

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КПІ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО
ПРАКТИКУМУ
З ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

Київ 2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КПІ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО
ПРАКТИКУМУ
З ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»

Затверджено
на засіданні кафедри
автоматизованих систем
обробки інформації та управління
Протокол № від « » _____ 2016 р.

Київ 2016

Методичні вказівки щодо виконання комп'ютерного практикуму з дисципліни «Моделювання систем» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр з напрямку навчання «комп'ютерні науки»/ Укладач В.М. Томашевський. – К.: ФІОТ НТУУ «КПІ», 2012. – 38 с.

Укладач В.М. Томашевський, доктор техн. наук

Відповідальний за випуск

Рецензенти: В.В. Литвинов, В.В. Казимир

Зміст

[ВСТУП](#)

[ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОВУ GPSS](#)

[Розділ 1. Дослідження основних принципів побудови імітаційних моделей мовою GPSS](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.1. Моделювання розливної лінії](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.2. Моделювання контролю та налагоджування телевізорів](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.3. Моделювання роботи кафе](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.4. Моделювання роботи оброблювального цеху](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.5. Моделювання роботи оброблювального цеху](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.6. Моделювання роботи оброблювального цеху](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.7. Моделювання роботи СМО](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.8. Моделювання функцій розподілів](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.9. Моделювання системи обслуговування](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.10. Моделювання системи автоматизації проектування](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.11. Моделювання роботи транспортного цеху](#)

[Комп'ютерний практикум № 1.12. Моделювання системи передачі розмови](#)

[Розділ 2. Організація імітаційних експериментів для прийняття управлінських рішень](#)

[Зміст звіту](#)

[Комп'ютерний практикум № 2.1. Модель технологічного процесу складання та випалення в печі](#)

[Порядок виконання роботи](#)

[Контрольні запитання](#)

[Текст програми](#)

[Комп'ютерний практикум № 2.2. Дослідження роботи продовольчого магазину на імітаційній моделі](#)

[Порядок виконання роботи](#)

[Контрольні запитання](#)

[Текст програми](#)

[Комп'ютерний практикум № 2.3. Управління процесом ремонту та заміни обладнання на виробництві](#)

[Порядок виконання роботи](#)

[Контрольні запитання](#)

[Текст програми](#)

[Комп'ютерний практикум № 2.4. Моделювання виробничої ділянки](#)

[Порядок виконання роботи](#)

[Текст програми](#)

[Контрольні запитання](#)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ВСТУП

Цикл комп'ютерного практикуму складається з двох розділів: перший – ознайомлення з можливостями системи імітаційного моделювання GPSS World і дослідження її можливостей для створення моделей різних систем; другий – організація експериментів за допомогою цієї системи для прийняття управлінських рішень.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОВУ GPSS

Мова моделювання GPSS (General Purpose Simulating System – загальноцільова система моделювання) використовується для побудови дискретно-подійних імітаційних моделей та проведення експериментів на ЕОМ.

Моделі систем на GPSS можуть бути записані у вигляді блок-схем або подані у вигляді послідовності рядків програми, еквівалентних блок-схемі. Блок-схема – це набір фігур з характерними контурами блоків мови GPSS, з'єднаних між собою лініями. Блоки – це підпрограми, реалізовані засобами макроасемблера. У різних версіях мови кількість блоків для створення імітаційних програм різна і дорівнює приблизно 50 блокам.

У мову моделювання GPSS входять спеціальні засоби для опису динамічної поведінки систем через зміну станів у дискретні моменти часу, тобто час моделювання змінюється випадково від події до події.

Система GPSS являє собою мову та транслятор. Як кожна мова, він містить словник і граматику, за допомогою яких можуть бути розроблені моделі систем певного типу. Транслятор мови працює у дві фази. На першій фазі компіляції перевіряється синтаксис і семантика написання рядків GPSS-програми, а на другій (що інтерпретує) здійснюється просування транзактів по моделі від блока до блока. Транзакти відіграють роль деяких моделювальних динамічних об'єктів.

Мова GPSS – це дискретна мова, орієнтована на процеси, декларативного типу, побудована за принципами об'єктної мови. Основними елементами цієї мови є транзакти та блоки, які відображають відповідно динамічні та статичні об'єкти модельованої системи.

Моделюючи об'єкти в системі призначені для різних цілей. Вибір об'єктів у конкретній моделі залежить від характеристик модельованої системи. Кожний об'єкт має деяке число властивостей, названих в GPSS стандартними числовими атрибутами (СЧА), які призначені для збирання статистики під час моделювання про об'єкти.

Кожна GPSS-модель обов'язково повинна містити такі об'єкти, як блоки та транзакти. У GPSS концепція передачі керування від блока до блока має специфічні особливості. Послідовність блоків GPSS-моделі відображає напрями, в яких переміщуються транзакти. Як і всі мови моделювання GPSS має деякий внутрішній механізм передачі керування, який реалізовується в модельному часі, що дозволяє відображати динамічні процеси в реальних системах. Передача керування від блока до блока в GPSS-програмах здійснюється за допомогою руху транзактів в модельному часі, тобто звернення до підпрограм блоків відбувається через рух транзактів. Змістове значення транзактів визначає розробник моделі. Саме він встановлює аналогію між транзактами та реальними елементами модельованої системи. Така аналогія ніколи не вказується інтерпретатору GPSS, вона залишається в уяві розробника моделей.

Система GPSS World має розширені можливості в порівнянні з стандартною мовою GPSS за рахунок вбудованої алгоритмічної мови PLUS, що дозволило включити у систему

засоби планування експериментів. Крім того наявність блока INTEGRATE дозволяє будувати неперервні моделі або дискретно-неперервні імітаційні моделі.

Розділ 1. Дослідження основних принципів побудови імітаційних моделей мовою GPSS

Цикл комп'ютерного практикуму першої частини складається з 12 комп'ютерних практикумів, які виконуються протягом дев'яти занять по дві навчальні години кожне. Студентам необхідно ознайомитися самостійно з можливостями мови GPSS для побудови дискретно-подійних систем, використовуючи посібники [1,..., 5] і виконати наведені завдання.

Звіт повинен містити:

1. Мету завдання.
2. Постановку завдання.
3. Листинг GPSS- програми з коментарями.
4. Аналіз результатів моделювання.
5. Висновки з відповідями на запитання в кожному завданні.

При захисті виконаних завдань комп'ютерного практикуму необхідно відповісти на запитання викладача, які стосуються блоків GPSS побудованої програми, виконання процесу моделювання та отриманих звітів .

Комп'ютерний практикум № 1.1. Моделювання розливної лінії

Завдання. Є деяка конвеєрна автоматизована лінія по випуску баночок фруктового соку (рис. 1.1). Порожні баночки для фруктового соку поступають в накопичувач 1 автоматизованої лінії кожні $A \pm B$ с часу. Після цього в них автоматично заливається сік. Одночасно може заливатися лише одна баночка, на що витрачається F с часу. Потім баночки поступають в накопичувач 2 для виконання операції закупорювання. Для цього витрачається C с часу на кожну баночку. Одночасно може оброблятися одна баночка. Потім вони потрапляють в накопичувач 3 для наступної операції. У кінці конвеєра баночки встановлюються в ящики. Час установки однієї баночки є рівномірно розподіленою випадковою величиною в інтервалі $D \pm E$ с. Одночасно може встановлюватися в ящик не більше двох баночок.

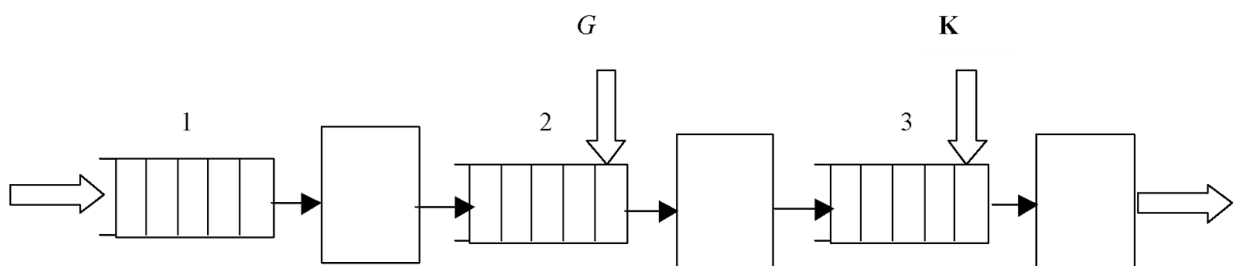


Рис. 1.1

Початкові умови

На початку зміни в накопичувачі 2 знаходяться G баночок, а в накопичувачі 3 – K баночок.

Мета. Визначити, які розміри повинні мати накопичувачі з номерами, вказаними в табл. 1.1 відповідно до варіанту. Промоделюйте роботу лінії впродовж однієї зміни (N годин).

У табл. 1.1 вказані варіанти та значення параметрів.

Таблиця 1.1

Параметри	Варіанти		
	1	2	3
$A \pm B$	$3,5 \pm 1,1$	$4,5 \pm 2,0$	$3,2 \pm 1,3$
F	1,5	1,2	2,3
C	1,6	1,3	2,4
$D \pm E$	$2,0 \pm 0,8$	$1,7 \pm 0,5$	$2,6 \pm 0,4$
G	20	26	35
K	36	36	30
N	8	6	7

Комп'ютерний практикум № 1.2. Моделювання контролю та налагоджування телевізорів

Завдання. Зібрані телевізори проходять серію випробувань на станції технічного контролю. Якщо виявляється, що функціонування телевізора ненормальне, то відбракований телевізор передають у цех наладки, де замінюють несправні блоки. Після наладки телевізор повертають на станцію контролю та знову перевіряють. Із станції технічного контролю телевізори після однієї або декількох перевірок поступають в цех упаковки (рис. 1.2).

Телевізори потрапляють на станцію технічного контролю кожні $A \pm B$ хв. На станції працюють C контролерів однакової кваліфікації. Операція контролю одного телевізора складається з двох перевірок:

- 1) для першої перевірки кожному контролерові потрібне $D \pm E$ хв.;
- 2) для другої перевірки на усіх C контролерів є один тестовий прилад (тривалість тестування – F хв.).

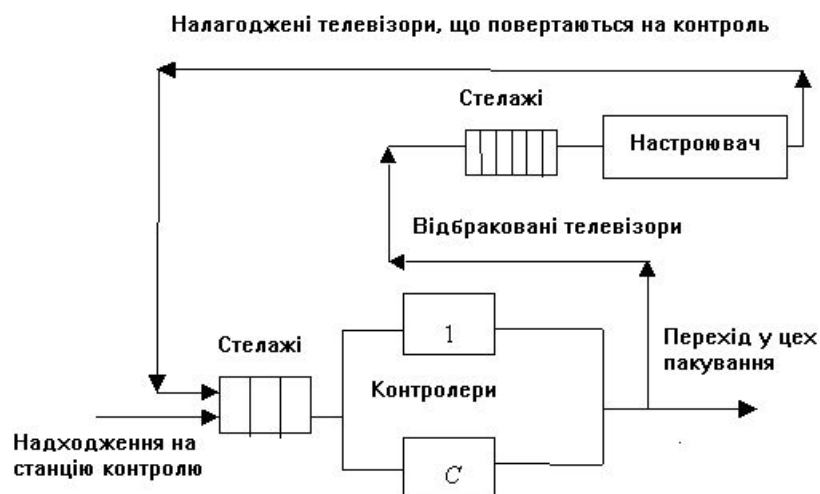


Рис. 1.2

Приблизно G відсотків телевізорів успішно проходять перевірку та потрапляють у цех упаковки, а інші K відсотків – у цех наладки, в якому знаходиться один робітник, що їх налагоджує. Час наладки (заміни) несправних блоків розподілений за рівномірним законом у інтервалі $N \pm M$ хв. Час моделювання – 8 год.

