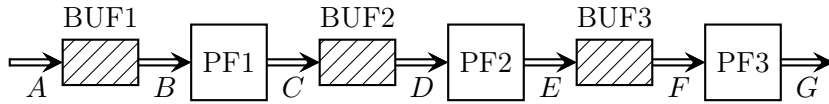


Рис. 5.

При дослідженні конвеєрних систем масового обслуговування виникають завдання визначення загального часу обробки вимог, тривалості виконання деяких етапів обробки, визначення коефіцієнтів завантаження пристроїв, необхідних об'ємів буферів тощо.

У наступній таблиці для різних варіантів подані розподіли випадкових величин для вхідного потоку і затримок на кожному пристрої, способи моделювання буферів, кінці інтервалів, для яких потрібно створити таблицю статистики часу проходження транзактів. Заради компактності використано скорочення і позначення: СЧ — буфер моделюється з допомогою стандартної черги, СЧДС — буфер моделюється з допомогою стандартної черги з детальною статистикою, БКП — буфер моделюється з допомогою багатоканального пристрою, \bar{x} — середнє значення експоненціального розподілу.

Варіант	Вхідний потік	Буфер і затримка 1	Буфер і затримка 2	Буфер і затримка 3	Інтервал
1	експоненціальний, $\bar{x} = 23,5$	БКП, рівномірний, [16, 25]	СЧДС, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	СЧ, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	<i>D-F</i>
2	рівномірний, [25, 41]	СЧДС, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	БКП, експоненціальний, $\bar{x} = 18,3$	СЧ, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	<i>E-G</i>
3	експоненціальний, $\bar{x} = 66,1$	СЧДС, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	СЧ, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	БКП, рівномірний, [33, 92]	<i>C-E</i>

Варіант	Вхідний потік	Буфер і затримка 1	Буфер і затримка 2	Буфер і затримка 3	Інтервал
4	рівномірний, [51, 88]	БКП, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	СЧ, експоненціальний, $\bar{x} = 111,2$	СЧДС, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	<i>B-D</i>
5	експоненціальний, $\bar{x} = 162,3$	СЧ, рівномірний, [150, 205]	БКП, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	СЧДС, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	<i>A-C</i>
6	рівномірний, [55, 112]	СЧДС, експоненціальний, $\bar{x} = 77,1$	СЧ, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	БКП, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	<i>C-F</i>
7	експоненціальний, $\bar{x} = 33,8$	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	СЧДС, рівномірний, [22, 111]	СЧ, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	<i>B-E</i>
8	рівномірний, [42, 69]	СЧ, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	БКП, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	СЧДС, експоненціальний, $\bar{x} = 11,5$	<i>D-G</i>
9	експоненціальний, $\bar{x} = 51,7$	СЧДС, рівномірний, [41, 66]	СЧ, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	<i>A-D</i>
10	рівномірний, [52, 118]	БКП, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	СЧДС, експоненціальний, $\bar{x} = 48,9$	СЧ, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	<i>B-F</i>
11	експоненціальний, $\bar{x} = 58,2$	СЧДС, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	СЧ, рівномірний, [105, 144]	<i>C-G</i>
12	рівномірний, [108, 167]	СЧ, експоненціальний, $\bar{x} = 99,4$	СЧДС, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	БКП, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	<i>D-G</i>

Варіант	Вхідний потік	Буфер і затримка 1	Буфер і затримка 2	Буфер і затримка 3	Інтервал
13	експоненціальний, $\bar{x} = 15,3$	БКП, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	СЧ, рівномірний, [22, 48]	СЧДС, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	<i>A-C</i>
14	рівномірний, [45, 69]	СЧДС, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	БКП, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	СЧ, експоненціальний, $\bar{x} = 50,2$	<i>D-F</i>
15	експоненціальний, $\bar{x} = 81,6$	СЧДС, рівномірний, [61, 104]	СЧ, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	<i>C-F</i>
16	рівномірний, [65, 103]	БКП, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	СЧ, експоненціальний, $\bar{x} = 22,5$	СЧДС, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	<i>E-G</i>
17	експоненціальний, $\bar{x} = 45,4$	СЧДС, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	СЧ, рівномірний, [55, 61]	<i>A-C</i>
18	рівномірний, [41, 56]	СЧ, експоненціальний, $\bar{x} = 55,7$	СЧДС, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	БКП, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	<i>B-E</i>
19	експоненціальний, $\bar{x} = 67,5$	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	СЧДС, рівномірний, [56, 83]	СЧ, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	<i>D-G</i>
20	рівномірний, [45, 59]	СЧ, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	БКП, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	СЧДС, експоненціальний, $\bar{x} = 57,2$	<i>A-D</i>
21	експоненціальний, $\bar{x} = 19,9$	СЧДС, рівномірний, [15, 30]	СЧ, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	<i>B-F</i>

