

Тема 23. Поняття імітаційного моделювання. Моделі систем масового обслуговування. Принципи роботи GPSS World. Елементи логіки роботи інтерпретатора

23.1. Поняття імітаційного моделювання та імітаційної моделі

Різноманітні економіко-математичні методи і моделі – потужний, теоретично і практично розроблений апарат економіко-математичного аналізу. Проте цей арсенал прийомів і математичних методів не дозволяє охопити всі задачі планування й управління, які представляють практичний інтерес і розв'язання яких може бути засноване на аналізі кількісних показників. Мова в даному випадку йде про характер задач, аналіз яких за допомогою згаданих методів або їх складніших модифікацій дійсно виявляється ефективним. Багато дуже важливих практичних задач, у тому числі й оптимізаційних, не можуть бути розв'язані з використанням економіко-математичних методів, або ж отримані з їх допомогою розв'язки виявляються недостатньо ефективними.

Серед основних об'єктивних причин цього явища можна відзначити обмежені роздільні здатності різних економіко-математичних моделей за такими основними аспектами, як рівень деталізації модельованих систем і процесів, а також забезпеченість ефективними обчислювальними методами аналітичного розв'язання. Як правило, математичні моделі, що використовуються для дослідження економічних систем, володіють досить високим рівнем абстракції, що й обумовлює їх універсальність.

З розвитком автоматизованих систем управління, розширенням сфер застосування засобів обчислювальної техніки значно різноманітніше стає коло економічних і управлінських завдань, які необхідно вирішувати. Практика вимагає постановки і вирішення все більш складних (комплексних) завдань. У цих умовах побудова адекватних моделей завдань і розробка методів їх рішення стають все більш насущними проблемами. Особливо це стосується таких завдань, в яких необхідно одночасно враховувати фактори невизначеності, динамічну взаємну обумовленість поточних рішень, наступних подій, комплексну взаємозалежність між досліджуваними факторами. Як правило, такі практичні завдання мають велику розмірність, мають велику кількість внутрішніх взаємозв'язків, тому їх не вдається звести до відомих моделей типу математичного програмування або застосувати для їх вирішення інші

традиційні методи математичного моделювання. Для вирішення таких завдань розробляється, а останніми роками отримав особливо широкий розвиток метод імітаційного моделювання на ЕОМ. Щоб з'ясувати, що ж є методом імітаційного моделювання, розглянемо деякі принципові особливості цього економіко-математичного аналізу.

За одним із визначень, **імітація – це чисельний метод проведення на ЕОМ експериментів з математичними моделями, що описують поведінку складних систем протягом тривалих періодів часу**. Таке уявлення про метод імітації в економіко-математичному аналізі засноване на використанні властивості наслідування, тобто відтворення процесів, що протікають у досліджуваній складній системі, штучними засобами за допомогою математичних моделей, що реалізуються на ЕОМ.

Математичні моделі, які використовуються в імітації, можуть суттєво відрізнитися від традиційних.

Позначимо ці відмінності детальніше. При цьому виходитимемо з того, що дослідження реальної системи за допомогою математичних методів є реалізацією низки послідовних етапів і пов'язується, як правило, з досягненням певної мети досліджень: вивчення діючої реальної системи, аналізу гіпотетичної системи або проектування досконалішої системи.

Можна виділити декілька основних етапів моделювання:

1. Постановка задачі дослідження, вивчення модельованої системи, збирання емпіричної інформації, виділення основних проблем моделювання.

2. Формування математичної моделі, вибір структури і принципів опису моделі та її підмоделей, допустимих спрощень, вимірюваних параметрів і критеріїв оцінки якості моделі.

3. Розробка програмного забезпечення розв'язання моделі або імітаційного алгоритму, генерація чи складання машинних програм.

4. Оцінка адекватності математичної моделі і перевірка достовірності та придатності моделюючого алгоритму за ступенем погодженості і допустимості результатів контрольних експериментів з вхідними даними.

5. Планування багатоваріантних експериментів, вибір функціональних характеристик системи, що вивчається, для дослідження, визначення методів обробки результатів експериментів.

6. Робота з моделлю, проведення розрахунків і експериментів.

7. Аналіз результатів, формулювання висновків за даними моделювання і практичне використання результатів.

Поряд з аналітичними і чисельними методами розв'язування, орієнтованими на традиційні математичні моделі, для використання імітаційних моделей застосовується спосіб моделювання процесів на ЕОМ. Такий підхід передбачає використання в дослідженні специфічного різновиду математичних моделей – імітаційних моделей. Важливою особливістю імітаційного моделювання процесів на ЕОМ є те, що математичну модель, яка є вираженими в тій або іншій формі взаємозв'язками між параметрами і змінними досліджуваної системи, не обов'язково спеціально перетворювати до заздалегідь визначеного вигляду.

Для імітаційного моделювання характерне відтворення явищ, що описуються моделлю, із збереженням їх логічної структури, послідовності чергування в часі, а інколи і фізичного змісту. Таке відтворення явищ виконується за допомогою спеціальних моделюючих установок (апаратне моделювання) або засобів обчислювальної техніки. В останньому випадку забезпечується високий ступінь подібності між математичними (кількісними) характеристиками реальних процесів і їх модельними відображеннями в ЕОМ. Причому, у протизвагу аналітичному і чисельному методам зміст операцій, що виконуються при роботі з імітаційною моделлю, майже не залежить від того, які величини вибрані як шукані.

Методи імітаційного моделювання мають деякі принципові відмінності і в частині способів використання математичних моделей, які зближують імітаційне моделювання з методами фізичного моделювання і натурних експериментів на реальних системах. Основну відмінність можна представити наочніше, якщо взяти до уваги призначення математичних моделей, що реалізуються способами аналітичного і чисельного дослідження процесів, й імітаційних моделей.

Аналітичні моделі призначені, головним чином, для отримання рішення, що визначає в готовому вигляді значення шуканих змінних на основі закладеної в моделі інформації про досліджувану систему.