Мета. Написати на GPSS модель функціонування цього підрозділу виробничої дільниці. Визначити, скільки місць на стелажах необхідно передбачити на вході станції контролю та в цеху наладки.

У табл. 1.2 приведені варіанти завдань і значення параметрів.

Таблиця 1.2

Параметр	Варіанти		
	1	2	3
$A \pm B$	$5,5 \pm 2,0$	$7,0 \pm 1,5$	$6,5 \pm 2,0$
C	2	3	2
$D \pm E$	9 ± 3	6 ± 5	12 ± 3
F	1,2	1,5	1,0
G	85	95	85
K	15	5	15
$N \pm M$	30 ± 7	35 ± 9	30 ± 8

Комп'ютерний практикум № 1.3. Моделювання роботи кафе

Завдання. У невеликому кафе працюють дві офіціантки (A і B), обслуговуючи по N чотиримісних столиків. Офіціантка A користується більшою популярністю, ніж офіціантка B . Приходячи в кафе, клієнт сідає за столик офіціантки B тільки у тому випадку, якщо усі місця за столиками, які обслуговує офіціантка A , зайняті. Клієнти приходять у кафе через $a \pm b$ хв. і, якщо не застать вільних місць, стають в чергу.

Коли клієнт сідає на місце, що звільнилося, він чекає, поки до нього підійде офіціантка та прийме у нього замовлення. Час прийому замовлення у офіціантки A займає $c \pm d$ с, у офіціантки B відповідно $e \pm f$ с. Приймавши замовлення у клієнта, офіціантки відразу ж його виконують. Час виконання замовлення обома офіціантками складає $g \pm h$ с. Після отримання замовлення клієнт упродовж $k \pm m$ хв. обідає та йде з кафе. Офіціантки обслуговують клієнтів за принципом FIFO (раніше прийшов, раніше обслуговується) й в кожен момент часу можуть обслуговувати не більше за одного клієнта.

Мета. Визначити час очікування в черзі та час, який клієнт проводить за столиком кафе. Промоделювати роботу кафе впродовж 10 год.

Примітка. 1. Для визначення переваги офіціантки A скористатися блоком TRANSFER у режиму BOOS.

2. Для визначення середнього часу перебування клієнтів за столиками скористатися парою блоків QUEUE – DEPART.

У табл. 1.3 приведені варіанти завдань і значення параметрів.

Таблиця 1.3

Параметри	Варіанти		
	1	2	3
N	5	7	6

$a \pm b$	2 ± 1	2 ± 1	3 ± 2
$c \pm d$	45 ± 15	35 ± 6	40 ± 10
$e \pm f$	17 ± 4	22 ± 6	35 ± 8
$g \pm h$	160 ± 20	180 ± 30	200 ± 50
$k \pm m$	16 ± 4	10 ± 3	12 ± 3

Комп'ютерний практикум № 1.4. Моделювання роботи оброблювального цеху

Завдання. У оброблювальний цех через $a \pm b$ хв. поступають деталі двох типів: з ймовірністю p_1 – першого типу, з ймовірністю p_2 – другого типу.

Деталі першого типу обробляються верстатом A (час обробки $c \pm d$ хв.и, в кожен момент часу може оброблятися тільки одна деталь). З ймовірністю p_3 деталь не відповідає вимогам якості та повертається на повторну обробку на верстат A , інакше вона поступає на верстат C .

Деталі другого типу обробляються верстатом B (час обробки $e \pm f$ хв., в кожен момент часу може оброблятися тільки одна деталь). З ймовірністю p_3 деталь не відповідає вимогам якості та повертається на повторну обробку на верстат B , інакше вона поступає на верстат C . Верстат C може обробляти до g деталей одночасно, час обслуговування однієї деталі складає $k \pm m$ хв.

Мета. Промоделювати роботу цеху упродовж N годин. Визначити час знаходження деталі на обробці в цеху.

В табл. 4 приведені варіанти завдань і значення параметрів.

Таблиця 1.4

Параметри	Варіанти		
	1	2	3
$a \pm b$	5 ± 1	6 ± 2	7 ± 2
p_1	0,4	0,5	0,7
p_2	0,6	0,5	0,3
$c \pm d$	15 ± 5	16 ± 6	14 ± 10
p_3	0,1	0,05	0,075
$e \pm f$	8 ± 4	12 ± 6	16 ± 8
g	5	4	3
$k \pm m$	6 ± 2	8 ± 3	9 ± 3
N	10	11	8

Комп'ютерний практикум № 1.5. Моделювання роботи оброблювального цеху

Завдання. На вхід деякого цеху, який складається з трьох ділянок, поступає випадковий потік деталей. Інтервали надходження мають експоненціальний розподіл зі середнім значенням 4 хв. З ймовірністю 0,65 поступає деталь першого типу, з ймовірністю 0,35 – другого типу. Після того, як деталі поступили в цех, вони прямують на ділянку U_1 , де обробляються послідовно одна за одною (час обробки розподілено рівномірно в інтервалі 2–5 хв.). При цьому деталі другого типу мають більший пріоритет, ніж деталі першого типу.

Далі, після обробки на ділянці U_1 деталі першого типу поступають на ділянку U_2 , а деталі другого типу – на ділянку U_3 . На ділянці U_2 є три ідентичні верстати. Час обробки деталі верстатом має експоненціальний розподіл з середнім значенням 11 хв. На ділянці U_3 є два верстати (час обробки на кожному з них має експоненціальний розподіл з середнім значенням 7 хв.).

Мета. Промодельовати роботу цеху упродовж 40 год. Визначити статистичні характеристики черги деталей перед ділянками U_2 і U_3 .

Комп'ютерний практикум № 1.6. Моделювання роботи оброблювального цеху

Завдання. У цех поступає пуассонівський потік деталей з інтенсивністю 20 деталей за годину. З ймовірністю 0,4 деталь поступає на першу ділянку, а з ймовірністю 0,6 – на другу ділянку. На першій ділянці деталі обробляються на одному з двох верстатів. Час обслуговування має експоненціальний розподіл зі середнім значенням 48 хв. На другій ділянці деталі обробляють одним верстатом за час, який рівномірно розподілений в інтервалі 2 ± 1 хв. Після обробки на одній з двох ділянок деталі спрямовуються до третьої ділянки з одним верстатом, на якому час обробки має експоненціальний розподіл з середнім значенням 2 хв.

Мета. Промодельовати обробку 1000 деталей. Визначити кількість деталей, які пройшли через першу ділянку, та максимальну довжину черги перед третьою ділянкою.

Побудувати GPSS-модель цеху, яка складається:

- 1) з одного програмного сегменту (з використанням параметрів транзактів, які визначають тип деталі);
- 2) з двох програмних сегментів.

Примітка. Програмний сегмент – частина GPSS-моделі, яка починається блоком GENERATE і закінчується блоком TERMINATE.

Комп'ютерний практикум № 1.7. Моделювання роботи СМО

Завдання 1. На вхід одноканальної обслуговуючої системи з інтенсивністю λ (1/одиночку часу) поступає пуассонівський потік вимог. З ймовірністю p_1 вимога має перший тип, з ймовірністю p_2 – другий тип. Вимоги другого типу при виборі з черги мають більший пріоритет, ніж вимоги першого типу. Час обслуговування вимоги приладом має експоненціальний розподіл з середнім значенням t_1 од. часу для вимоги першого типу, t_2 – для вимоги другого типу. Промодельовати обслуговування K вимог.

Мета. Оцінити довжину черги вимог перед приладом. Побудувати GPSS-модель, яка складається:

- 1) з одного програмного сегменту;
- 2) з двох програмних сегментів.

Завдання 2. На вхід одноканальної обслуговуючої системи поступає потік вимог, час надходження яких рівномірно розподілений в інтервалі від A до B одиниць часу. З ймовірністю p_1 вимога має перший тип, з ймовірністю p_2 – другий тип. Вимоги другого типу при виборі з черги мають більший пріоритет, ніж вимоги першого типу. Час обслуговування вимоги приладом має експоненціальний розподіл з середнім значенням t_1 одиниць часу для вимоги першого типу, t_2 – для вимоги другого типу.

Мета. Промодельовати обслуговування K вимог. Оцінити довжину черги вимог перед приладом.

У табл. 1.5 приведені варіанти завдань і значення параметрів.

Таблиця 1.5

Варіант и	λ	A	B	p_1	p_2	t_1	t_2	K
1	0,05	20	40	0,4	0,6	12	16	100
2	0,03	30	70	0,2	0,8	28	26	200
3	0,00 5	200	300	0,3	0,7	100	190	300
4	0,00 6	180	260	0,65	0,35	70	200	400

Комп'ютерний практикум № 1.8. Моделювання функцій розподілів

Завдання 1. Задати дискретну GPSS-функцію, приведену в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Значення функції	2	3	4	8	10
Ймовірність	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3

Мета. Побудувати графік функції. Використати цю функцію у блоці GENERATE.

Завдання 2. Задати кусочно-неперервну GPSS-функцію, яка моделює випадкову величину, задану в табл. 1.7. У середині кожного інтервалу випадкова величина рівномірно приймає одне з цілих значень цього інтервалу. Аргументом функції є випадкове число, рівномірно розподілене в інтервалі 0–1.

Мета. Побудувати графік функції. Використати цю функцію у блоці ADVANCE.

Таблиця 1.7

Номер інтервалу	1	2	3
Ймовірність того, що випадкова величина набуде значень з інтервалу	0,4	0,4	0,2
Цілочислові значення інтервалу	2, 3, 4	5, ..., 12	13, ..., 40

Завдання 3. Задати пуассонівський потік вимог засобами GPSS:

- 1) з параметром 0,25 хв.⁻¹;
- 2) з середнім значенням часу надходження 5 с.

Комп'ютерний практикум № 1.9. Моделювання системи обслуговування

Завдання. На вхід одноканальної системи обслуговування поступає два потоки вимог. Перший з них – пуассонівський з інтенсивністю λ 1/хв. У другому потоці інтервали надходження розподілені рівномірно на відріжку $a - b$ хв. Інтенсивність обслуговування вимоги пристроєм залежить від довжини черги на обслуговування. Розглянути два можливих варіанти:

1) якщо довжина черги менше або дорівнює d , то час обслуговування має експоненціальний розподіл з середнім значенням t_1 хв.:

2) якщо довжина черги більше d , то час обслуговування має експоненціальний розподіл з середнім значенням t_2 хв.

Мета. Промодельовати роботу системи K годин.