Варіант	Вхідний потік	Буфер і затримка 1	Буфер і затримка 2	Буфер і затримка 3	Інтервал
22	рівномірний, [28, 37]	БКП, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	СЧДС, експоненціальний, $\bar{x} = 23,2$	СЧ, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	<i>C-G</i>
23	експоненціальний, $\bar{x} = 26,8$	СЧДС, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	БКП, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	СЧ, рівномірний, [11, 52]	<i>D-F</i>
24	рівномірний, [53, 92]	СЧ, експоненціальний, $\bar{x} = 77,3$	СЧДС, функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	БКП, функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	<i>E-G</i>
25	експоненціальний, $\bar{x} = 35,8$	БКП, функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	СЧ, рівномірний, [33, 61]	СЧДС, функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	<i>C-E</i>

Завдання.

1. Скласти програму моделі на мові GPSS. Для інтервалу між вказаними точками створити таблицю статистики часу проходження транзактів. Вивести також детальну статистику руху транзактів через модель (від точки *A* до точки *G*).

2. Виконати програму на комп'ютері. За необхідності скоректувати операнди команд *TABLE* і *QTABLE* і повторно виконати програму.

3. Визначити коефіцієнти завантаження пристроїв і необхідний об'єм буферів. Знайти час перебування транзактів у кожній із черг. Зробити висновок щодо режиму роботи модельованої системи.

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 3

Кожен пристрій системи можна моделювати одноканальним приладом, якому відповідає пара блоків: *SEIZE A* — зайняти прилад з ім'ям *A* і *RELEASE A* — звільнити прилад з ім'ям

A . Ім'я приладу може бути числовим або символьним. Власне процес обслуговування транзактів приладом моделюється блоком **ADVANCE**, операнди якого визначають час обробки. Таким чином, кожен з пристроїв можна описати трьома блоками:

```
SEIZE PROC ; Зайняти прилад
ADVANCE A,B ; Затримати транзакт
RELEASE PROC ; Звільнити прилад
```

Відзначимо, що в одноканальному приладі одночасно може обслуговуватися не більше одного транзакта. В кінці моделювання автоматично (без участі програміста) роздруковується стандартна статистика по приладах, що включає коефіцієнт завантаження приладу, середній час обслуговування одного транзакта та інші характеристики.

Якщо транзакт намагається зайняти прилад (тобто увійти в блок **SEIZE**), але прилад зайнятий обслуговуванням іншого транзакта, то новоприбулий транзакт стає в чергу до приладу. У черзі може одночасно знаходитися безліч транзактів. Коли прилад звільняється, то його займає транзакт, що «стоїть» у черзі першим.

Для виведення стандартної статистики для черг (середня і максимальна довжина черги, середній час перебування транзактів у черзі тощо) використовують блоки **QUEUE A** — стати в чергу, **DEPART A** — залишити чергу, де A — числове або символьне ім'я черги. При використанні даної пари блоків розглянутий вище опис пристрою доповнюється таким чином:

```
QUEUE QQQ1 ; Стати в чергу
SEIZE PROC ; Зайняти прилад
DEPART QQQ1 ; Залишити чергу
ADVANCE A,B ; Затримати транзакт
RELEASE PROC ; Звільнити прилад
```

Відзначимо, що черга в даному випадку виконує функції вхідного буфера і може його моделювати. При цьому про необхідний об'єм буфера можна судити по максимальній довжині черги, яка спостерігалась за час моделювання.

Буфер може бути також змодельований багатоканальним

пристроєм (БКП), якому відповідають блоки `ENTER A` (увійти в БКП з ім'ям A) і `LEAVE A` (вийти з БКП з ім'ям A). БКП є декількома паралельно працюючими каналами, кількість яких (місткість БКП) визначається командою опису `N STORAGE A`, де N — ім'я БКП, A — місткість БКП.

Пристрій з вхідним буфером у вигляді БКП може бути описаний наступною послідовністю блоків:

```
ENTER BUF ; Увійти в БКП
SEIZE PROC ; Зайняти прилад
LEAVE BUF ; Вийти з БКП
ADVANCE A,B ; Затримати транзакт
RELEASE PROC ; Звільнити прилад
```

Транзакт може увійти в БКП, якщо хоч один канал вільний. Після завершення моделювання роздруковується стандартна статистика по БКП, що включає середню і максимальну кількість каналів, що були зайняті, коефіцієнт завантаження БКП тощо.

При дослідженні моделі конвеєрної системи масового обслуговування часто виникає необхідність збирати наступну статистику.

1. Статистика про розподіл інтервалів між моментами входу транзактів у модель і моментами прибуття транзактів у деяку точку N моделі. Для цього блок `TABULATE` має розміщуватись у точці N моделі, а аргументом таблиці повинен бути СЧА `M1`.

2. Статистика про розподіл інтервалів часу руху транзактів від точки S до точки T моделі. Для цього у точці S моделі розміщується блок `MARK j`, а в точці T — блок `TABULATE`, причому аргументом таблиці повинен бути СЧА `MPj` (якщо j — число) або `MP$j` (у протилежному випадку).