На відміну від них імітаційні моделі призначені для отримання інформації про модельовану систему і вироблення в подальшому відповідних оцінок, застосованих для формування рішень. Вироблення рішень у цьому випадку проводиться, як правило, поза імітаційною моделлю.

Імітаційні моделі будуються передусім для того, щоб на підставі інформації про досліджувану систему і процеси, що протікають в ній, узагальнити та деталізувати наявні дані до такого ступеня, при якому вони

могли б стати придатними для вироблення рішень у рамках деяких завдань дослідження системи. Причому, як правило, методи вирішення цих завдань безпосередньо в імітаційну модель не включаються.

Найважливішою особливістю методу імітаційного моделювання є те, що імітаційні моделі можуть застосовуватися для опису і дослідження досить складних процесів практично на межі можливої формалізації. Вони використовуються і тоді, коли частина процесів досліджуваної системи взагалі не формалізується. Останнє характерне для таких процесів, які реалізуються в досліджуваній системі за участю людини, що ухвалює рішення.

Застосування методів імітації для дослідження системи, формування імітаційної моделі ґрунтуються на використанні максимального обсягу доступної інформації про систему як таку, яка може бути представлена в деякому формальному вигляді за допомогою математичних співвідношень і залежностей, так і таку, яка може бути виражена у вигляді функції розподілу ймовірності випадкової величини й інших прийомів. У цьому випадку в аналіз залучається і та частина даних про систему, яка не може бути отримана через те, що у розпорядженні дослідника може не виявитися відомостей про поведінку системи у всіх принципово можливих режимах її функціонування або в допустимих межах зміни параметрів процесів, що вивчаються.

Для моделювання досліджуваного процесу на ЕОМ необхідно, щоб математична модель цього процесу була представлена у формі спеціального моделюючого алгоритму. Відповідно до цього алгоритму в ЕОМ буде вироблена інформація, що описує елементарні явища досліджуваного процесу з урахуванням їх зв'язків і взаємних впливів. Природно, що явища досліджуваного процесу і явища, які відбуваються в ЕОМ, що реалізовує алгоритм моделювання, за своїм фізичним змістом суттєво відрізняються. Але вони мають бути близькі з погляду складу і характеру інформації, що описує поведінку реальної системи, та інформації, оброблюваної ЕОМ у процесі імітації.

Реалізація імітаційного алгоритму в ЕОМ є модельним відтворенням кількісних характеристик елементарних явищ, характерних для досліджуваного реального процесу. У даному випадку немає необхідності не тільки перетворювати початкову математичну модель досліджуваної системи у форму, що допускає аналітичне або чисельне розв'язання, але і підбирати для її вирішення деякий дуже далекий за своєю структурою від самої моделі аналітичний або чисельний метод.

Розробка програмного забезпечення вирішення моделі або імітаційного алгоритму.

Побудова імітаційного алгоритму в корені відрізняється від програмування методів аналітичного і чисельного вирішення математичних моделей на ЕОМ. Процедури алгоритмізації в цьому випадку найбільше визначаються змістом математичної моделі, а не ґрунтуються на чіткому виділенні сукупності шуканих величин.

Якщо для вирішення звичайних математичних моделей можуть бути використані різні пакети прикладних програм, що реалізують на ЕОМ ті або інші алгоритми аналітичного і чисельного вирішення завдань, то програмування імітаційних моделей виявляється значно складнішим. Це обумовлюється особливостями, властивими методу імітаційного моделювання. Перш за все, основною діяльністю дослідника при роботі з імітаційною моделлю є спостереження, реєстрація і вимірювання контрольованих параметрів процесів, що вивчаються. Тому в моделюючий алгоритм повинні бути включені не тільки процедури, які відтворюють кількісні характеристики досліджуваних реальних процесів і їх взаємозв'язки, але і спеціальні програми, що дозволяють накопичувати дані вимірювань у процесі імітації.

Крім того, моделюючий алгоритм повинен дозволяти у процесі експерименту імітувати дію на процес випадкових і неконтрольованих параметрів. Усе це забезпечує відносну незалежність імітаційної моделі від прийнятого розділення даних, що фігурують у ній, на початкові умови, параметри системи і шукані величини. Така незалежність є принциповою особливістю методу імітаційного моделювання, оскільки при дослідженні процесів звичайними аналітичними або чисельними методами зміна сукупності шуканих величин, як правило, вимагає інших форм представлення математичної моделі або ж використання різних алгоритмів для вирішення загалом однієї й тієї ж задачі.

Суттєво і те, що імітаційне моделювання виявляється зручним апаратом для дослідження випадкових процесів – це одне з основних застосувань даного методу.

Для реалізації на ЕОМ імітаційний алгоритм повинен бути представлений у вигляді набору машинних програм, що реалізують процедури імітації, збирання даних за спостереженнями і вимірами, введення та виведення початкових даних і результатів експериментів тощо. Програмування імітаційних алгоритмів здійснюється з використанням універсальних мов програмування або ж за допомогою спеціалізованих проблемно-орієнтованих мов імітаційного моделювання.

23.2. Основні поняття теорії масового обслуговування

Теорія масового обслуговування (ТМО) – галузь прикладної математики, що використовує методи теорії випадкових процесів. Поняття "система масового обслуговування" пов'язане з явищем очікування. Стимулом до розвитку теорії масового обслуговування послужили спроби передбачити потреби, які випадково змінюються, за результатами спостережень і на основі цього організувати обслуговування, що характеризується прийнятним часом очікування. Теорія масового обслуговування дозволяє розкрити природу черг, що забезпечує можливість кращого управління процесом.

Теорія масового обслуговування, як і взагалі моделювання, безпосередньо не пов'язана з оптимізацією. Вона скоріш намагається розробити, вивчити і порівняти різні ситуації, що характеризуються своренням черги, і, таким чином, побічно досягти наближеної оптимізації.