Самостійно задати відповідну функціональну залежність двома способами: через дискретну та неперервну GPSS-функції з числом відрізків не менше трьох, якщо середній час обслуговування вимоги пристроєм залежить від:

- 1) часу функціонування системи;
- 2) числа нульових входів у чергу;
- 3) числа ненульових входів у чергу;
- 4) середньої довжини черги;
- 5) поточної довжини черги;
- 6) середнього часу перебування в черзі;
- 7) коефіцієнта використання пристрою;
- 8) числа входів у пристрій (скільки разів використовувався пристрій).

Примітка. Для задавання функції, яка визначає середній час обслуговування вимоги пристроєм в залежності від числа ненульових входів у чергу скористуйтеся змінною FVARIABLE або арифметичним виразом вбудованої мови PLUS для GPSS World.

У табл. 1.8 приведені варіанти завдань і значення параметрів.

Таблиця 1.8

Варіанти	λ	a	b	d	t_1	t_2	K
1	0,2	16	40	3	2	4	100
2	0,25	6	20	4	1	2.5	250
3	0,1	3	9	6	2	4	350
4	0,15	2	7	5	1	4	400

Комп'ютерний практикум № 1.10. Моделювання системи автоматизації проектування

Завдання. Система автоматизації проектування складається з ЕОМ і трьох підключених до неї терміналів. За кожним терміналом працює один проектувальник, який формує завдання на розрахунок в інтерактивному режимі. Набір рядка завдання займає 10 ± 5 с. Аналіз рядка вимагає 3 с роботи ЕОМ і 5 с роботи терміналу. У кожен момент часу може аналізуватися тільки один рядок. Після набору десяти рядків вважається, що завдання сформоване та поступає на обчислення, яке займає 10 ± 3 с роботи ЕОМ (обчислення завдань має більший пріоритет, ніж аналіз рядків). Виведення результату

рішення вимагає 8 с роботи терміналу, а аналіз результату проектувальником – 30 ± 10 с, після чого цикл повторюється.

Мета. Промоделювати роботу системи упродовж 6 год.

Оцінити ймовірність простою проектувальника через зайнятість ЕОМ, коефіцієнт завантаження ЕОМ і параметри черги до ЕОМ.

Комп'ютерний практикум № 1.11. Моделювання роботи транспортного цеху

Завдання. Транспортний цех обслуговує три філії *A*, *B* і *C*. Вантажівки перевозять вироби з *A* у *B* і з *B* у *C*, повертаючись потім у філію *A* без вантажу. Завантаження виробів у філії *A* займає 20 хв., переїзд з *A* у *B* триває 30 хв., розвантаження та завантаження в філії *B* – по 20 хв., переїзд у філію *C* – 30 хв., розвантаження в *C* – 20 хв. і переїзд в філію *A* – 20 хв. Якщо на момент завантаження у філіях *A* і *B* вироби відсутні, вантажівки їдуть далі по маршруту порожніми. Вироби в філії *A* випускаються партіями по 1000 шт. через 20 ± 3 хв., у філії *B* – такими ж партіями через 20 ± 5 хв. На лінії експлуатується вісім вантажівок, кожна з яких може перевозити по 1000 виробів.

Початкові умови. Чотири вантажівки знаходяться в філії *A*, чотири – у *B*.

Мета. Промоделювати роботу транспортного цеху упродовж 1000 годин.

Визначити частість порожніх перегонів вантажівок між філіями *A* і *B*, *B* і *C*.

Комп'ютерний практикум № 1.12. Моделювання системи передачі розмови

Завдання. У системі передачі цифрової інформації розмови передаються у цифровому вигляді. Мовні пакети поступають через 6 ± 3 мс і передаються через два послідовно з'єднаних канали. У кожний момент часу кожний з каналів може передавати тільки один пакет. У разі зайнятості каналу пакети зберігаються у накопичувачах перед кожним каналом. Час передачі пакета по кожному з каналів має експоненціальний розподіл із середнім значенням 5 мс. Пакети, час передачі яких понад 10 мс (не враховуючи час чекання), на виході системи знищуються, оскільки довгий час передачі значно знижує якість розмови при передачі. Знищення понад 30 % пакетів не допустиме. При досягненні такого рівня система за рахунок ресурсів прискорює передачу в каналах до середнього значення часу 4 мс. При зниженні рівня до прийняттого відбувається відключення ресурсів.

Мета. Про моделюйте 10 с роботи системи.

Визначити частість знищення пакетів і частість підключення ресурсів.

Розділ 2. Організація імітаційних експериментів для прийняття управлінських рішень

Зміст звіту

1. Мета комп'ютерного практикуму.
2. Постановка завдання.
3. Структурна схема моделі.
4. Розрахунки варіантів числа збирачів.
5. План імітаційних експериментів.
6. Лістинг програми з результатами прогонів.
7. Аналіз результатів.
8. Висновки.

Комп'ютерний практикум № 2.1. Модель технологічного процесу складання та випалення в печі

Мета. Використання імітаційної моделі технологічного процесу складання та випалення деталей для обґрунтування рішень з максимізації доходу виробничої ділянки.

Завдання. Виробництво деталей певного виду включає тривалий процес складання, що закінчується коротким періодом випалення в печі. Оскільки оренда печі обходиться дуже дорого, декілька збиральників використовують одну піч, в якій одночасно можна обпалювати тільки одну деталь. Збиральник не може почати нове складання, поки не витягне з печі попередню деталь.

Таким чином, збиральник працює в наступному режимі:

- 1) збирає наступну деталь;
- 2) чекає можливості використання печі за принципом "першим прийшов – першим обслуговується";
- 3) використовує піч;
- 4) повертається до п. 1.

Час, необхідний на різні операції, вартість операцій та виробів представлені в табл. 2.1.

Необхідно побудувати GPSS модель описаного процесу. Маючи цю модель, необхідно визначити оптимальну кількість збиральників, які використовують одну піч. Під оптимальним розуміють таке число, яке дає максимальний дохід. Визначення потрібно зробити при моделюванні впродовж 40 год. модельного часу.

Передбачається, що впродовж робочого дня немає перерв, а робочі дні йдуть підряд без вихідних днів.

Опис моделі. У даному процесі є дві основні особливості. По-перше, є лише одна піч. По-друге, існує деяке фіксоване число збиральників, працюючих в системі. Для моделювання печі використовується пристрій, а збиральники ототожнюються з транзактами. Таким чином, можна вважати, що збиральники «циркулюють» у системі. Аналогічно тому, як вони періодично здійснюють складання та випалення, транзакти циркулюють в GPSS-моделі.

Для обмеження числа транзактів – збиральників, які циркулюють у моделі, використовується операнд D блоку GENERATE.

Для того, щоб обчислити дохід, що відповідає заданому числу збиральників, необхідно знати, скільки готових деталей вони зробили впродовж модельованого періоду. Кількість випалень в печі в точності співпадає з цим значенням.

Варіанти завдань наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

№ варіанту	Час виконання операції (хв.)		Зарплата збиральників за годину (грн.)	Вартість печі за восьми-го динний робочий день (грн.)	Ціна матеріалу за одну деталь (грн.)	Вартість готового о виробу (грн.)
	Збирання $T_c \pm t_c$	Обпалення $T_o \pm t_o$				
1	40 ± 5	6 ± 2	2.75	45	2.50	13
2	45 ± 2	7 ± 1	2.25	50	3.80	10
3	56 ± 24	8 ± 2	3.00	65	2.90	15
4	45 ± 37	9 ± 3	3.25	55	3.50	17
5	55 ± 2	5 ± 2	2.50	45	3.75	11
6	50 ± 7	6 ± 3	3.15	40	3.25	11
7	48 ± 2	9 ± 4	2.75	50	3.10	12
8	44 ± 4	8 ± 3	3.00	48	3.50	15
9	57 ± 3	7 ± 2	3.25	52	3.75	10
10	60 ± 2	6 ± 2	2.80	45	3.50	14
11	55 ± 35	8 ± 3	2.75	47	3.10	12
12	50 ± 5	5 ± 2	2.95	52	3.75	11
13	44 ± 26	6 ± 1	2.45	55	3.30	14
14	48 ± 15	5 ± 1	2.75	58	3.15	13
15	52 ± 2	6 ± 2	2.55	52	2.95	12
16	38 ± 5	9 ± 3	2.15	47	3,15	12,5
17	55 ± 12	10 ± 2	2,33	44	3,45	14
18	48 ± 10	9 ± 2	2,45	45	3,25	11,75
19	44 ± 8	8 ± 1	2,18	46	3,22	12,15
20	53 ± 13	7 ± 2	2,16	48	2,85	13
21	49 ± 8	9 ± 2	2,22	43	2,75	10
22	47 ± 18	7 ± 2	2,33	42	3,00	12,85
23	54 ± 11	8 ± 1	2,16	45	3,25	13,15
24	51 ± 21	9 ± 2	2,25	47	3,15	12,85
25	56 ± 22	9 ± 3	2,18	46	3,25	13,55
26	46 ± 9	7 ± 2	2,24	45	2,90	12,15
27	50 ± 10	6 ± 3	3,14	50	3,00	13,5
28	52 ± 5	8 ± 4	2,16	44	2,45	10
29	48 ± 2	5 ± 3	3,15	53	2,75	17
30	47 ± 15	7 ± 2	2,16	48	3,25	12,85

Використання моделі. Результати моделювання необхідно досліджувати при декількох різних співвідношеннях "збиральники – піч". Очевидно, що необхідне

мінімальне число збиральників у системі складає $S = \lceil Tc/To \rceil$, де $\lceil a \rceil$ означає найменше ціле, що задовольняє нерівності $\lceil a \rceil \geq a$. Таким чином, необхідно виконати прогони моделі, послідовно задаючи операнду D блоку GENERATE першого сегменту моделі значення $S, S+1, S+2, \dots$. Після кожного прогону робиться розрахунок доходу.

$$\text{Дохід} = \left[\begin{array}{c} \text{вартість} \\ \text{готових} \\ \text{виробів} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{вартість} \\ \text{матеріалів} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{вартість} \\ \text{використання} \\ \text{печі} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{заробітна} \\ \text{плата} \end{array} \right]$$

збиральників

Необхідно знайти максимальне значення доходу шляхом запуску моделі при різних кількості збиральників.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методичними вказівками з виконання комп'ютерного практикуму.
2. Нарисувати структурну схему моделі.
3. Зробити необхідні розрахунки для визначення числа збиральників.
4. Скопіювати програму, що відповідає програмному прототипу моделі цього комп'ютерного практикуму.
5. Внести необхідні зміни в модель згідно з варіантом. Записати в програмі формулу для розрахунку доходу.
6. Здійснити пробний прогін моделі та усунути помилки, якщо вони є. При пробному прогоні бажано зменшити час моделювання з метою скорочення часу розрахунку.
7. Скласти план експериментів з моделлю за допомогою файлу з розширенням txt, що включає зміну параметрів моделі та збір результатів моделювання, які потрібні для розрахунків доходу. Значення доходу записати в комірки матриці збереження з назвою RES.
8. Провести не менше п'яти повних прогонів моделі для числа збиральників, що задається, відповідно до вибраного варіанту та записати результати в матрицю RES для усіх значень збиральників. Рівень обробки визначається числом збиральників. Після кожного прогону моделі виконати команду CLEAR для скидання статистики та видалення транзактів з моделі. При задаванні нового числа збиральників встановити датчики випадкових чисел на такі ж самі значення множників за допомога команди RMULT.
9. Задати назву файлу експериментів з розширенням txt і зберегти його.
10. Відтранслювати модель. У меню Command/Custom ... за допомогою команди Include підключити файл з розширенням txt і виконати експерименти.
11. За допомогою команди SHOW визвати процедуру ANOVA(RES,2,1) Визначити значущість результатів (доходу) від заданого числа збиральників. Знайти оптимальну їх кількість.
12. Оформити звіт.