3. Статистика про розподіл часу перебування транзактів у черзі (детальна статистика для черги). Для цього використовується команда `QTABLE`, опис якої від команди `TABLE` відрізняється лише першим аргументом — ним повинно бути ім'я черги.

Лабораторна робота № 4.

Моделювання паралельних систем масового обслуговування з пріоритетною схемою обслуговування замовлень у GPSS

Задана система масового обслуговування паралельного типу, пристрої $PRS1$, $PRS2$, $PRS3$ якої функціонують паралельно і незалежно один від одного (рис. 6). Нею може бути, наприклад, обчислювальна система.

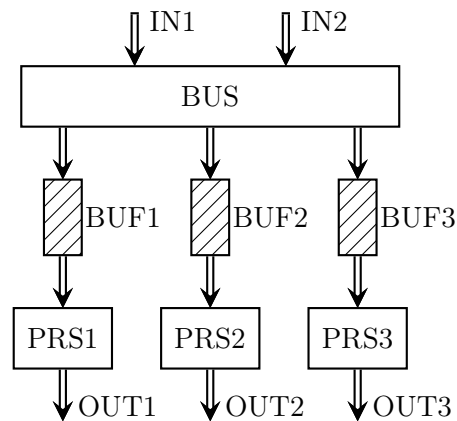


Рис. 6.

На вхід системи надходять два потоки вимог $IN1$ і $IN2$, задані експоненціальними розподілами з середніми значеннями \bar{x}_1 і \bar{x}_2 . Розподільчий пристрій BUS надсилає кожну вимогу для обробки на один з трьох пристроїв — $PRS1$, $PRS2$ або $PRS3$ з заданими ймовірностями.

У наступній таблиці для різних варіантів подані середні значення \bar{x}_1 і \bar{x}_2 для вхідних потоків, розподіли випадкових величин для затримок та ймовірності переходу в кожен з пристроїв $PRS1$, $PRS2$, $PRS3$ відповідно.

Варіант	Вхідні потоки	Затримка 1	Затримка 2	Затримка 3	Імовірності
1	$\bar{x}_1 = 23,5$, $\bar{x}_2 = 24$	рівно- мірний, [16, 25]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	0,5, 0,3, 0,2
2	$\bar{x}_1 = 15,5$, $\bar{x}_2 = 12,4$	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівно- мірний, [12, 19]	0,6, 0,2, 0,2
3	$\bar{x}_1 = 41,3$, $\bar{x}_2 = 35,8$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	рівно- мірний, [32, 60]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	0,4, 0,2, 0,4
4	$\bar{x}_1 = 52,6$, $\bar{x}_2 = 43,1$	рівно- мірний, [45, 82]	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	0,3, 0,2, 0,5
5	$\bar{x}_1 = 28,9$, $\bar{x}_2 = 27,5$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівно- мірний, [31, 78]	0,3, 0,3, 0,4
6	$\bar{x}_1 = 87,6$, $\bar{x}_2 = 65,4$	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівно- мірний, [145, 162]	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	0,1, 0,6, 0,3
7	$\bar{x}_1 = 32,1$, $\bar{x}_2 = 29,6$	рівно- мірний, [75, 88]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	0,2, 0,4, 0,4
8	$\bar{x}_1 = 44,2$, $\bar{x}_2 = 39,3$	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	рівно- мірний, [56, 82]	0,7, 0,1, 0,2
9	$\bar{x}_1 = 31,6$, $\bar{x}_2 = 37,4$	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівно- мірний, [22, 113]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	0,3, 0,4, 0,3
10	$\bar{x}_1 = 15,3$, $\bar{x}_2 = 18,7$	рівно- мірний, [15, 71]	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	0,2, 0,6, 0,2
11	$\bar{x}_1 = 28,5$, $\bar{x}_2 = 33,4$	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	рівно- мірний, [66, 105]	0,4, 0,5, 0,1
12	$\bar{x}_1 = 18,9$, $\bar{x}_2 = 21,3$	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	рівно- мірний, [55, 101]	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	0,6, 0,1, 0,3