Першою у теорії масового обслуговування була робота Іохансеса "Час очікування і число викликів" (1907 р.). Однак вона пройшла непоміченою. Початок цьому науковому напрямку поклала робота А. К. Ерланга "Теорія ймовірності і телефонні переговори" (1909 р.) та інші його роботи, в яких він вивчав проблеми теорії скупчення. Практичну спрямованість в 20 – 30-х роках мали роботи й інших авторів, наприклад, Мошина, Фрайя. Узагальнення методів і розробка загальної теорії масового обслуговування були початі дещо пізніше. Істотний внесок до її створення і розвитку зробили радянські вчені Хинчин А. Я., Гнеденко Б. В., Колмогоров А. Н., Бусленко Н. П., Вентцель Е. С., Севостьянов Б. А. і ін., а також закордонні вчені К. Пальм, Д. Кендалл, Ф. Поллачек, Сааті Т. Л. та ін.

У теорії масового обслуговування розглядаються задачі планування й управління, пов'язані з визначенням ефективності виконання низки робіт (послуг) над певними об'єктами (обслуговуваними одиницями). Модель конкретної системи масового обслуговування має практичне значення і допускає можливість розв'язання в тому випадку, якщо обслуговувані одиниці (об'єкти, заявки) надходять в обслуговуючу систему в масовому порядку, через випадкові проміжки часу, час виконання робіт (обслуговування об'єктів) також носить випадковий характер. Так, у магазині касир обслуговує велику кількість покупців, їх надходження в магазин, а також час обслуговування наперед неможливо точно визначити.

Типовими виробничими задачами, вирішуваними методами теорії масового обслуговування, є задачі організації телефонного і телеграфного зв'язку, обслуговування в торгівлі, ремонт і наладка обладнання, відвантаження готової продукції на багатьох підприємствах та ін. Теорія масового обслуговування може застосовуватися при розробці оптимальної структури управління народним господарством і окремими його ланками, а також в економіці, де об'єктом виступає потреба в продукції певного виду, а обслуговуючою системою є заводи, що випускають цю продукцію. Теорію масового обслуговування успішно можна використати і при розробці інформаційних систем, проектуванні комп'ютерних мереж тощо.

Як правило, системи масового обслуговування є дуже складними. Методами теорії масового обслуговування проводиться аналіз окремих систем, потім на його основі вирішується проблема оптимізації параметрів системи.

Теорія масового обслуговування вивчає процеси, в яких, з одного боку, постійно виникають запити на виконання яких-небудь послуг, а, з іншого, відбувається задоволення цих запитів, тобто виконання послуг. Та частина процесу, в якій виникають запити, є обслуговуваною системою, а та частина, яка приймає запити і задовольняє їх, називається обслуговуючою системою. Сукупність обслуговуваної і обслуговуючої систем називається системою масового обслуговування (СМО).

Основними поняттями теорії масового обслуговування є:

вимога – кожен окремий запит на виконання якої-небудь роботи або послуг;

джерело вимог – частина обслуговуваної системи, яка у будь-який момент часу може надіслати лише одну вимогу;

обслуговування – задоволення запиту, що надійшов в обслуговуючу систему, на виконання послуг;

обслуговуючий апарат – частина обслуговуючої системи, яка здатна в будь-який заданий момент часу задовольняти лише одну вимогу (обслуговуюча система – це сукупність однорідних обслуговуючих апаратів, причому під однорідністю розуміється здатність задовольняти однакові вимоги);

потік вимог – послідовність появи вимог у часі;

час обслуговування – час, протягом якого задовольняється запит, тобто період від початку обслуговування (а не від моменту надходження вимоги в систему) і до його завершення.

23.3. Системи масового обслуговування, їх класифікація та основні характеристики

Із системами масового обслуговування (СМО) ми зустрічаємось повсякчас. Кожному з нас доводилось чекати обслуговування в черзі (у магазині, на автозаправці, в бібліотеці, кав'ярні тощо). Аналогічні ситуації виникають, коли треба скористатися телефонним зв'язком або виконати свою програму на комп'ютері. Будь-яке виробництво теж можна представити як послідовність систем обслуговування. До типових систем обслуговування належать також ремонтні і медичні служби, транспортні системи, аеропорти, вокзали тощо.

Особливого значення набули такі системи у процесах інформатики. Це передусім комп'ютерні системи, мережі передавання інформації, операційні системи, бази і банки даних. Системи обслуговування відіграють значну роль у повсякденному житті. Досвід моделювання різних типів дискретних систем свідчить про те, що приблизно 80 % цих моделей ґрунтуються на СМО.

Систему масового обслуговування загалом можна представити як сукупність послідовно пов'язаних між собою вхідних потоків вимог на обслуговування (потоків замовлень), черг, каналів обслуговування і потоків обслужених замовлень. Будь-який пристрій, який безпосередньо обслуговує замовлення, називають *каналом обслуговування*.

Системи масового обслуговування можна класифікувати, базуючись на наявності тієї чи іншої ознаки.

1. За характером надходження замовлень у систему: системи з регулярним і випадковим потоками замовлень. Якщо кількість замовлень, які надходять у систему за одиницю часу (інтенсивність потоку), стала або є заданою функцією часу, то маємо систему з регулярним потоком замовлень, в іншому разі – з випадковим. Випадковий потік замовлень може бути стаціонарним або нестаціонарним. Якщо параметри потоку замовлень не залежать від розташування інтервалу часу, який розглядають, на осі часу, то маємо стаціонарний потік замовлень, в протилежному разі – нестаціонарний. Наприклад, якщо кількість покупців, які приходять до магазину, не залежить від часу доби, то потік замовлень (покупців) – стаціонарний.

2. За кількістю замовлень, які надходять за одиницю часу: системи з ординарним і неординарним потоками замовлень. Якщо ймовірність надходження двох або більше замовлень в один момент часу дорівнює нулю або настільки мала, що нею можна знехтувати, то маємо

систему з ординарним потоком замовлень. Наприклад, потік літаків, які прибувають на злітну смугу аеродрому, можна вважати ординарним, оскільки ймовірність надходження двох і більше літаків до каналу обслуговування (злітної смуги) в один і той самий момент часу дуже мала.