Контрольні запитання

1. У які моменти модельного часу увійдуть транзакти в модель через блок GENERATE першого сегменту?
2. Як змінити модель так, щоб вона задовольняла наступним початковим умовам (для випадку, коли кількість збиральників більша, ніж три):
 - а) два збиральники починають процес складання, один починає використовувати піч, інші чекають можливості зайняти піч;
 - б) один збиральник починає складання, другому залишилося 5 хв. до завершення складання, третій через 3 хв. завершує випалення, інші чекають можливості зайняти піч.
3. Які зміни необхідно внести у модель, якщо знадобиться статистична інформація про очікування збиральниками зайняття печі?
4. Як зміниться модель, якщо в процесі випалення будуть використовуватися дві печі?
5. Як задати значення використовуваних в моделі випадкових величин шляхом визначення неперервних функцій.
6. Як зміниться прибуток при зміні кількості збирачів і чому це так?
7. Які зміни необхідно внести у модель, якби після операції випалення була передбачена операція шліфовки з трьома паралельно працюючими шліфувальними верстатами та тривалістю шліфовки 15 ± 8 хв.?
8. Як здійснюватиметься складання, якщо блок ADVANCE для складання охопити блоками SEIZE і RELEASE?
9. Від чого залежить число прогонів моделі для заданого числа збиральників?

Текст програми

Модель

SBOR EQU 4

INITIAL X\$CASH, 0	; дохід
INITIAL X\$CENA, 12.5	; вартість готового виробу
INITIAL X\$ZAR, 2.15	; зарплата за годину
INITIAL X\$MAT, 3.15	; ціна матеріалу на одну деталь
INITIAL X\$PECH, 47	; вартість печі за 8-годинний робочий день
BACK1 GENERATE „SBOR	; визначення числа збиральників
ADVANCE 38,5	; складання наступного виробу
SEIZE PICH	; зайняття печі
ADVANCE 9,3	; використання печі
KOL RELEASE PICH	; звільнення печі
TRANSFER ,BACK1	; перехід до наступного складання
GENERATE 2400	; таймер встановлений на 5 днів (40 годин)
SAVEVALUE CASH,(N\$KOL#(X\$CENA-X\$MAT)-X\$PECH#5-X\$ZAR#40#SBOR)	
TERMINATE 1	; завершення прогону

Експерименти (файл з розширенням txt) для п'яти збиральників і п'яти прогонів моделі.

RES MATRIX,5,5

```
SBOR EQU 4
RMULT 401
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,1,1,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 411
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,1,2,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 421
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,1,3,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 431
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,1,4,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 441
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,1,5,X$CASH
CLEAR OFF
```

```
SBOR EQU 5
RMULT 401
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,2,1,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 411
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,2,2,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 421
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,2,3,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 431
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,2,4,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 441
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,2,5,X$CASH
CLEAR OFF
```

```
SBOR EQU 6
RMULT 401
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,3,1,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 411
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,3,2,X$CASH
CLEAR OFF
```

```

RMULT 421
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,3,3,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 431
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,3,4,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 441
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,3,5,X$CASH
CLEAR OFF

```

```

SBOR EQU 7
RMULT 401
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,4,1,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 411
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,4,2,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 421
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,4,3,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 431
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,4,4,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 441
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,4,5,X$CASH
CLEAR OFF

```

```

SBOR EQU 8
RMULT 401
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,5,1,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 411
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,5,2,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 421
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,5,3,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 431
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,5,4,X$CASH
CLEAR OFF
RMULT 441
START 1,NP
MSAVEVALUE RES,5,5,X$CASH
CLEAR OFF

```

Комп'ютерний практикум № 2.2. Дослідження роботи продовольчого магазину на імітаційній моделі

Мета. Дослідження можливостей і придбання навиків використання імітаційних моделей для отримання ймовірно-часових характеристик процесу функціонування досліджуваного об'єкту і знаходження оптимальних стратегій управління ним.

Завдання. Невеликий продовольчий магазин складається з трьох прилавків і декількох кас на виході з магазину. Покупці приходять у магазин (вхідний потік має пуассонівський характер), причому середнє значення інтервалу часу приходу складає $T_{\text{пр}}$ (числові дані для різних варіантів представлені у табл. 2.2). Якщо, увійшовши до магазину, покупець бачить, що черга на вихід з магазину більше, ніж L чоловік, він розгортається та йде з магазину. Інакше покупець бере кошик і може обійти один або декілька прилавків, відбираючи продукти. Ймовірність обходу конкретного прилавка задана в табл. 2.3. Час, потрібний для обходу прилавка та число покупок, вибраних біля прилавка, розподілені рівномірно. Детальна інформація по кожному з прилавків приведена в табл. 2.3.

Після того, як товар відібраний, покупець стає в кінець загальної черги до кас. Вже стоячи в черзі, покупець може захотіти зробити ще додатково $N \pm 1$ покупку. Час обслуговування покупця касиром пропорційний числу зроблених покупок. На одну покупку потрібно T_c .

Підраховано, що кожен "втрачений" покупець обходиться магазину в C одиниць вартості. На оплату одного касира витрачається $Z_{\text{пл}}$ одиниці вартості в день. Час роботи магазину складає 10 годин.

Використовуючи модель, що описує процес покупок у продуктовому магазині, визначити таку кількість касирів, при якій досягається мінімальна величина витрат. Витрати включають заробітну плату касирів і втрати від зменшення кількості покупців, що вирішили зробити покупки в іншому магазині.

Вважаючи, що число кошиків необмежено, визначити яку максимальну кількість кошиків потрібно мати у магазині.

Варіанти завдань наведені в табл. 2.2 і 2.3.

Таблиця 2.2 - Числові значення характеристик системи

Варіанти	$T_{\text{рх}}, \text{с}$	L	N	T	C , од. варт.	$Z_{\text{пл}}$, од. варт.
1	16	5	2	3	0,12	30
2	12	10	3	2	0,2	40
3	20	8	1	4	0,14	38
4	22	10	2	3,5	0,25	32
5	18	7	1	2,5	0,15	35
6	25	9	4	3	0,09	45
7	24	10	2	4	0,08	50
8	26	1	1	3	0,11	37

		2				
9	40	7	2	3, 5	0,10	42
10	34	1 0	3	4	0,13	55
11	34	9	2	3	0,09	47
12	25	1 1	1	3, 3	0,12	35
13	14	7	3	2, 5	0,09	37
14	22	1 0	2	4	0,15	32
15	24	8	1	3, 5	0,25	40
16	40	1 2	2	2	0,12	30
17	25	5	4	3	0,2	50
18	18	1 0	1	2	0,14	45
19	26	8	3	4	0,10	37
20	16	1 1	2	3, 3	0,11	47
21	12	9	4	3	0,14	55
22	34	7	3	4	0,25	38
23	25	5	2	3	0,13	42
24	34	6	1	2, 5	0,11	35
25	10	1 0	2	2	0,09	40
26	20	9	3	3, 5	0,15	50
27	40	1 1	1	4	0,2	37
28	12	8	4	3, 3	0,08	42
29	16	1 2	3	3	0,14	55
30	25	1 0	2	2	0,25	45

Таблиця 2.3 – Характеристика покупок у прилавків

Варіанти	Номер прилавка	Імовірність придбання покупок	Час обходу прилавка, с	Число покупок, зроблених у прилавка
1	1	0,75	100 ± 30	2 ± 1
	2	0,50	150 ± 50	3 ± 2

	3	0,85	190 ± 60	6 ± 1
2	1	0,35	120 ± 40	5
	2	0,75	100 ± 20	4 ± 2
	3	0,90	80 ± 30	3 ± 1
3	1	0,70	150 ± 30	6 ± 2
	2	0,75	180 ± 60	8 ± 3
	3	0,80	130 ± 10	4 ± 1
4	1	0,95	120 ± 45	7 ± 2
	2	0,80	130 ± 60	4 ± 1
	3	0,70	110 ± 40	5 ± 1
5	1	0,68	250 ± 50	4
	2	0,75	350 ± 80	6 ± 2
	3	0,65	200 ± 40	5 ± 3
6	1	0,85	350 ± 80	5 ± 3
	2	0,75	120 ± 30	4 ± 1
	3	0,85	250 ± 60	7
7	1	0,90	190 ± 40	4 ± 1
	2	0,80	150 ± 50	5 ± 2
	3	0,95	180 ± 20	6 ± 3
8	1	0,88	120 ± 30	3 ± 2
	2	0,75	110 ± 25	4 ± 1
	3	0,65	150 ± 45	2
9	1	0,77	170 ± 55	2 ± 1
	2	0,66	90 ± 25	3
	3	0,88	145 ± 30	5 ± 3
10	1	0,55	90 ± 25	2 ± 1
	2	0,68	110 ± 33	4 ± 2
	3	0,72	105 ± 28	3 ± 1
11	1	0,89	80 ± 25	4 ± 1
	2	0,96	95 ± 34	3
	3	0,82	75 ± 15	3 ± 2
12	1	0,88	200 ± 70	5 ± 2
	2	0,44	100 ± 45	2
	3	0,69	145 ± 60	3 ± 1
13	1	0,85	150 ± 70	6 ± 2
	2	0,75	90 ± 35	4
	3	0,65	11 ± 30	4 ± 1
14	1	0,80	145 ± 55	3 ± 2
	2	0,45	80 ± 25	2
	3	0,50	145 ± 90	4 ± 2
15	1	0,88	120 ± 30	7 ± 2
	2	0,75	180 ± 50	2 ± 3
	3	0,65	155 ± 45	5 ± 1
16	1	0,77	170 ± 50	1 ± 2
	2	0,44	110 ± 15	7
	3	0,66	100 ± 60	6 ± 1
17	1	0,89	140 ± 50	5 ± 3

	2	0,44	120 ± 30	4 ± 2
	3	0,69	110 ± 65	3 ± 1
18	1	0,95	200 ± 50	2 ± 1
	2	0,80	180 ± 25	3
	3	0,70	130 ± 35	7 ± 3
19	1	0,85	350 ± 20	8 ± 2
	2	0,66	150 ± 30	6 ± 1
	3	0,72	145 ± 70	5
20	1	0,70	110 ± 10	4
	2	0,50	250 ± 45	3 ± 2
	3	0,35	200 ± 33	6 ± 1
21	1	0,90	190 ± 50	8 ± 2
	2	0,95	145 ± 25	7
	3	0,69	350 ± 70	2 ± 1
22	1	0,68	150 ± 30	3 ± 2
	2	0,85	100 ± 55	3
	3	0,65	225 ± 80	4 ± 1
23	1	0,80	120 ± 30	6 ± 2
	2	0,44	80 ± 45	4 ± 1
	3	0,90	75 ± 10	3
24	1	0,88	180 ± 40	4 ± 2
	2	0,77	110 ± 15	5
	3	0,68	145 ± 50	5 ± 1
25	1	0,85	200 ± 70	6 ± 3
	2	0,45	150 ± 25	8 ± 3
	3	0,65	190 ± 60	2
26	1	0,95	200 ± 40	3 ± 2
	2	0,35	180 ± 20	4
	3	0,75	250 ± 60	6 ± 1
27	1	0,55	190 ± 20	5 ± 3
	2	0,72	100 ± 50	2
	3	0,96	80 ± 10	7 ± 1
28	1	0,75	130 ± 10	5
	2	0,82	200 ± 45	3 ± 4
	3	0,69	350 ± 80	7 ± 1
29	1	0,88	100 ± 10	5 ± 3
	2	0,90	120 ± 45	3
	3	0,35	190 ± 40	2 ± 1
30	1	0,95	90 ± 20	8 ± 2
	2	0,35	120 ± 30	7
	3	0,50	130 ± 10	6 ± 1

Опис моделі. При вході транзакту - покупця в модель аналізується стан черги перед касами. Якщо довжина черги більше встановленого граничного значення, транзакт - покупець покидає систему.