Варіант	Вхідні потоки	Затримка 1	Затримка 2	Затримка 3	Імовірності
13	$\bar{x}_1 = 16,7$, $\bar{x}_2 = 25,2$	рівно- мірний, [37, 59]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	0,2, 0,7, 0,1
14	$\bar{x}_1 = 23$, $\bar{x}_2 = 27,5$	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівно- мірний, [51, 122]	0,3, 0,5, 0,2
15	$\bar{x}_1 = 14,7$, $\bar{x}_2 = 16,5$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	рівно- мірний, [42, 104]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	0,4, 0,3, 0,3
16	$\bar{x}_1 = 42,7$, $\bar{x}_2 = 41,4$	рівно- мірний, [61, 129]	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	0,8, 0,1, 0,1
17	$\bar{x}_1 = 54,2$, $\bar{x}_2 = 60$	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівно- мірний, [105, 195]	0,1, 0,2, 0,7
18	$\bar{x}_1 = 33,8$, $\bar{x}_2 = 31,7$	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	рівно- мірний, [55, 93]	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	0,3, 0,1, 0,6
19	$\bar{x}_1 = 44,2$, $\bar{x}_2 = 37,6$	рівно- мірний, [57, 111]	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	0,5, 0,4, 0,1
20	$\bar{x}_1 = 31,4$, $\bar{x}_2 = 29,2$	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	рівно- мірний, [84, 177]	0,1, 0,3, 0,6
21	$\bar{x}_1 = 55,2$, $\bar{x}_2 = 51,6$	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	рівно- мірний, [99, 215]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	0,2, 0,3, 0,5
22	$\bar{x}_1 = 47,1$, $\bar{x}_2 = 49$	рівно- мірний, [78, 163]	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	0,1, 0,8, 0,1
23	$\bar{x}_1 = 11,8$, $\bar{x}_2 = 12,6$	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	рівно- мірний, [23, 77]	0,25, 0,25, 0,5
24	$\bar{x}_1 = 48,5$, $\bar{x}_2 = 34,6$	функція <i>FUNC4</i> , рис. 4	рівно- мірний, [100, 223]	функція <i>FUNC3</i> , рис. 3	0,1, 0,5, 0,4

Варіант	Вхідні потоки	Затримка 1	Затримка 2	Затримка 3	Імовірності
25	$\bar{x}_1 = 36,$ $\bar{x}_2 = 37,1$	рівномірний, [65, 127]	функція <i>FUNC1</i> , рис. 1	функція <i>FUNC2</i> , рис. 2	0,3, 0,6, 0,1

Вимоги потоку *IN2* мають вищий пріоритет і можуть переривати обробку вимог потоку *IN1* для власного обслуговування. Дообслуговування перерваної вимоги може відбуватися або в тому самому пристрої, в якому почалася її обробка, після закінчення переривання, або в спеціальному пристрої *PR5* відразу ж при виникненні переривання.

На вході кожного пристрою є буфер місткістю 5 одиниць. Якщо вимога надходить при заповненому буфері, то вона втрачається.

Завдання.

1. Побудувати на мові GPSS модель заданої системи при умові, що транзакти, обслуговування яких було перерване, дообслуговуються на тому самому пристрої.

2. Визначити такі характеристики моделі, як час перебування замовлень у системі, інтенсивності вихідних потоків, час перебування замовлень у кожному з буферів, а також відсоток втрачених за рахунок обмеженості об'єму буферів замовлень по кожному з пристроїв і загальний відсоток втрачених замовлень.

3. Визначити коефіцієнти завантаження пристроїв. Зробити висновок щодо режиму роботи модельованої системи.

4. Побудувати на мові GPSS модель заданої системи при умові, що транзакти, обслуговування яких було перерване, дообслуговуються на додатковому пристрої (рис. 7), який характеризується тим самим об'ємом вхідного буфера і часом роботи, що дорівнює часу, який залишився для обробки транзакта плюс рівномірно розподілена випадкова величина на заданому у наступній таблиці проміжку.

Варіант	Промі- жок	Варіант	Промі- жок	Варіант	Промі- жок	Варіант	Промі- жок	Варіант	Промі- жок
1	[1, 5]	6	[9, 21]	11	[3, 8]	16	[9, 18]	21	[3, 11]
2	[2, 8]	7	[7, 18]	12	[8, 12]	17	[10, 19]	22	[2, 7]
3	[2, 7]	8	[4, 16]	13	[4, 17]	18	[7, 22]	23	[12, 27]
4	[4, 11]	9	[3, 20]	14	[6, 9]	19	[6, 24]	24	[7, 31]
5	[5, 13]	10	[5, 24]	15	[2, 15]	20	[11, 21]	25	[4, 16]

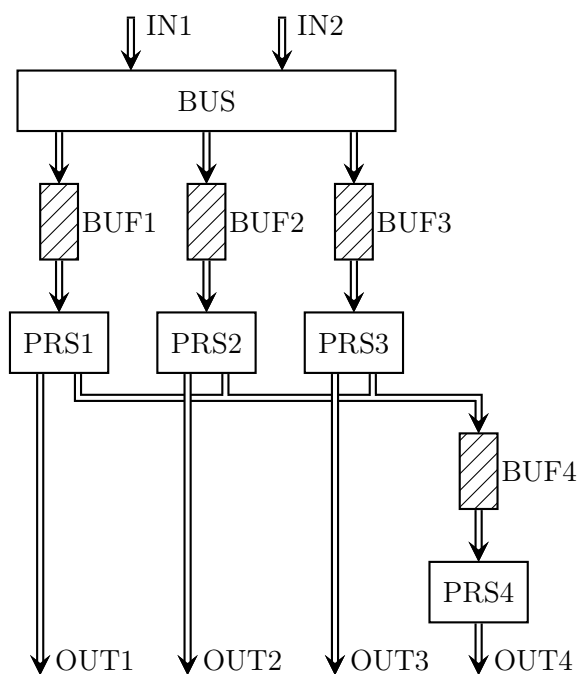


Рис. 7.