3. За зв'язком між замовленнями: системи без післядії від замовлень, які надійшли, і з післядією. Якщо ймовірність надходження замовлень у систему в деякий момент часу не залежить від того, скільки вимог уже надійшло до системи, тобто не залежить від передісторії процесу, який вивчають, то маємо задачу без післядії, у протилежному разі – з післядією. Прикладом задачі з післядією може слугувати потік студентів на складання заліку викладачу.

1. За характером поведінки замовлень у системі: системи з відмовами, з обмеженим очікуванням і з очікуванням без обмеження:

– якщо нове замовлення, яке прибуло на обслуговування, застає усі канали обслуговування уже зайнятими і покидає систему, то маємо систему з відмовами. Замовлення може покинути систему і тоді, коли черга досягла певних розмірів. Якщо ракета супротивника з'являється в час, коли всі протиракетні пристрої обслуговують інші ракети, то вона без проблем залишає зону обслуговування;

– якщо нове замовлення, яке прибуло на обслуговування, застає усі канали обслуговування зайнятими і стає у чергу, але перебуває у ній обмежений час і, не дочекавшись обслуговування, покидає систему, то маємо систему з обмеженим очікуванням. Прикладом такого "нетерплячого" замовлення може бути самоскид із цементним розчином. Якщо час очікування великий, то щоб запобігти затвердненню розчину, він може бути розвантажений в іншому місці;

– якщо нове замовлення, яке прибуло на обслуговування, заставши усі канали обслуговування зайнятими, змушене очікувати своєї черги до того часу, поки не буде обслужене, то маємо систему з очікуванням без обмеження. Приклад: літак, який перебуває на аеродромі до того часу, поки не звільниться злітна смуга.

5. За способом вибору замовлень на обслуговування: з пріоритетом, за часом надходження, випадково, останнього обслуговують першим. Іноді в такому випадку кажуть про дисципліну обслуговування:

– якщо система масового обслуговування охоплює кілька категорій замовлень і з певних міркувань необхідно дотримуватись різного підходу до їхнього відбору, то маємо систему з пріоритетом. Зокрема, під час надходження виробів на будмайданчик, перш за все монтують ті, які необхідні у цей момент;

– якщо канал, який звільнився, обслуговує замовлення, яке раніше за інших надійшло до системи, то маємо систему з обслуговуванням замовлень за часом надходження. Це найпоширеніший клас систем. Наприклад, покупця, який підійшов до продавця першим, обслуговують раніше за інших. Цей спосіб вибору замовлень на обслуговування застосовують там, де внаслідок технічних, технологічних або організаційних умов замовлення не можуть випереджати одне одного;

– якщо замовлення з черги надходять до каналу обслуговування у випадковому порядку, то маємо систему з випадковим вибором замовлень на обслуговування. Приклад: вибір слюсарем-сантехніком одного з декількох замовлень на усунення несправностей, які надійшли від мешканців. Вибір тут, зазвичай, визначають місцезнаходженням самого слюсаря: він надасть перевагу замовленню мешканця, який перебуває від нього найближче, якщо інші чинники не визначають вибору;

– останнього обслуговують першим. Цей спосіб вибору вимог на обслуговування використовують у тих випадках, коли зручніше й економніше брати на обслуговування замовлення, яке найпізніше надійшло до системи. Зокрема, якщо будівельні вироби складені один на одному, то зручніше спочатку брати виріб, який надійшов останнім.

6. За характером обслуговування замовлень: на системи з детермінованим і випадковим часом обслуговування. Якщо інтервал часу між моментами надходження замовлення до каналу обслуговування і моментом виходу замовлення з цього каналу є сталим, то йдеться про систему з детермінованим часом обслуговування, в іншому разі – з випадковим.

7. За кількістю каналів обслуговування: на одноканальні і багатоканальні системи. Наприклад, для зведення будинку можна використати один будівельний кран (один канал обслуговування) або декілька (багато каналів) для обслуговування виробів, які прибувають на будівництво.

8. За кількістю етапів обслуговування: на однофазні і багатофазні системи. Якщо канали обслуговування розташовані послідовно, і вони неоднорідні, оскільки виконують різні операції обслуговування, то йдеться про багатофазну систему масового обслуговування. Прикладом такої системи може бути обслуговування автомобілів на станції технічного обслуговування (миття, діагностування тощо).

9. За однорідністю замовлень, які надходять на обслуговування: на системи з однорідними і неоднорідними потоками замовлень. Наприклад, якщо для розвантаження прибувають фургони

однакової вантажомісткості, то такі замовлення називають однорідними, якщо різної – то неоднорідними.

10. За обмеженістю потоку замовлень: на замкнені і розімкнені системи. Якщо потік замовлень обмежений і замовлення, які покинули систему, через деякий час до неї повертаються, то маємо замкнену систему, у протилежному разі – розімкнену. Прикладом замкненої системи може слугувати бригада робітників, які налагоджують станки у ткацькому цеху.

З метою скорочення запису для позначення будь-якої однофазної СМО використовують систему кодування A/B/C/D/E, де на місці латинської літери ставлять відповідні характеристики системи:

A – закон розподілу інтервалів між надходженнями замовлень. Найчастіше використовують такі закони розподілу: показниковий (M), ерлангівський (E), гіперекспоненціальний (H), ґамма-розподіл (Г), детермінований (D). Для позначення довільного характеру розподілу використовують символ G;

B – закон розподілу часу обслуговування в каналах СМО. Тут використовують такі самі позначення, як і для розподілу інтервалів між надходженнями замовлень;

C – кількість каналів обслуговування. Тут використовують такі позначення: для одноканальних систем записують 1, для багатоканальних l (кількість каналів);

D – кількість місць у черзі. Якщо кількість місць у черзі необмежена, то це позначення можна не використовувати. Для скінченної кількості місць у черзі в загальному випадку приймають позначення r або n (кількість місць);

E – дисципліна обслуговування. Найчастіше використовують такі варіанти системи обслуговування: FIFO (першим прийшов – першим вийшов), LIFO (останнім прийшов – першим вийшов), RANDOM (випадковий порядок обслуговування). За дисципліни FIFO це позначення можна не використовувати.