Інакше він відразу ж бере кошик CORZ, який моделюється як багатоканальний пристрій (БКП). Місткість цього БКП не обмежена й за умовчанням дорівнює 3000. За результатами моделювання потрібно буде визначити потребу в кошиках, користуючись графою "MAXIMUM CONTENTS" (МАКСИМАЛЬНИЙ ВМІСТ) БКП.

Підхід до кожного прилавка моделюється з використанням блоку TRANSFER в режимі статистичної передачі. Якщо покупець вирішує не робити покупок у одного з прилавків, то транзакт, який його моделює, переходить до нового блоку TRANSFER, що знаходиться перед черговим прилавком. Якщо ж покупець залишається для виконання покупок, транзакт послідовно просувається через блок TRANSFER до блоку ADVANCE, який моделює затримку біля прилавка для виконання покупок. Для кожного з прилавків розподіл числа покупок описується неперервною функцією, що складається з двох значень. Просуваючись через блок ADVANCE прилавка, покупець (точніше транзакт) використовує цю функцію для виконання блоку ASSIGN в режимі додавання. Для цього розігрується число покупок у прилавка, яке додається до значення параметра реєстрації числа покупок, починаючи від входу покупця. Потім транзакт - покупець послідовно проходить через блок TRANSFER, що визначає новий прилавок.

Після обходу усіх прилавків покупець приєднується до загальної черги перед касами. До того, як підійти до каси, транзакт - покупець проходить ще через один блок ASSIGN, що визначає можливість зробити ще декілька додаткових покупок біля кас. Число таких додаткових покупок додається до їх загального числа, накопиченого раніше в кошику. Час обслуговування касиром визначається за допомогою функції, аргументом якої є параметр, що містить значення загального числа зроблених покупок. Далі кошик повертається за допомогою виходу з БКП CORZ, і транзакт - покупець покидає магазин.

У табл. 2.4 наведені визначення прийняті в моделі.

Таблиця 2.4 – Таблиця визначень

<i>Елементи GPSS</i>	Інтерпретація
Транзакти	
1-й сегмент моделі	Почувець. P1– число куплених товарів
2-й сегмент моделі	Таймер
БКП	
CORZ	Моделує використані кошики
GIRL	Касири
Функції	
AYL1, AYL2, AYL3	Функції, що описують розподіл числа покупок у прилавка 1, 2 і 3 відповідно
CHECK	Функція, що описують залежність часу обслуговування у касирів від числа зроблених покупок
DOP	Функція розподілу числа додаткових покупок
XPDIS	Функція експоненціального розподілу
Черги	
OGIRL	Черга в каси

Прийнята одиниця модельного часу – 1 с.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методичними вказівками з виконання комп'ютерного практикуму.

2. Нарисувати структурну схему моделі.
3. Зробити необхідні розрахунки для визначення числа касирів, використовуючи метод середніх значень з врахуванням додаткових покупок.
4. Скопіювати програму, що відповідає програмному прототипу моделі цього комп'ютерного практикуму.
5. Внести необхідні зміни в модель згідно з варіантом. Записати в програмі формулу для розрахунку доходу.
6. Здійснити пробний прогін моделі та усунути помилки, якщо вони є. При пробному прогоні бажано зменшити час моделювання з метою скорочення часу розрахунку.
7. Скласти план експериментів з моделлю за допомогою файлу з розширенням txt, що включає зміну параметрів моделі та збір результатів моделювання, які потрібні для розрахунків доходу. Значення доходу записати в комірки матриці збереження з назвою RES.
8. Провести не менше п'яти повних прогонів моделі для числа касирів, що задається відповідно до вибраного варіанту, та записати результати в матрицю RES для усіх значень чисел касирів.
9. Задати назву файлу експериментів з розширенням txt і зберегти його.
10. Відтранслювати модель. У меню Command/Custom ... за допомогою команди Include підключити файл з розширенням txt і виконати експерименти.
11. За допомогою команди SHOW визвати процедуру ANOVA. Визначити значущість результатів (доходу) від заданого числа касирів. Знайти оптимальну їх кількість.
12. Оформити звіт.

Контрольні запитання

1. Поясніть сенс використання БКП з максимальною місткістю 3000.
2. Яким чином в моделі враховується стан черги перед касами?
3. Яким чином в моделі накопичується кількість покупок, зроблених кожним покупцем?
4. Пояснити роботу блоку ASSIGN у моделі.
5. Яке призначення блоку ADVANCE 0? Яким блоком GPSS його можна замінити?
6. Покажіть, які зміни необхідно внести в модель, якщо в магазині є всього 75 кошиків.
7. Перевірте для свого варіанту даних можливість не зробити ні однієї покупки при заході покупця в магазин, проході через усі прилавки та виходу через касу.

Текст програми

```

XPDIS  FUNCTION RN1,C24                ;експоненціальна функція розподілу
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

      INITIAL      X$MAXOG,9            ;обмеження на макс. довжину черги
      INITIAL      X$VAR,0

DOP  FUNCTION  RN1,C2                     ;число додаткових покупок (N)
0,3/1,5

```

```

AYL1 FUNCTION RN1,C2 ;число покупок у 1-го прилавка
0,2/1,8
AYL2 FUNCTION RN1,C2 ;число покупок у 2-го прилавка
0,3/1,5
AYL3 FUNCTION RN1,C2 ;число покупок у 3-го прилавка
0,7/1,7
CHECK FUNCTION P1,C2 ;час обслуговування касиром покупця
1,3/100,300
GIRL STORAGE 2 ;кількість касирів
CORZ STORAGE 3000 ;кількість кошиків
GENERATE 125,FN$XPDIS
TEST LE Q$OGIRL,X$MAXOG,OUTS ;якщо черга завелика, відмова в
* обслуговуванні
ENTER CORZ ;взяти кошик
ASSIGN 1,0 ;кількість покупок у P1
*****
* покупки у прилавків 1, 2, 3

PP1 TRANSFER .15,PP1,PRR2 ;зробити покупку у прилавка 1?
ADVANCE 350,80 ;затримка у прилавка 1
ASSIGN 1+,FN$AYL1 ;взяти покупки з прилавка 1

PRR2 TRANSFER .25,PP2,PRR3 ;зробити покупку у прилавка 2?
PP2 ADVANCE 120,30 ;затримка у прилавка 2
ASSIGN 1+,FN$AYL2 ;взяти покупки з прилавка 2
PRR3 TRANSFER .15,PP3,OUT ;зробити покупку у прилавка 3?
PP3 ADVANCE 250,60 ;затримка у прилавка 3
ASSIGN 1+,FN$AYL3 ;взяти покупки з прилавка 3
*****
; оплата товару на касі
OUT QUEUE OGIRL ;зайняти чергу в касу
ASSIGN 1+,FN$DOP ;додаткова покупка
ENTER GIRL ;зайняти касира
DEPART OGIRL ;покинути чергу в касу
ADVANCE FN$CHECK ;оформлення касиром покупки
LEAVE GIRL ;звільнити касира
LEAVE CORZ ;повернути кошик
TRANSFER ,OUTSH ;йти до виходу
OUTS ADVANCE 0 ;підрахунок покупців без покупок
OUTSH TERMINATE
GENERATE 36000 ;модельовання 10 годин роботи (10 год. = 36000 с)
SAVEVALUE VAR,(N$OUTS#0.09+(R$GIRL+S$GIRL)#45)
TERMINATE 1

```

Комп'ютерний практикум № 2.3. Управління процесом ремонту та заміни обладнання на виробництві

Мета. Дослідження можливостей і придбання навиків використання імітаційних моделей для знаходження оптимальних рішень щодо найму робочої сили та оренди верстатів з метою мінімізації вартості виробництва.

Завдання. На трикотажній фабриці L власних верстатів працюють по H годин в день і по D днів в тиждень. Будь-який з цих верстатів може в будь-який момент часу вийти з ладу. В цьому випадку його замінюють резервним верстатом, причому або відразу, або у міру його появи після ремонту. Тим часом зламаний верстат відправляють у ремонтну майстерню, де його лагодять і повертають в цех, але вже в як резервний.

У існуючому замкнутому циклі руху верстатів можна виділити чотири фази (рис. 2.1).

На рис. 2.1 квадрати представляють верстати, що знаходяться в роботі або резерві. Заштриховані квадрати позначають верстати, що ремонтуються або очікують ремонту.

На фабриці є декілька ремонтників. Всього в системі знаходиться $M > L$ машин (з них L власних, інші орендуються для резерву).

Керівник хоче знати, скільки робітників необхідно найняти для роботи в майстерні та скільки верстатів орендувати, тобто скільки верстатів треба мати в резерві, щоб можна було підміняти ними власні в разі поломок. Мета моделювання полягає в мінімізації вартості виробництва.