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 4

Рівень пріоритету транзактів може бути заданий з допомогою останнього операнда блока **GENERATE** або шляхом використання спеціального блока **PRIORITY A**, що присвоює пріоритету транзакта значення операнда *A*.

Для реалізації переривання обслуговування транзактів у моделі необхідно замість блоків **SEIZE** і **RELEASE** використовувати відповідно блоки **PREEMPT** A, B, C, D, E — захопити прилад і **RETURN** A — звільнити прилад, де A — ім'я захопленого (звільнюваного) приладу, C — мітка блока, в який буде надіслано транзакт, обслуговування якого було перерване, D — ім'я параметра перерваного транзакта, в якому зберігається значення часу, що залишився транзакту до закінчення обслуговування у приладі. Якщо операнд B не використовується, то захоплення приладу виникає у тому випадку, коли обслуговуваний транзакт сам не є загарбником; якщо в полі даного операнда записано СЧА PR, то захоплення виникає у тому випадку, коли можливий загарбник має вищий пріоритет, ніж пріоритет обслуговуваного транзакта. Якщо операнд E не використовується, то транзакт зберігає право автоматичного відновлення на приладі; якщо в полі даного операнда записана аббревіатура RE, то транзакт втрачає таке право. Операнди B, C, D, E — необов'язкові.

Кожен з паралельно працюючих пристроїв ($PRS1, PRS2, PRS3$) може бути описаний окремою трійкою блоків **PREEMPT-ADVANCE-RETURN**.

Для здійснення розгалужень у моделі, крім блока **TRANSFER**, що працює в режимі статистичної передачі (с. 8), можуть використовуватись наступні засоби.

1. Блок **TRANSFER** B в режимі безумовної передачі, де B — ім'я блока, в який безумовно передається транзакт.

2. Блок **TEST** X, A, B, C порівнює операнди A і B відповідно до умовного операнда X . Умовний операнд X може набувати значень: **G** — умова $A > B$, **GE** — умова $A \geq B$, **E** — умова $A = B$, **NE** — умова $A \neq B$, **L** — умова $A < B$, **LE** — умова $A \leq B$. Якщо умова виконується, то транзакт переходить у наступний блок. Операнд C — мітка блока, в який переходить транзакт при невиконанні умови, що перевіряється. Якщо операнд C пропущено і умова не виконується, то транзакт затримується до тих пір, доки умова не виконається. Приклад:

TEST L P12,10,mit — якщо вміст параметра транзакта з ім'ям 12 є меншим від 10, то транзакт переходить у наступний блок, інакше — на мітку mit.

3. Блок GATE $X A, B$ перевіряє стан пристрою з ім'ям A . Умовний операнд X може, зокрема, набувати таких значень: U — одноканальний пристрій є зайнятим, NU — одноканальний пристрій є незайнятим, SF — всі канали багатоканального пристрою є зайнятими, SNF — принаймні один канал багатоканального пристрою є вільним, SE — всі канали багатоканального пристрою є вільними, SNE — принаймні один канал багатоканального пристрою є зайнятим. Якщо умова виконується, то транзакт переходить у наступний блок. Операнд B — мітка блока, в який переходить транзакт при невиконанні умови, що перевіряється. Якщо операнд B пропущено і умова не виконується, то транзакт затримується до тих пір, доки умова не виконається.

Для побудови моделі можна скористатись наступним методом.

Транзакти надходять в модель через два блоки GENERATE, що визначають рівень їхнього пріоритету (щоб транзакт, згенерований першим блоком GENERATE, не потрапив у наступний блок GENERATE, треба потурбуватись про відповідний безумовний перехід). З допомогою двох блоків TRANSFER, що працюють у режимі статистичної передачі, здійснюється розщеплення загального потоку на три потоки із заданими ймовірностями для паралельної обробки на трьох пристроях. Буфери імітуються багатоканальними приладами. Перед входом у них повинна здійснюватись перевірка зайнятості буферів.

Завдання для самостійної роботи

Моделювання роботи читального залу. Читальний зал на факультеті обслуговує читачів лише під час перерв між парами і після пар. У читальному залі працює один бібліотекар. Час між появами читачів — рівномірно розподілена випадкова величина на проміжку $[0, 30]$ секунд. Читачі бувають двох

типів, причому кількість їх однакова. Читачі першого типу хочуть здати книжку і цей процес займає 10 – 20 секунд. Читачі другого типу хочуть взяти книжку. Цей процес вимагає від 20 до 120 секунд. Бібліотекар не може обслуговувати кілька читачів одночасно. Скласти модель на мові GPSS World, яка б дозволила змоделювати роботу читального залу протягом 30 хвилин перерви, визначити довжину черги і статистику розподілу часу, потрібного для обслуговування читача. Змінити модель так, щоб час між появами читачів був рівномірно розподіленою випадковою величиною на проміжку $[0, 30 + h/60]$ секунд, де h — кількість секунд, які минули від відкриття читального залу (тобто на початку перерви приходить найбільше читачів).