Приклади позначень:

M/M/1 – СМО з одним каналом обслуговування, нескінченною чергою, показниковими законами розподілу інтервалів часу між надходженнями замовлень і часу обслуговування та дисципліною обслуговування FIFO;

E/H/l/r/LIFO – СМО з кількома каналами обслуговування, скінченною чергою, ерлангівським законом розподілу інтервалів часу між

надходженнями замовлень, гіперекспоненціальним розподілом часу обслуговування та дисципліною обслуговування LIFO;

G/G/I – СМО з кількома каналами обслуговування, нескінченною чергою, довільними законами розподілу інтервалів часу між надходженнями замовлень і часу обслуговування та дисципліною обслуговування FIFO.

Вивчення або задання потоку замовлень, механізму (кількості каналів, тривалості обслуговування тощо) та дисципліни обслуговування дає підстави для побудови моделі системи.

Суть досліджень реальних процесів за допомогою теорії масового обслуговування – кількісний опис потоку вимог, що надходять у систему, і часу обслуговування, визначення через їх характеристики показників якості функціонування системи як при існуючому варіанті її організації, так і при інших можливих варіантах й отримання висновків про поліпшення роботи системи масового обслуговування шляхом зміни її організації. Проте для аналітичного вирішення завдання недостатньо мати лише кількісний опис потоку вимог і часу обслуговування. Для правильного вибору виведених в аналітичній теорії масового обслуговування розрахункових формул, за якими визначаються показники якості функціонування системи, необхідно знати також тип системи обслуговування.

Показники якості функціонування систем масового обслуговування залежать не тільки від величини параметрів потоку вимог і часу обслуговування, але і від різних ознак, – форми системи і її внутрішньої організації, порядку обслуговування й інших, – залежно від яких всі задачі масового обслуговування діляться на декілька типів. Для кожного з них є свій набір показників якості функціонування системи і свої формули їх розрахунку залежно від величини параметрів потоку вимог і часу обслуговування.

На практиці найчастіше зустрічаються системи, в яких потік вимог близький до простого, а час обслуговування є показниковим. Для таких систем характерним є очікування, скінченне число обслуговуючих апаратів, обмежений потік вимог і нерегульоване обслуговування.

У теорії масового обслуговування розглядаються також системи з урахуванням можливості виходу з ладу обслуговуючих пристроїв. При розрахунку цих систем застосовуються методи теорій надійності і заміни обладнання. На основі теорії ймовірності і математичної статистики теорія надійності дозволяє встановити закономірності виникнення поломок

обладнання, розробити методи контролю надійності виробів, оптимізувати їх надійність з економічної точки зору.

Завданням теорії масового обслуговування є відшукування залежностей величини, що характеризує якість функціонування обслуговуючої системи або її ефективність, від способів організації системи в цілому. Під ефективністю обслуговуючої системи розуміється характеристика рівня виконання цією системою її функцій. Показники ефективності визначаються трьома групами факторів: характеристиками якості і надійності системи обслуговування, економічними показниками й особливостями функціонування системи.

Під якістю функціонування системи масового обслуговування розуміють не власне якість виконання тієї або іншої роботи, запит на яку надійшов, а ступінь задоволення потреби в обслуговуванні. При цьому поняття "якість" функціонування системи масового обслуговування у кожному окремому випадку матиме свій конкретний зміст і буде виражатися різними кількісними показниками, наприклад, величина черги на обслуговування; середній час обслуговування, очікування обслуговування або перебування вимоги в обслуговуючій системі; час простою обслуговуючих апаратів; упевненість, що всі вимоги, які надійшли в систему, будуть обслужені і т. д.

Кількісні показники якості функціонування систем масового обслуговування залежать від виду системи, а також від величин, що характеризують основні її параметри. Тому **метою теорії масового обслуговування є розробка математичних методів для відшукування основних показників процесів масового обслуговування, що характеризують якість функціонування системи масового обслуговування при різних варіантах її організації.**

При вирішенні завдань масового обслуговування виявляються функціональні залежності між показниками якості функціонування системи масового обслуговування і характеристиками потоку вимог, часу обслуговування, способу організації обслуговування. Завдання вважається вирішеним, якщо вдається вибрати для даного типу системи масового обслуговування кількісні показники якості її функціонування і виразити їх через параметри, що характеризують вхідний потік вимог та час їх обслуговування.

Таким чином, **предметом дослідження теорії масового обслуговування** є кількісна сторона процесів масового обслуговування.

Показниками якості й ефективності функціонування системи, що найчастіше зустрічаються, є:

- 1) ймовірність того, що обслуговуванням зайнято n пристроїв;
- 2) ймовірність втрати об'єкта, що дорівнює ймовірності того, що всі пристрої зайняті обслуговуванням;
- 3) середня кількість зайнятих і вільних пристроїв;
- 4) коефіцієнти простою і завантаження пристроїв;
- 5) середній час перебування об'єкта в черзі і системі;
- 6) середня величина черги;
- 7) ймовірність того, що час перебування об'єкта в черзі триватиме не більше певної величини;
- 8) ймовірність того, що кількість елементів у черзі більше деякого числа m ;
- 9) кількість необслужених (втрачених) об'єктів;
- 10) витрати і втрати при функціонуванні системи.

Оцінка ефективності дозволяє оптимізувати системи масового обслуговування, тобто оптимально організувати систему обслуговуючих пристроїв (їх кількість і склад) або потік об'єктів, що надходить. Для цього при оцінці ефективності застосовуються вартісні показники:

- вартість обслуговування об'єкта;
- вартість втрат, пов'язаних з очікуванням обслуговування в одиницю часу;
- вартість збитків, пов'язаних з втратою об'єктів;
- вартість експлуатації обслуговуючих пристроїв в одиницю часу;
- вартість одиниці часу простою пристрою та ін.