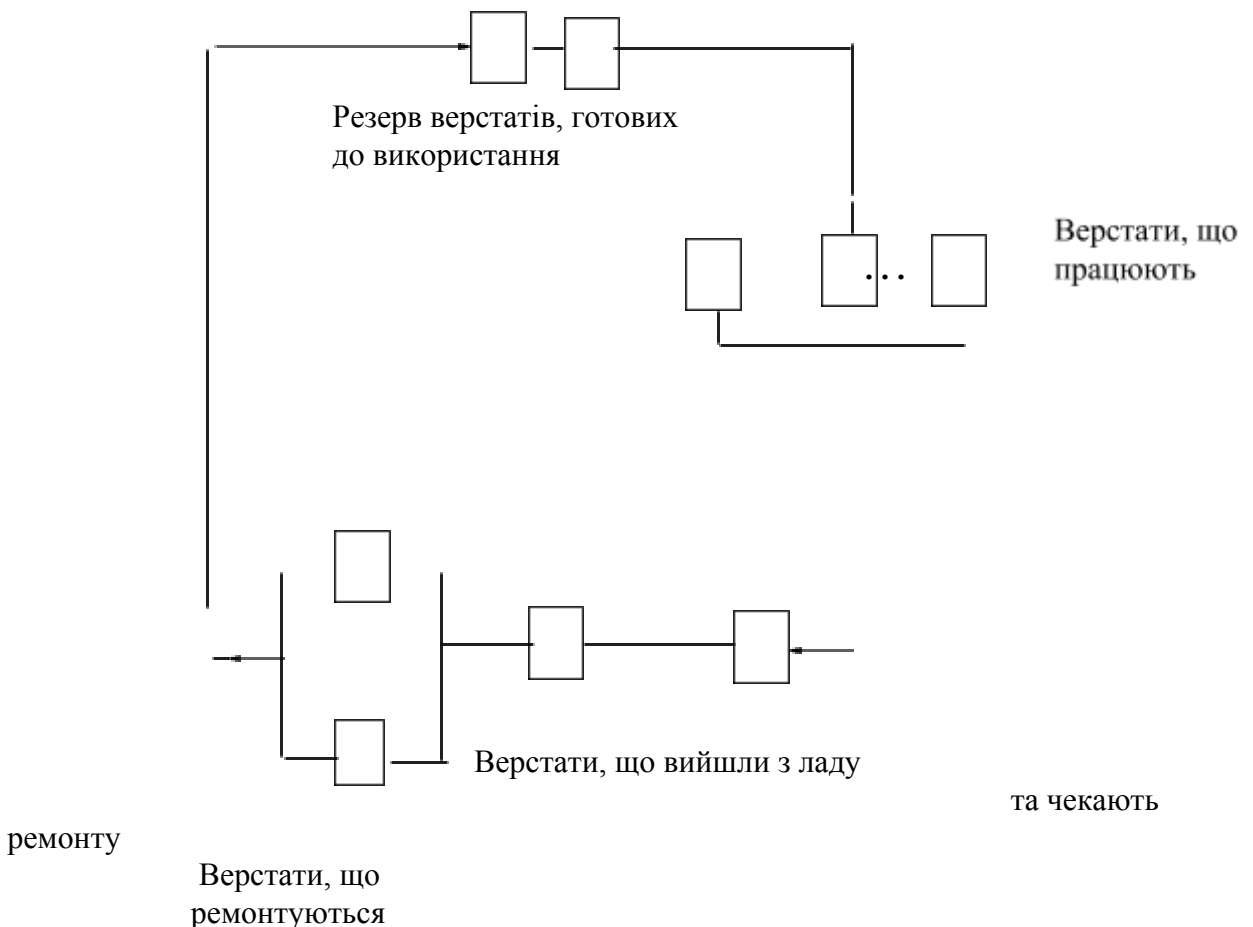


Рис. 2.1. Структурна схема моделі

Оплата робочих в майстерні W гривень в годину. За орендовані верстати потрібно платити по S гривень в день. Почасовий збиток при використанні менш ніж L верстатів у виробництві оцінюється приблизно в Q гривень на машину. Збиток виникає через зниження виробництва.

Досвід експлуатації показує, що на ремонт зламаного верстату йде приблизно $A \pm B$ година, розподіл рівномірний. Коли верстати використовують у виробництві, час напрацювання на відмову розподілено рівномірно й складає $U \pm Y$ годин. Час, для перевезення верстатів з цеху в майстерню та назад малий та його не враховують. Між робітниками в майстерні не робляться ніяких відмінностей, немає відмінностей також і між верстатами.

Плата за орендовані машини не залежить від того, використовують їх або вони простоюють.

У табл. 2.5 наведені варіанти завдань.

Таблиця 2.5 – Числові значення характеристик системи

Варі-анти	L	H	D	W	S	Q	$A \pm B$	$U \pm Y$
1	40	8	5	4.75	20	140	8 ± 3	150 ± 26
2	45	10	6	5.60	22	150	6 ± 2	138 ± 38
3	48	9	5	3.85	30	135	9 ± 3	183 ± 47
4	50	10	6	4.15	31	125	10 ± 2	140 ± 40
5	30	8	7	5.25	40	120	9 ± 4	112 ± 38
6	35	9	5	6.50	33	138	10 ± 3	108 ± 41
7	45	8	5	5.75	28	150	12 ± 3	95 ± 26
8	55	8	6	4.75	40	160	11 ± 4	130 ± 33
9	60	8	5	3.75	39	175	7 ± 3	155 ± 45
10	40	8	6	3.25	37	155	10 ± 5	170 ± 50
11	47	9	5	4.00	42	148	11 ± 5	133 ± 41
12	50	10	5	3.85	33	124	10 ± 3	124 ± 32
13	54	9	6	5.15	32	133	11 ± 6	156 ± 40
14	65	8	5	4.15	39	148	12 ± 4	190 ± 53
15	46	9	6	4.75	28	150	9 ± 3	156 ± 40
16	55	8	7	5.75	33	120	10 ± 3	183 ± 46
17	30	10	5	5.35	20	135	11 ± 4	112 ± 38
18	65	9	6	4.00	40	140	11 ± 5	133 ± 41
19	50	9	5	5.15	39	150	12 ± 4	156 ± 45
20	45	10	5	4.15	32	125	6 ± 2	108 ± 41
21	35	8	6	3.75	22	138	9 ± 3	150 ± 26
22	56	8	7	6.50	31	160	11 ± 3	155 ± 45
23	48	9	6	3.85	37	155	7 ± 3	105 ± 26
24	54	8	5	4.75	40	124	11 ± 6	135 ± 43
25	33	10	6	5.25	39	148	9 ± 4	185 ± 45
26	37	8	7	5.75	28	175	6 ± 2	166 ± 56
27	46	9	6	3.25	40	155	12 ± 3	170 ± 50
28	55	8	5	4.75	37	125	11 ± 5	156 ± 40

29	65	9	5	4.00	39	124	12±5	150±50
30	60	10	7	5.75	32	150	10±3	175±45

Промодельовати роботу фабрики впродовж 52 тижнів.

Опис моделі. Система, зображена на рис.2.1 має три основні характеристики (обмеження):

1. Число робітників в майстерні.
2. Максимальне число верстатів, що одночасно знаходяться у виробництві.
3. Загальне число верстатів, які циркулюють у системі.

Для моделювання двох перших обмежень використовуються багатоканальні пристрої (БКП). Третє обмеження моделюється транзактами, внаслідок чого швацькі верстати є динамічними об'єктами, переміщуваними з одного місця в інше в процесі їх циркуляції в системі.

Розглянемо стани певного верстату в процесі повного оберту в циклі системи. Припустимо, що верстат у даний момент знаходиться в резерві. Тоді БКП NOWON, використовуване для моделювання верстатів, що знаходяться в роботі, заповнений, і резервні верстати не можуть увійти в БКП. Верстат, що знаходиться в стані резерву, може отримати можливість почати до роботи. Відповідно, транзакт, що моделює його, може здійснити це після багатократних спроб увійти в БКП NOWON, коли одна з них стане успішною. Проходячи через блок ENTER у блок ADVANCE, транзакт моделює час роботи цього верстату, поки останній не зламається.

Після того, як машина вийшла з ладу, транзакт покидає МКУ NOWON і тим самим відкриває можливість іншому резервному верстату почати роботу. Тепер транзакт чекає (якщо в цьому є необхідність) входу в БКП MEN (робітники майстерні). Увійшовши в цей БКП, транзакт грає роль ремонтної машини. Коли він йде з цього БКП, тим самим звільняючи ремонтника, останній може взятися за ремонт наступного верстату. Тим часом транзакт знову повертається в ту точку моделі, в якій він знову починає робити спроби увійти в БКП NOWON.

Загальне число машин, що циркулюють у системі, дорівнює M (L власних плюс деяке число орендованих для резерву). Це число задається до початку прогону моделі, використовуючи обмежувач блоку GENERATE.

У табл. 2.6 наведені визначення прийняті в моделі.

Таблиця 2.6 – Таблиця визначень

Елементи GPSS	Інтерпретація
Транзакти	
1-й сегмент моделі	Швацькі верстати
2-й сегмент моделі	Таймер
БКП	
MEN	Робочі ремонтної майстерні
NOWON	Накопичувач ємністю L , тобто максимальне число швацьких верстатів

Використання моделі. Модель використовується для оцінки поєднання "Наймати-орендувати", яке мінімізувало б середні денні витрати на виробництво.

Для фіксованого числа найнятих робітників майстерні середні денні витрати мінятимуться залежно від числа орендованих машин. Ця залежність має вигляд увігнутою вниз кривої. Аналогічно, при заданому числі орендованих машин вплив числа найнятих робітників на денні витрати виглядає так само. Якщо представити ситуацію, що розглядається в тривимірному просторі: число орендованих верстатів – число робітників – денні витрати, то можна припустити, що поверхня денних витрат буде також увігнута вниз і мати одну точку мінімуму. Пошук поєднання "число найнятих – число орендованих" є, отже, пошуком цієї точки.

Зіставимо наступні величини: денну оплату робітника, денну вартість оренди одного верстату та збитки через недостачу одного верстату, з них остання значно перевершує дві інші. Це означає, що оптимальне співвідношення необхідно шукати серед таких значень, при яких виникають мінімальні втрати із-за простоїв верстатів.

Розглянувши "ідеальну" систему, в якій верстати, що вийшли з ладу, ніколи не простоюють перед тим, як робітник почне ремонт. Оцінимо знизу необхідне число ремонтників. Кожний верстат має середній цикл, що дорівнює $U + A$ годин (цикл складається з двох фаз – роботи та ремонту). Тоді використання верстату в такій ідеальній системі складе

$$K = \frac{U}{U + A}.$$

Якщо в роботі повинно бути L машин, щоб виключити втрати через зниження об'єму виробництва, то загальне число машин, що циркулюють у системі дорівнює

$$M = \frac{L}{K}.$$

При L працюючих верстатах $L_r = M - L$ верстатів повинно бути в резерві. Це, у свою чергу, означає, що слід найняти L_r робітників. Проте, через наявність випадковостей верстати можуть простоювати в тих місцях, де очікування потенційно можливе. Звідси, необхідно орендувати більше, ніж, L_r число верстатів. Достатньо розглянути наступні варіанти:

- число орендованих машин складає $[L_r], [L_r] + 1; [L] + 2$,
- число взятих на роботу ремонтників дорівнює $[L_r], [L_r] + 1; [L] + 2$,

де $[X]$ означає найменше ціле, яке задовольняє нерівності $[X] \geq X$.

Таким чином, спочатку потрібно провести моделювання при дев'яти комбінаціях, що виходять при переборі трьох значень числа робочих і трьох значень числа орендованих верстатів. Для кожного поєднання на підставі результатів моделювання обчислюється вартість виробництва, та пара "число робочих - число верстатів", у якій вартість буде мінімальною і є вирішенням поставленого завдання. Якщо мінімум потрапив на межу області, необхідно продовжити моделювання, доти, поки не буде отриманий локальний (він же глобальний) мінімум.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методичними вказівками з виконання комп'ютерного практикуму.
2. Зробити необхідні розрахунки для визначення варіантів числа найманих робітників і числа орендованих верстатів.

3. Скласти план імітаційних експериментів (що включає зміну параметри моделі та дані, що отримують з моделі, тобто ті результати моделювання, які потрібні для розрахунків вартості витрат).

4. Скопіювати прототип моделі, що відповідає цьому комп'ютерному практикуму.