Моделювання роботи магазину. У магазині є два продавці. Якщо обидва продавці зайняті обслуговуванням покупців, то до них формується спільна черга. Вхідний потік покупців не залежить від передісторії і є пуассонівським (найчастіше саме так і є). Тому час появи покупців є експоненціально розподіленою випадковою величиною з інтенсивністю 0,9 за хвилину. Час обслуговування покупця продавцем теж є експоненціально розподіленою випадковою величиною з середнім значенням 2 хвилини. Скласти модель на мові GPSS, яка б дозволила змоделювати роботу магазину протягом 12 годин, отримати статистику розподілу часу, потрібного для обслуговування покупця, і довжину черги.

Моделювання роботи перукарні. У перукарні є n перукарів. Вхідний потік клієнтів має експоненціальний розподіл з інтенсивністю 0,21 за хвилину. Якщо один з перукарів є вільним, то він обслуговуватиме чергового клієнта. Якщо всі перукарі зайняті, то клієнти стають у спільну чергу. Якщо довжина черги досягає значення 10, наступні клієнти не займають чергу, а йдуть шукати іншу перукарню. Час обслуговування клієнта будь-яким перукарем має експоненціальний розподіл з середнім значенням 15 хвилин. Скласти модель роботи системи на мові GPSS, шляхом моделювання визначити мінімальну

кількість перукарів, необхідну для того щоб середня довжина черги була меншою 5. Визначити ймовірність того, що клієнту доведеться шукати іншу перукарню, максимальну довжину черги, коефіцієнт завантаження перукарні та статистику розподілу часу, необхідного для обслуговування клієнтів.

Моделювання роботи виробничої дільниці. На виробничу дільницю надходять деталі. Час їх надходження розподілений рівномірно на проміжку [5, 15] хвилин. Спочатку вони проходять зовнішній прийом у контролера відділу технічного контролю за [2, 4] хвилини. 5 % з них скеровуються на доопрацювання, яке займає [3, 5] хвилин, після чого вони знову надходять на перевірку до контролера на час [1, 3] хвилини. Деталі, які вже побували на доопрацюванні і знову не проходять контроль якості, визнаються бракованими (в середньому їх буває 10 % від кількості тих, що були на доопрацюванні). Після прийому деталі надходять на складання протягом [2, 7] хвилин, а потім на термозагартування на час [8, 12] хвилин. Деталі, що гартувалися менше 10 хвилин або були на доопрацюванні, одержують маркування другого сорту, а якщо ці деталі були на доопрацюванні і гартування тривало менше 10 хвилин — третього.

Завдання:

а) склавши модель на мові GPSS, змоделювати роботу дільниці протягом 22 робочих днів тривалістю 8 годин кожен;

б) визначити кількість бракованих деталей і кількість деталей кожного сорту;

в) визначити як зміняться ці дані при зменшенні браку до 2 % від тих, які були на доопрацюванні.

Моделювання роботи станції технічного обслуговування автомобілів. Станція технічного обслуговування автомобілів (СТО) ремонтує машини трьох типів: *A*, *B*, *C*. Автомобілі всіх типів надходять через проміжки часу, які мають експоненціальний закон розподілу, причому для машин типу *A* інтенсивність складає 0,058 за хвилину, *B* — 0,08 за хвилину, *C* — 0,044 за хвилину. На СТО працюють дві бригади слюсарів.

Ремонт машини типу A є випадковою величиною, рівномірно розподіленою на проміжку $[12, 22]$ хвилин, B — $[10, 25]$ хвилин, C — $[10, 30]$ хвилин. Стоянка перед СТО має 15 місць, а кожна бригада має свій бокс на одну машину. Машини, для яких не знайшлося місця в боксі чи на стоянці, ремонтуються в іншому місці. Станція технічного обслуговування працює в середньому 22 дні на місяць по вісім годин на день.

Завдання:

а) скласти модель на мові GPSS і змоделювати роботу СТО протягом місяця та року;

б) знайти розподіл часу обслуговування автомашин кожного типу, ймовірність відмови в обслуговуванні, коефіцієнт завантаження слюсарів роботою, коефіцієнт заповнення стоянки, середню кількість боксів, що працюють та середню кількість зайнятих місць на стоянці;

в) визначити необхідну кількість місць на стоянці для виключення випадків відмови в обслуговуванні та всі величини пункту б) у цьому випадку;

г) знайти необхідну місткість боксів для виключення випадків відмови в обслуговуванні та всі величини пункту б) у цьому випадку.