23.4. Принципи роботи GPSS World

Система GPSS World призначена для імітаційного моделювання систем із дискретними та неперервними процесами. У ній мова моделювання GPSS покращена вбудованою мовою програмування низького рівня PLUS. Мова GPSS ґрунтується на припущенні, що модель складної системи можна зобразити за допомогою сукупності елементів і логічних правил їхньої взаємодії у процесі функціонування системи. Також припускається, що у процесі моделювання системи можна виокремити невеликий набір абстрактних елементів, які називають **об'єктами**. Набір логічних правил обмежений і його можна описати невеликою кількістю стандартних операцій. Комплекс програм, які описують функціонування об'єктів і виконують логічні операції, є основою для створення програмної моделі системи цього класу.

У складі системи GPSS World є також спеціальна **програма-планувальник**, яка виконує такі функції:

забезпечення просування за заданими розробником маршрутами динамічних об'єктів, які називають транзактами;

планування подій, які відбуваються в моделі, шляхом реєстрації часу появи кожної події і виконання їх у наростаючій часовій послідовності;

реєстрація статистичної інформації про функціонування моделі;

просування модельного часу у процесі моделювання системи.

Для забезпечення правильної послідовності обробки подій у часі призначений системний годинник, який зберігає значення абсолютного модельного часу. Усі проміжки часу описують додатними числами.

Об'єкти в GPSS. Модель в GPSS будується з окремих елементів, що називаються об'єктами. Об'єкти в GPSS класифікують на сім категорій і 15 типів:

1. Динамічна – транзакти.
2. Операційна – блоки.
3. Апаратна (статична) – одноканальні пристрої, багатоканальні пристрої, логічні ключі.
4. Обчислювальна – змінні, функції, генератори випадкових чисел.
5. Статистична – черги, таблиці.
6. Запам'ятовуюча – комірки, матриці комірок.
7. Групуєча – числові групи, групи транзактів, списки.

Стан моделі в будь-який момент часу визначається сукупністю станів усіх об'єктів, що складають модель; зміна станів моделі припускає зміну стану хоча б одного об'єкта. Основна особливість GPSS як системи моделювання полягає в тому, що стан моделі змінюється лише тоді, коли динамічний об'єкт – транзакт – проходить через операційний блок. Саме транзакт, рухаючись по моделі, є ініціатором зміни станів пристроїв, статистичних об'єктів й інших транзактів.

Змістовне значення транзактів визначає розробник моделі. Він встановлює аналогію між транзактами і реальними елементами системи, яку моделює. Таку аналогію ніколи не вказує планувальник GPSS. Вона присутня лише в пам'яті розробника моделі.

Динамічні об'єкти (транзакти) створюються у певних точках моделі, просуваються планувальником через блоки, а потім знищуються. З кожним транзактом може бути пов'язана певна кількість параметрів, які містять необхідну інформацію про нього. Параметри нумерують або їм дають імена. Номери параметрів та імена використовують для посилань на значення, присвоєні параметрам. Транзакти можуть мати різні

пріоритети. Пріоритет визначає перевагу, яку отримує транзакт, коли він та інші транзакти претендують на один і той самий ресурс.

Операційні об'єкти (блоки) задають логіку функціонування моделі системи і визначають шлях руху транзактів між об'єктами апаратної категорії. Модель системи можна зобразити сукупністю блоків, об'єднаних відповідно до логіки роботи реальної системи у так звану блок-схему. Блок-схему моделі можна зобразити графічно, наочно показуючи взаємодію блоків у процесі моделювання.

У блоках можуть відбуватися події чотирьох головних типів:

- 1) створення або знищення транзактів;
- 2) зміна числового атрибута об'єкта;
- 3) затримка транзакта на певний період часу;
- 4) зміна маршруту руху транзакта в моделі.

Версія GPSS, реалізована в системі GPSS World, містить 53 типи блоків. За призначенням блоки класифікують на кілька груп.

1. Блоки, які здійснюють модифікацію атрибутів транзактів:

а) генерування і знищення транзактів (GENERATE, SPLIT, TERMINATE, ASSEMBLE);

б) затримка у часі (ADVANCE);

в) синхронізація руху двох (MATCH) і кількох (GATHER) транзактів;

г) зміна параметрів транзактів (ASSIGN, INDEX, MARK, PLUS);

д) зміна пріоритету транзакта (PRIORITY).

2. Блоки, які змінюють послідовність руху транзактів (DISPLACE, TRANSFER, LOOP, TEST, GATE).

3. Блоки, пов'язані з групуючою категорією (ADOPT, ALTER, EXAMINE, JOIN, REMOVE, SCAN).

4. Блоки, які описують об'єкти апаратної категорії:

а) одноканальні пристрої (SEIZE, RELEASE, PREEMT, RETURN, FUNAVAIL, FAVAIL);

б) багатоканальні пристрої (ENTER, LEAVE, SAVAIL, SUNAVAIL);

в) ключі (логічні перемикачі) (LOGIC).

5. Блоки, які зберігають необхідні значення для того, щоб використати їх пізніше (SAVEVALUE, MSAVEVALUE).

6. Блоки, які забезпечують отримання статистичних результатів:

а) черги (QUEUE, DEPART);

б) таблиці (TABULATE).

7. Блоки для організації списку користувача (LINK, UNLINK).

8. Блоки для організації введення-виведення:

а) відкриття/закриття файла (OPEN/CLOSE);

б) зчитування/запис у файл (READ/WRITE);

г) встановлення позиції поточного рядка (SEEK).

9. Спеціальні блоки (BUFFER, COUNT, EXECUTE, INTEGRATION, SELECT, TRACE, UNTRACE).

Об'єкти апаратної категорії – це абстрактні елементи, на які можна здійснити декомпозицію (поділ) устаткування реальної системи. Діючи на ці об'єкти, транзакти можуть змінювати їхній стан і впливати на рух інших транзактів. До об'єктів цього типу належать одноканальні пристрої, багатоканальні пристрої та логічні ключі.

Одноканальні пристрої (пристрої) – це устаткування, яке в будь-який момент часу може займати лише один транзакт. Наприклад, один канал зв'язку, каса продажу квитків з одним віконцем, один телефон-автомат тощо.