5. Внести необхідні зміни в модель згідно з варіантом.

6. Здійснити пробний прогін моделі та усунути помилки, якщо вони є. При пробному прогоні бажано зменшити час моделювання з метою скорочення часу виконання моделі.

7. Провести не менше п'яти повних прогонів моделі для усіх комбінацій "число робочих – число верстатів", що задається відповідно до вибраного варіанту, та записати результати в матрицю RES для усіх отриманих значень витрат.

8. За допомогою процедури ANOVA визначити значущість результатів (витрат) від заданого "число робочих – число верстатів". Знайти оптимальну їх кількість.

9. Оформити звіт.

Контрольні запитання

1. Описати стан моделі у момент модельного часу 0.

2. Умови на початку моделювання помітно відрізняються від умов, коли досягнутий стаціонарний режим функціонування. Як модифікувати модель таким чином, щоб ці умови на самому початку були типовими?

3. Чи зміниться логіка роботи моделі, якщо в неї ввести пару блоків QUEUE –DEPART, що укладає в себе блок ENTER MEN?

4. Які результати моделювання використовуються для обчислення вартості виробництва?

Текст програми

* Визначення еквівалентних значень

ALLM EQU 48 ; загальне число верстатів

MEN STORAGE 3 ; число ремонтників

NOWON STORAGE 45 ; число верстатів, що одночасно працюють

GENERATE „ALLM

label1 ENTER NOWON ; верстати починають працювати

ADVANCE 108,41 ; верстати працюють

LEAVE NOWON ; верстат виходить з ладу

ENTER MEN ; зайняття ремонтника

ADVANCE 6,2 ; ремонт верстату

LEAVE MEN ; звільнення ремонтника

TRANSFER ,label1 ; повернення верстату в роботу

GENERATE (52#5#10)

SAVEVALUE

expenditure,((R\$MEN+S\$MEN)#52#5#10#4.15+(ALLM-(R\$NOWON+S\$NOWON))#52#5#32
+(R\$NOWON+S\$NOWON-SA\$NOWON)#125#52#5#10)

TERMINATE 1

Комп'ютерний практикум № 2.4. Моделювання виробничої дільниці

Мета. Визначення найкращих керуючих дій, запроваджуваних з метою вдосконалення технологічної дільниці за критерієм збільшення доходу, отриманого в результаті виконання робіт.

Завдання. Процедуру прийняття рішень розглянемо також на прикладі моделі виробничої дільниці із заданими маршрутами руху деталей (рис. 2.2). Цей приклад аналогічний прикладу, описаному в праці Т. Шрайбера [4], за винятком процедур прийняття рішень і включення в технологічний процес конвеєра для передавання деталей між верстатами.

Виробнича дільниця обладнана чотирма верстатами: токарним, свердлильним, шліфувальним та фрезерним. На дільниці обробляються деталі чотирьох типів. Деталі кожного типу потребують обробки на верстатах відповідного типу в певній послідовності, яка задається маршрутною картою.

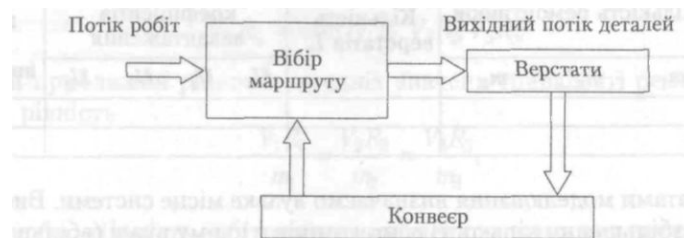


Рис. 2.2. Структурна схема концептуальної моделі

Кількість етапів обробки, послідовність проходження деталей по технологічному маршруту та середній час обробки деталей усіх типів наведено в маршрутній карті проходження деталей по дільниці (табл. 2.7). Верстати в маршрутній карті вказані в порядку виконання технологічних операцій.

Час надходження деталей на дільницю має розподіл Пуассона із середнім значенням 24 деталі за 8 годин роботи дільниці. Поява будь-якого типу роботи рівномовірна та не залежить від робіт інших типів.

Характеристики технологічного процесу виготовлення однієї деталі кожного типу і отриманий прибуток наведено в табл. 2.8.

Концептуальна структура моделі є віртуальною мережею СМО, в якій кожен тип деталі має свій маршрут руху. Мережа має один віртуальний вузол, в якому обслуговуючі пристрої (верстати) міняють свої номери залежно від типу деталі та її етапу обробки.

Таблиця 2.7. Технологічна карта процесу виготовлення деталей

Тип деталі	Кількість етапів обробки	Послідовність проходження деталей через верстати	Час обробки, хв
1	6	Токарний	8,8
		Фрезерний	12,0
		Свердлильний	12,0
		Шліфувальний	13,0

		Свердильний Токарний	10,5 11,5
2	4	Фрезерний Шліфувальний Фрезерний Свердильний	20,0 14,0 14,5 16,0
3	5	Токарний Свердильний Фрезерний Токарний Шліфувальний	17,6 19,0 14,0 11,6 30,0
4	4	Свердильний Токарний Фрезерний Шліфувальний	19,0 16,8 13,0 19,0

Таблиця 2.8 Характеристики виготовлення деталей

Тип деталі	Прибуток, грн.	Собівартість, грн.	Допустимий час виготовлення, хв	Штраф за затримку виготовлення понад допустимий термін, грн.
1	1550	350	1890	80
2	1850	420	1600	120
3	1350	280	2300	160
4	1450	315	1400	100

Для розробки моделі можна використати матриці як у роботі [5], проте, застосування функцій полегшує внесення змін до маршрутної карти. З метою уніфікації використовується можливість проходження однієї і тієї ж послідовності блоків SEIZE – ADVANCE – RELEASE і параметричне налаштування моделі на конкретний верстат за допомогою непрямої адресації пристроїв обслуговування та функцій, в яких відображаються конкретні параметри типу деталі, числа етапів обробки, початкові значення етапу для кожного типу деталі, маршрут проходження деталі через верстати та час обробки на кожному верстаті.

Розглянемо детальніше ці функції. Функція EXPDIS задає пуассонівський потік вступу робіт на ділянку. Тип деталі визначається за допомогою функції TYP, в якій задається ймовірність появи деталей одного з чотирьох типів. Функція JTPAR задає початкові значення маршрутів для кожного типу деталей, які визначаються функцією маршрутів ROUTE. Аргументом функції служить параметр транзакту P1, який визначає тип деталі. Оскільки загальне число маршрутів по усіх деталях дорівнює 19, то функція JTPAR задає початковий номер маршруту для кожного типу деталі. Маршрути визначаються функцією ROUTE послідовно, починаючи з деталі першого типу та кінчаючи четвертим. Наприклад, для третього типу деталей початкове значення маршруту дорівнюватиме сумі числа маршрутів для першого і другого типів подіта лей (6+4) плюс 1, тобто 11.

Функція JOB визначає кількість етапів обробки для кожного типу деталі. В якості

аргументу в ній використовується параметр транзакту P1, який задає тип деталі.

Функція ROUTE в якості аргументу застосовує параметр P3, який задає номер етапу обробки для кожного типу деталі. Початкове значення параметра P3 визначається функцією JТАР. Значення функції ROUTE задає номер верстата, тобто тип верстата, що обробляє деталь, який запам'ятовується в параметрі P4.

Функція TIME аналогічна функції ROUTE, але задає час обробки на кожному верстаті, значення якого запам'ятовується в параметрі P5.

У даній моделі транзакт – це робота, яку потрібно виконати для деталі даного типу. При вході транзакту в модель тип цієї роботи кодується параметром P1. Другий параметр задає кількість етапів обробки для деталі даного типу та використовується як зменшувальний лічильник. Якщо його значення дорівнює нулю, то над деталлю повністю виконані всі операції на дільниці. Третій параметр транзакту задає номер етапу, який виконується та використовується як лічильник, що працює в режимі збільшення. Четвертий параметр задає тип верстата, а п'ятий – тривалість обробки на верстаті деталі даного виду.

За одиницю модельного часу приймемо 0,1 хв.

Дані про розподіл часу виготовлення деталей збираються в таблиці 1-4 GPSS-програми моделі, відповідно, для кожного типу деталі. Перші інтервали таблиць задають допустимий час виготовлення деталей, вказаний в таблиці. 2.8. Це дає можливість визначити, чи штрафуються виготовлені деталі відповідного типу або ні.

Ураховуючи докладний опис моделі та коментарі, наведені в тексті програми, логіку роботи моделі можна не описувати. Однак зазначимо, що в будь-який момент часу транзакти-роботи можуть перебувати в моделі або в блоці ASSIGN, очікуючи входу в блок SEIZE, або в блоці ADVANCE, де вони затримуються на час обробки деталі.

Після закінчення моделювання друкується список майбутніх подій (СМП), тобто список робіт, які виконуються на ділянці у кінці робочого дня.

Порядок виконання роботи

Процедура визначення найкращих рішень щодо управління та удосконалення технологічної ділянки ітераційна і пов'язана з внесенням змін у технологію обробки деталей на дільниці. З цієї метою виконувані роботи можна поділити на такі етапи:

- 1) виявлення причин зниження продуктивності дільниці та зменшення доходу від виконаних робіт;
- 2) висунення гіпотез і попередній аналіз їх правильності;
- 3) перевірка гіпотез і порівняння отриманих результатів;
- 4) видача рекомендацій щодо вдосконалення технологічної дільниці.

Порядок роботи з імітаційною моделлю такий:

- 1) здійснити пробний прогін моделі та усунути помилки, якщо вони є (при пробному прогоні бажано зменшити час моделювання з метою скорочення рахунку);
- 2) виконати повний прогін моделі;
- 3) проаналізувати результати прогону та висунути гіпотези щодо вдосконалення технологічної дільниці.

Пропонуються такі робочі гіпотези.

Пропонуються такі робочі гіпотези.

Гіпотеза А. Перейти на нові режими роботи устаткування, тобто збільшити швидкість виконання робіт на верстатах. Такі зміни швидкісних режимів можуть призвести до деякої втрати якості, що зменшить дохід, але прибуток може зрости через

збільшення загальної продуктивності ділянки та скорочення незавершеного виробництва на кінець робочого дня. Крім того, можуть скоротитися штрафи внаслідок недотримання допустимих термінів виготовлення деталей. Можливі зміни режимів роботи верстатів та розміру доходу наведені в табл. 2.9. Завдяки переходу верстатів на швидкісний режим їх швидкість роботи можна збільшити на 20 %.

Вихідні дані для перевірки гіпотези *A* наведені у табл. 2.9.

Для перевірки гіпотези *A* слід у функції TIME змінити відповідні часи обробки деталей.

Гіпотеза B. Збільшення кількості однотипних верстатів на дільниці. Такі зміни приводять до тих самих наслідків, що й у разі гіпотези *A*, однак при цьому не будуть погіршуватися показники якості виготовлення деталей. Водночас дохід зменшиться через амортизаційні відрахування на нові верстати (табл. 2.10).