Елементи стандартного звіту

Після завершення моделювання система автоматично створює звіт. Звіт містить загальну інформацію про результати моделювання та статистичну інформацію про конкретні об'єкти, які використовуються в моделі. Наведемо приклади і пояснення для основних елементів звіту.

Рядки заголовка. Перший рядок звіту завжди містить ім'я файлу моделі, номер трансляції і номер запуску моделі на виконання, відокремлені крапками. Другий рядок звіту містить дату і час завершення моделювання, наприклад:

GPSS World Simulation Report - Model6.35.1

Tuesday, December 10, 2019 15:29:24

Загальна інформація про результати роботи моделі подається у вигляді таблиці, наприклад:

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	4128.427	23	2	1

START TIME — початковий час, тобто абсолютний модельний час у момент початку моделювання;

END TIME — кінцевий час, тобто значення абсолютного модельного часу в момент, коли лічильник завершень набуває значення 0;

BLOCKS — кількість блоків у моделі;

FACILITIES — кількість одноканальних пристроїв, використаних під час моделювання;

STORAGES — кількість багатоканальних пристроїв, використаних під час моделювання.

Інформація про імена також подається у вигляді таблиці, наприклад:

NAME	VALUE
ABVF	3.760
BKR	10002.000
CHERGA	10003.000
KKT	10004.000
MIT1	15.000
MIT2	11.000
PMK	UNSPECIFIED
S_	10005.000
TAB	10000.000

NAME — перелік заданих користувачем імен, які містяться у програмі;

VALUE — числові значення, присвоєні іменам. Для міток числовими значеннями є номери відповідних блоків, для змінних користувача — значення цих змінних у момент завершення моделювання. В інших випадках система надає іменам унікальні номери, починаючи з 10000. Якщо ім'я не використовувалось під час моделювання, то воно містить значення **UNSPECIFIED**.

Інформація про блоки. Наступна у звіті таблиця містить досить важливу інформацію про використані в моделі блоки, наприклад:

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	129	0	0
	2	QUEUE	129	3	0
	3	SEIZE	126	0	0
	4	DEPART	126	0	0
	5	ADVANCE	126	1	0
	6	RELEASE	125	0	0
	7	TABULATE	125	0	0
	8	GATE	125	0	0
	9	ASSIGN	79	0	0
	10	PRIORITY	79	0	0
MIT2	11	ENTER	82	0	0
	12	ADVANCE	82	1	0
	13	LEAVE	81	0	0
	14	SAVEVALUE	81	0	0
MIT1	15	LOGIC	127	0	0
	16	TRANSFER	127	22	0
	17	PREEMPT	102	1	0
	18	ADVANCE	101	1	0
	19	RELEASE	100	0	0
	20	TERMINATE	100	0	0
	21	SEIZE	0	0	0
	22	ADVANCE	0	0	0
	23	RELEASE	0	0	0

LABEL — мітка блока (якщо задана);
LOC — числовий номер позиції блока в моделі;
BLOCK TYPE — тип блока GPSS;
ENTRY COUNT — кількість транзактів, які увійшли до блока;
CURRENT COUNT — кількість транзактів, які перебувають у блоці в момент завершення моделювання;
RETRY — кількість транзактів, які чекають виконання спеціальної умови, яка залежить від стану відповідного блока.

Наявність решти таблиць у звіті залежить від конкретної моделі.

Інформація про одноканальні пристрої

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
22	126	0.826	27.054	1	126	0	0	0	3
S_	102	0.968	39.173	1	102	22	1	0	0

FACILITY — ім'я одноканального пристрою;
ENTRIES — кількість транзактів, які займали пристрій (у тому числі з перериванням) на протязі моделювання;

UTIL. — коефіцієнт використання пристрою, тобто частка часу моделювання, протягом якого пристрій був зайнятим;

AVE. TIME — середній час використання пристрою під час моделювання;

AVAIL. — стан пристрою в кінці моделювання (1, якщо пристрій доступний; 0 — якщо недоступний);

OWNER — номер транзакта, який займає пристрій у кінці моделювання (0 — пристрій не зайнятий);

PEND — кількість транзактів, які очікують на обслуговування з перериванням обслуговування інших транзактів (тільки для блока **PREEMPT**, що працює в режимі переривань);

INTER — кількість транзактів, обслуговування яких було перерване на даний момент;

RETRY — кількість транзактів, які чекають виконання спеціальної умови, що залежить від стану цього пристрою;

DELAY — кількість транзактів, які на момент завершення моделювання очікують на входження в одноканальний пристрій (крім блока **PREEMPT**, що працює в режимі переривань).