Багатоканальні пристрої (БКП) призначені для імітації устаткування, яке здійснює паралельне обслуговування, тобто може одночасно обслуговувати кілька транзактів. БКП можна використовувати як аналог, наприклад, багатоканальної ремонтної майстерні, квиткових кас з кількома віконцями, телефонного переговорного пункту з кількома кабінами тощо.

Інколи події, які відбувалися в системі раніше, можуть заблокувати, змінити рух транзактів і настання найближчих подій. Наприклад, якщо один канал зв'язку вийшов з ладу, то всі наступні замовлення на передавання повідомлень потрібно перенаправити на інші канали зв'язку. Для моделювання таких ситуацій використовують *логічні ключі*. Транзакт може встановлювати ці ключі в позиції "увімкнено" або "вимкнено". Пізніше стан ключів можуть перевіряти інші транзакти для визначення шляху їхнього руху.

Обчислювальна категорія призначена для опису таких ситуацій у процесі моделювання, коли зв'язки між компонентами системи найпростіше і компактно виражаються у вигляді математичних (аналітичних і логічних) співвідношень. З цією метою об'єктами обчислювальної категорії введені арифметичні та булеві змінні і функції.

Змінні – це складні вирази, які містять константи, стандартні числові атрибути (СЧА), бібліотечні арифметичні функції, арифметичні та логічні операції.

Вирази можна застосовувати у змінних і в операторах GPSS. У першому випадку вирази визначають командами GPSS, у другому їх визначають як частину мови PLUS.

Кожному об'єкту відповідають атрибути, які описують його стан у певний момент часу. До них є доступ для використання протягом всього процесу моделювання; їх *називають стандартними (системними) числовими атрибутами (СЧА)*. Усього в GPSS World є понад 50 СЧА.

Булеві змінні дають змогу користувачеві перевіряти в одному блоці GPSS одночасно кілька умов, враховуючи стан або значення цих умов та їхніх атрибутів, тобто в даному блоці здійснюється звертання до булевої змінної, вираз якої містить у собі перевірку кількох умов. Булеві змінні можуть мати вигляд комбінації стандартних числових атрибутів, пов'язаних між собою за допомогою булевих операторів, охоплюючи й інші змінні. Булеві змінні визначають так само, як і арифметичні, але замість арифметичних операцій перевіряються різноманітні логічні умови.

За допомогою *функцій* користувач може здійснювати обчислення неперервних або дискретних функціональних залежностей між аргументом функції (незалежна величина) і залежним значенням функції. Усі функції в GPSS задають табличним способом за допомогою команд опису функцій. Як і змінні, функції не зв'язані з певними блоками.

Крім бібліотечних арифметичних функцій, GPSS World має 24 вмонтованих *генератори випадкових чисел*.

Об'єкти запам'ятовуючої категорії забезпечують звертання до збережених значень. Комірки збережених величин і матриці комірок збережених величин використовують для зберігання деякої числової інформації. Наприклад, значення, занесене в комірку, може бути коефіцієнтом використання пристрою у певний момент часу. Будь-який активний транзакт здійснює запис інформації у ці об'єкти. Пізніше записану в ці об'єкти інформацію зчитує будь-який транзакт. Матриці мають до шести вимірів.

До **статистичних об'єктів** належать черги і таблиці. У будь-якій системі рух потоку транзактів може бути зупинений через недоступність пристроїв. Наприклад, потрібний пристрій може бути вже зайнятим або БКП, до якого треба увійти, вже заповнений. У цьому випадку затримані транзакти можуть бути поставлені в чергу – ще один тип об'єктів GPSS. Облік цих черг – одна з головних функцій планувальника. Планувальник автоматично накопичує певну статистику стосовно пристроїв і черг. Крім того, користувач може збирати додаткову статистичну інформацію, вказавши спеціальні точки в моделі.

Для полегшення табулювання статистичної інформації в GPSS передбачено спеціальний об'єкт – таблицю. Таблиці використовують для отримання вибірових розподілів деяких випадкових величин. Таблицю

складають з частотних класів (діапазонів значень), куди записують число, яке дорівнює кількості потраплянь конкретного числового атрибута до кожного, того чи іншого, частотного класу. Для кожної таблиці обчислюють також математичне очікування і середнє квадратичне відхилення. Ця статистика є стандартною для всіх таблиць.

До **групуючої категорії** належать три типи об'єктів: числова група, група транзактів і списки.

У деяких моделях транзакти є об'єктами, що характеризуються спільними СЧА, які зазвичай зображають як параметри транзакта і змінюються під час проходження транзактів через блок ASSIGN. Однак це обмежує доступ до атрибутів, а інколи доводиться одночасно змінювати деякі атрибути всіх транзактів цієї множини. Об'єкти такого типу дають змогу користувачеві звертатися до атрибутів транзактів даної групи. Вони працюють в одному з режимів: у режимі транзакта або числовому. Режим визначають першим звертанням до певної групи. У режимі транзакта величини, які надходять до групи, зображають номерами за чергою транзактів даної групи. У другому режимі величини, які надходять, зображають групою числових значень.

Списки. У GPSS-моделі кожен транзакт розглядається як елемент одного або декількох списків. У GPSS існують списки: поточних подій; майбутніх подій; користувача; переривання; парності. Є тільки один список поточних й один список майбутніх подій. У загальному випадку може існувати більш ніж один список користувача, список переривання й список парності.

Список поточних подій (СПП). У цьому списку перебувають транзакти, що відповідають подіям, час настання яких менше або дорівнює поточному часу. Транзакти розміщуються в порядку зменшення їхнього пріоритету; у середині класу транзактів з однаковим пріоритетом вони розміщуються в порядку надходження їх у список. Кожний транзакт може перебувати або в активному стані (переглядатися планувальником в поточний момент часу), або у стані затримки. Якщо транзакт перебуває в активному стані, то планувальник, здійснюючи перегляд, робить спробу просунути цей транзакт у наступний блок. Якщо рух транзакта блокується якимсь пристроєм, то вхід у наступні блоки виконати неможливо, транзакт переводиться у стан затримки і поміщається у відповідний список затримки.