Таблиця 2.9. Дані для перевірки гіпотези *A*

Збільшення швидкості обробки при застосуванні різної кількості верстатів	Зменшення вартості деталей по типах, %			
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
1	1,5	1,2	2,8	2,0
2	2,5	1,5	3,0	2,8
3	3,0	2,0	3,5	3,2
4	3,5	2,8	3,8	3,6

Щоб перевірити гіпотезу *B*, необхідно ввести до програми накопичувачі і перейти від одноканальних пристроїв (блоки SEIZE і RELEASE) до БКП (блоки ENTER та LEAVE). Місткість накопичувача (STORAGE) задати в описовій частині моделі.

Вихідні дані для перевірки гіпотези *B* наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10. Дані для перевірки гіпотези *B*

Кількість однотипних верстатів	Збільшення собівартості деталі, виготовленої на верстаті певного типу, %			
	Свердлильний	Токарний	Фрезерний	Шліфувальний
2	5	8	7	10
3	10	16	14	20
4	15	24	21	30

Гіпотеза C. З теорії розкладів відомо, що впорядкування робіт перед верстатом щодо зменшення відношення штрафу через затримку до часу обробки зменшує сумарний штраф внаслідок порушення допустимих термінів обробки деталей на дільниці.

Для впровадження цієї гіпотези треба ввести в модель нову змінну (FVARIABLE) для обчислення відношення розміру штрафу даного виду деталей до часу обробки, тобто ввести функцію штрафів з іменем FINE залежно від типу деталі й

обчислити величину

VARIABLE FNSFINE/PS5

Необхідно застосувати цю змінну для задавання пріоритету (блок PRIORITY) перед захватом верстату після позначки NEXT у програмі.

Гіпотези *A, B, C* можна використовувати одночасно.

За допомогою моделювання необхідно перевірити гіпотези, вибрати найкращий варіант удосконалення технологічної дільниці, описавши стратегію вибору цього варіанта, та обчислити дохід.

За один прогін моделі неможливо визначити оптимальну структуру виробничої дільниці. Ця процедура неминує виявляється ітеративною і вимагає утворення множини гіпотез та їхньої перевірки. Для кожної гіпотези слід провести кілька прогонів моделі, щоб одержати результати з потрібною точністю.

Перед проведенням експериментів множину гіпотез упорядковують за величиною збільшенням матеріальних витрат на впровадження гіпотези. Для даного прикладу упорядкований список гіпотез такий: початкова структура дільниці; введення нового режиму роботи устаткування; введення пріоритетів у чергах до верстатів усіх типів; введення пріоритетів та нового режиму роботи; введення нових додаткових верстатів. Найкращу гіпотезу слід вибирати з урахуванням того, що завантаження устаткування не повинно перебільшувати критичне значення 87 %.

Якщо коефіцієнти завантаження верстатів перевищують критичне значення, то потрібно запровадити додаткові верстати цього типу. Якщо введені верстати будуть завантажені на 60-70 %, то це є умовою швидкої окупності.

Результат виконання даного завдання свідчить, що найкращою є гіпотеза переходу на новий режим роботи устаткування виробничої дільниці та визначення пріоритетів під час обробки деталей на верстатах.

При порівнянні альтернативних варіантів побудови модельованої системи виникає питання щодо надійності та однозначності отриманих результатів. Установлено, що в цьому випадку слід дотримуватись таких вимог:

- ♦ порівнювати альтернативні варіанти потрібно за однакових зовнішніх умов, тобто в разі наявності однакових вхідних змінних і послідовностей потоків випадкових чисел;

- ♦ усі фактори, що впливають на критерій F , крім тих, які характеризують обидва варіанти (1 і 2), необхідно змінювати так, щоб їх вплив на різницю ($F_1 - F_2$) був мінімальний.

У табл. 2.11 наведені варіанти завдань.

Таблиця 2.11. Значення параметрів по варіантах

Варіант и	Середній інтервал часу між надходженням робіт на дільницю, хв.	Розподіл робіт по типам, %			
		перши й	други й	треті й	четверти й
1	180	30	15	40	15
2	220	20	30	20	30
3	190	15	30	55	10
4	170	25	20	35	20
5	210	10	50	30	10

6	165	40	15	25	20
7	240	20	25	30	25
8	175	35	35	15	15
9	185	20	35	25	20
10	220	40	15	30	15
11	210	15	55	10	20
12	230	25	35	20	20
13	180	35	35	15	15
14	200	20	30	15	35
15	190	30	10	50	20
16	240	40	25	25	10
17	225	15	35	30	20
18	185	30	20	30	20
19	165	20	40	10	30
20	170	35	15	25	25
22	210	25	30	40	5
23	220	40	10	30	20
24	190	20	40	20	20
25	230	25	25	20	30
26	200	15	35	35	15
27	175	20	10	40	30
28	210	30	30	30	10
30	225	40	20	10	30
31	230	20	15	25	40
32	200	35	20	30	15
33	175	25	25	30	20

Текст програми

```
*****
*** Модель виробничої ділянки ***
*** Початкова структура ***
*** Введення додаткових верстатів***
*****
```

```
SVER      EQU 1 ; присвоєння еквівалентних значень
TOK       EQU 2
FREZ      EQU 3
SHLI      EQU 4
KNV       EQU 5
BAШ       EQU 1
BAD2      EQU 2
BAD3      EQU 3
BAD4      EQU 4
ROUTE     EQU 5
TIME      EQU 6
*
KNV        STORAGE 200 ; Ємність конвеєра
SVER       STORAGE 2  ; визначення
TOK        STORAGE 2  ; кількості
```

FREZ STORAGE 2 ; однотипових
 SHLI STORAGE 2 ; верстатів
 ** Функція собівартості для кожного типу деталей **
 CEB FUNCTION P1,D4
 1,350/2,420/3,280/4,315
 ** Функція штрафів для кожного типу деталей **
 MSHT FUNCTION P1,D4
 1,80/2,120/3,160/4,100
 ** Функція доходу для кожного типу деталей **
 MDOH FUNCTION P1,D4
 1,1550/2,1850/3,1350/4,1450
 ** Функція допустимого часу перебування на ділянці **
 ** для кожного типу деталей **
 DTIM FUNCTION P1,D4
 1,1890/2,1600/3,2300/4,1400
 ** Функція розподілу часу надходження деталей на ділянку **
 EXPDIS FUNCTION RN1,C24
 0,0/. 100,. 104/.200,.222/.300,.355/.400,.509
 .500,.690/.600,.915/.700,1.200/.750,1.380
 .800,1.600/.840,1.830/.880,2.120/.900,2.300
 .920,2.520/.940,2.810/.950,2.990/.960,3.200
 .970,3.500/.980,3.900/.990,4.600/.995,5.300
 .998,6.200/.999,7/1,8
 ** Функція типів деталей
 TYP FUNCTION RN1,D4
 .25,1/.40,2/.75,3/1,4
 ** Функція початкових значень маршрутів для кожного типу деталей **
 JTAP FUNCTION P1,D4
 1,1/2,7/3,11/4,16
 ** Функція кількості етапів обробки для кожного типу деталей **
 JOB FUNCTION P1,D4
 1,6/2,4/3,5/4,4
 ** Функція типів верстатів для кожного типу деталей **
 ROUTE FUNCTION P3,D19
 1,2/2,3/3,1/4,4/5,1/6,2
 7,3/8,4/9,3/10,1
 11,2/12,1/13,3/14,2/15,4
 16,1/17,2/18,3/19,4
 ** Функція часу напруцювання для кожного етапу
 TIME FUNCTION P3,D19
 1,88/2,120/3,120/4,130/5,105/6,92
 7,200/8,140/9,145/10,160
 11,176/12,190/13,140/14,116/15,300
 16,190/17,168/18,130/19,190
 ** Функція часу просування деталей по ділянці
 GO FUNCTION P3,D19
 1,16/2,23/3,23/4,23/5,55/6,38/7,35
 8,38/9,29/10,23/11,16/12,40/13,55
 14,55/15,33/16,55/17,38/18,23/19,38


```

** Функція часу для виходу деталі з дільниці
EXIT_ FUNCTION P1,D4
1,68/2,33/3,16/4,16
** Збирання даних про час перебування по типам деталей
BAD1 TABLE M1,1890,24000,2
BAD2 TABLE M1,1600,24000,2
BAD3 TABLE M1,2300,24000,2
BAD4 TABLE M1,1400,24000,2
*1-й сегмент моделі
    GENERATE 200,FN$EXPDIS
    ASSIGN 1,FN$TYP ; Тип деталі
    ASSIGN 2,FN$JOB ; Кількість етапів
    ASSIGN 3,FN$JTAP ; Номер першого етапу
    ASSIGN 6,FN$DTIM ; Допустимий час
    ENTER KNV ; Надходження на конвеєр
NEXT ASSIGN 4,FN$ROUTE ; Тип верстата
    ASSIGN 5,FN$TIME ; Час напрацювання
    ASSIGN 7,FN$GO ; Час просування до верстата
    ADVANCE P7 ; Час просування по конвеєру
    QUEUE P4 ; Черга до верстата
    ENTER P4 ; Заняття верстата
    DEPART P4 ; Вихід із черги
    ADVANCE P5 ; Обробка на верстаті
    LEAVE P4 ; Звільнення верстату
    ASSIGN 3+,1 ; Збільшення кількості етапів
    LOOP 2,NEXT ; Чи всі етапи? Ні - NEXT
    ASSIGN 7,FN$EXIT_ ; Час виходу з дільниці
    ADVANCE P7 ; Вихід з дільниці
    LEAVE KNV ; Вихід з конвеєра
    TABULATE PI ; Збирання статистики
    TEST L P6,M1,DDD ; Штрафувати? Ні - DDD
    SAVEVALUE SHTRAF+,FN$MSHT ; Штраф
DDD SAVEVALUE DOHOD-,FN$MSHT ; Визначення доходу
    SAVEVALUE DOHOD+,FN$MDON ; Визначення доходу
    SAVEVALUE DOHOD-,FN$CEB ; Визначення доходу
    SAVEVALUE CEBECT+,FN$CEB ; Визначення собівартості
    TERMINATE
* 2-й сегмент моделі
    GENERATE 4800 ; Таймер моделі
    TERMINATE 1

```

Контрольні запитання

1. Поясніть використання непрямої адресації в моделі.
2. Як задаються маршрути руху деталей?
3. Яка різниця в мові GPSS між використанням одноканального пристрою та багатоканального?
4. Поясніть різницю в алгоритмах роботи в мові GPSS між одноканальним пристроєм і багатоканальним, для якого місткість накопичувача задана одиницею?

5. Як використовуються параметри транзактів в моделі?
6. Поясніть роботу блоку LOOP в моделі.
7. Які зміни необхідно ввести в модель, щоб задати новий тип деталей із заданим маршрутом їх руху? Перерахуйте ці зміни за пунктами.
8. Які зміни необхідно ввести в модель, щоб задати новий вид верстата – стругальний?
9. Запропонуйте нові гіпотези щодо поліпшення технологічного процесу на ділянці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003 – 416 с.
2. Томашевський В.Н., Жданова О.Г., Жолдоков О.О. Вирішення практичних завдань методами комп'ютерного моделювання: Навч. посібник. – К.: "Корнійчук", 2001. – 268 с.
3. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. Имитационное моделирование средствами GPSS. : Учеб. пособие. К.: ІЗМН, КПІ, 1998. – 123 с.
4. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 593 с.
5. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 458 с.