Інформація про багатоканальні пристрої

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
BKR	4	3	0	4	82	1	1.002	0.251	0	0

STORAGE — ім'я багатоканального пристрою;

CAP. — ємність багатоканального пристрою (кількість каналів);

REM. — кількість вільних каналів багатоканального пристрою на момент завершення моделювання;

MIN. — мінімальна кількість каналів багатоканального пристрою, які були використані під час моделювання;

MAX. — максимальна кількість каналів багатоканального пристрою, які були використані під час моделювання;

ENTRIES — кількість входжень транзактів до пристрою під час моделювання;

AVL. — стан пристрою в кінці моделювання (1, якщо пристрій доступний; 0 — якщо недоступний);

AVE.C. — середня кількість зайнятих каналів за час моделювання;

UTIL. — коефіцієнт використання пристрою;

RETRY — кількість транзактів, які чекають виконання спеціальної умови, що залежить від стану цього пристрою;

DELAY — кількість транзактів, які на момент завершення моделювання очікують на входження в багатоканальний пристрій.

Інформація про черги

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
CHERGA	5	3	129	39	0.840	26.897	38.553	0

QUEUE — ім'я черги;

MAX — максимальна довжина черги під час моделювання;

CONT. — довжина черги в кінці процесу моделювання;

ENTRY — загальна кількість входжень транзактів у чергу протягом моделювання;

ENTRY(0) — загальна кількість входжень транзактів у чергу з нульовим часом очікування;

AVE.CONT. — середня довжина черги протягом моделювання;

AVE.TIME — середній час перебування одного транзакта в черзі з урахуванням усіх входжень до черги;

AVE.(-0) — середній час перебування одного транзакта в черзі без урахування входжень до черги з нульовим часом очікування;

RETRY — кількість транзактів, які чекають виконання спеціальної умови, що залежить від стану черги.

Інформація про таблиці

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TAB	52.346	30.123		0		
			- -	30.000	34	27.20
			30.000 -	60.000	41	60.00
			60.000 -	90.000	37	89.60
			90.000 -	120.000	9	96.80
			120.000 -	150.000	4	100.00

TABLE — ім'я таблиці;
MEAN — середнє арифметичне табличних значень;
STD.DEV. — середньоквадратичне відхилення табличних значень;
RANGE — нижня і верхня межі частотного класу (символ підкреслення використовується для позначення $-\infty$ або $+\infty$);
RETRY — кількість транзактів, які чекають виконання спеціальної умови, що залежить від стану цієї таблиці;
FREQUENCY — частота, тобто кількість табличних значень, які потрапили в зазначені межі частотного класу;
CUM.% — накопичена частота, подана в процентах до загальної кількості.

Інформація про логічні перемикачі

LOGICSWITCH	VALUE	RETRY
ККТ	1	0

LOGICSWITCH — ім'я логічного перемикача;
VALUE — значення перемикача в кінці моделювання (1 — увімкнений; 0 — вимкнений);
RETRY — кількість транзактів, які чекають виконання спеціальної умови, що залежить від стану цього логічного перемикача.

Інформація про комірки пам'яті

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
1	0	102.870

SAVEVALUE — ім'я комірки пам'яті;
VALUE — значення збереженої величини на момент завершення моделювання;
RETRY — кількість транзактів, які чекають виконання спеціальної умови, що залежить від стану даної комірки пам'яті.

Інформація про списки поточних і майбутніх подій.
 Списки поточних і майбутніх подій містять інформацію про транзакти на момент завершення моделювання, наприклад:

CEC XN	PRI	M1	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
102	0	3268.037	102	17	18		
FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
130	0	4130.658	130	0	1		
124	1	4136.513	124	12	13	2	1.600
126	0	4152.354	126	5	6		

CEC XN — номер транзакта, який міститься у списку поточних подій;

PRI — пріоритет транзакта;

M1 — час створення транзакта;

ASSEM — номер сім'ї транзакта;

CURRENT — номер блока, в якому перебуває транзакт у момент завершення моделювання;

NEXT — номер наступного блока, в який мав би перейти транзакт при продовженні моделювання;

PARAMETER — ім'я параметра транзакта;

VALUE — значення параметра транзакта;

FEC XN — номер транзакта, який міститься у списку майбутніх подій;

BDT — значення абсолютного модельного часу, коли транзакт має залишити список майбутніх подій.

Список рекомендованої літератури

1. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. СПб : БХВ-Петербург, 2004. 368 с.
2. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування. Практикум. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2007. 307 с.
3. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. М. : ДМК Пресс, 2004. 320 с.
4. Махней О. В. Математичне моделювання. Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2015. 372 с.

5. Руководство пользователя по GPSS World / Пер. с англ. Казань : Изд-во «Мастер Лайн», 2002. 384 с.
6. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. М. : Бестселлер, 2003. 416 с.

Підписано до друку 03.01.2020. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Computer Modern Roman. Умовн. друк. арк. 2,3.
Тираж 100. Зам. № 330 від 03.01.2020.

Віддруковано: Приватний підприємець Голіней О. М.
76000, м. Івано-Франківськ,
вул. Галицька, 128,
тел.: (0342) 58-04-32.