Списки затримки – це списки транзактів, що чекають зміни стану пристрою. Як тільки пристрій звільняється, всі транзакти списку затримки для даного пристрою переводяться в активний стан.

Список майбутніх подій (СМП). Містить транзакти, що відповідають подіям, час настання яких перевищує поточний час. Транзакти розміщені строго в порядку збільшення часу початку руху. Пріоритети транзактів не впливають на порядок розміщення в цьому списку.

Списки користувача. Містять тимчасово неактивні транзакти, виведені користувачем зі списку поточних подій. Списки користувача використовують для організації черг з усіма дисциплінами обслуговування, крім дисципліни "першим прийшов – першим обслугований".

Списки переривань. Містять транзакти, обслуговування яких перервано на одному або більше пристроях. Транзакти у списках переривань розміщуються в порядку надходження. Усі транзакти, що зайняли пристрої, і перервані іншими транзактами, поміщаються в ці списки доти, поки не будуть зняті всі умови переривання. Якщо ці умови не знімаються, то транзакт може залишатися в списку переривань необмежено довго.

Списки парності. Містять транзакти, що очікують у блоках ASSEMBLE або GATHER надходження заданого числа транзактів з тієї ж самої родини й перебувають у блоках MATCH, чекаючи транзакт з тієї ж самої родини на сполучений блок MATCH. Ці списки є підборами набору транзактів системи.

Пристрій має:

список відкладених переривань – список транзактів, які є у черзі до пристрою за пріоритетом;

список переривань – список транзактів, обслуговування яких цим пристроєм було перерване;

список затримки – список транзактів, які перебувають у черзі до пристрою в порядку пріоритету;

список повторних спроб – список транзактів, які очікують зміни стану пристрою.

Багатоканальний пристрій має:

список затримки – список транзактів у порядку пріоритету, які очікують на можливість зайняти звільнені канали БКП;

список повторних спроб – список транзактів, що очікують зміни стану БКП.

До списку повторних спроб належать транзакти, для яких не виконані умови входження в наступний блок. Ці умови перевіряються під час спроби входження транзакта в блоки GATE, TEST, TRANSFER ALL і

TRANSFER BOTH. Транзакти зі списку повторних спроб чекають на зміну СЧА. Після цієї зміни транзакт активується і перевіряються умови входження його в наступний блок. Якщо умови виконуються, транзакт входить в наступний блок й автоматично вилучається зі списку повторних спроб.

Модельний час. Кожне просування транзакта в моделі є подією, яка повинна відбутися в певний момент модельного часу. Для того щоб підтримувати правильну послідовність подій у часі, планувальник має таймер модельного часу, який автоматично корегується відповідно до логіки, визначеної моделлю. Таймер GPSS має такі особливості:

реєструються лише додатні дійсні значення часу;

одиночку модельного часу (масштаб) визначає розробник моделі, який задає всі часові інтервали в одних і тих самих одиницях;

планувальник не аналізує стан моделі в кожному наступний момент модельного часу (який відрізняється від поточного на одиницю модельного часу), а просуває таймер до моменту часу, коли повинна відбутися найближча наступна подія.

23.5. Елементи логіки роботи інтерпретатора

Координація процесів у моделі забезпечується інтерпретатором GPSS – планувальником транзактів. Головним завданням, яке виконує планувальник (інтерпретатор), є визначення того, який транзакт потрібно вибрати наступним для просування в моделі, коли попередній транзакт припинив свій рух. З цією метою планувальник розглядає кожен транзакт як елемент деякого списку. Планувальник GPSS вводить транзакти залежно від умов у моделі до того чи іншого списку, проглядає списки, вибирає наступний транзакт для опрацювання, корегує таймер модельного часу після опрацювання всіх транзактів у списку поточних подій.

В основному логіка роботи планувальника стає зрозумілою з розгляду механізму відстежування шляху транзактів, що рухаються в моделі. Планувальник розглядає кожен транзакт як елемент одного або декількох списків. Кожен транзакт може бути представлений як ланка в списку. Списки є відкритими, а не замкнутими, отже, вони мають два кінці, початковий і кінцевий. Як елемент списку транзакт займає певне положення відносно початку списку. Положення транзакта у списку тісно пов'язане з тим, як скоро транзакт повинен знову повернутися в модель для продовження руху. Послідовність обробки, у свою чергу, тісно пов'язана з часом виникнення подій при виконанні моделювання.

Події ділять на три фази: зміна модельного часу, перегляд списку поточних подій, просування транзактів.

Фаза 1. Зміна значення модельного часу

Припустимо, що планувальник обслужив всі транзакти, які мають відбутися в даний момент часу. Далі планувальник повинен збільшити значення модельного часу так, щоб воно дорівнювало часу настання найближчої події в майбутньому. Оскільки у СМП транзакти розміщені в порядку зростання часу надходження, нове значення модельного часу дорівнює часу надходження першої події з СМП (кожному транзакту зі списку подій відповідає свій час настання події). Таким чином, планувальник встановлює значення модельного часу рівним часу настання події для першого транзакта з СМП. У цей момент фактично і змінюється модельний час. Проте планувальник повинен перевірити, чи немає ще інших подій, які мають відбутися в той же самий момент модельного часу. Для цього він перевіряє час настання події для наступного транзакта з СМП. Якщо час настання події для наступного транзакта дорівнює новому значенню поточного часу, то цей транзакт також переводиться на обробку в СПП, а планувальник переходить до аналізу часу настання події для наступного транзакта з СМП. Цей процес триває доти, поки у СМП не з'явиться транзакт, для якого час настання події перевищує поточне значення модельного часу, або поки в СМП не залишиться жодного транзакта. Закінчення перегляду транзактів з СМП показує, що всі транзакти, які необхідно обробити в даний момент модельного часу, переведені у СПП.

Алгоритм фази 1 наведено на рис. 9.1.



Рис. 9.1. Фаза 1. Зміна значення модельного часу

Фаза 2. Перегляд списку поточних подій

Вибравши всі потрібні транзакти з СМП, планувальник починає переглядати СПП. При цьому він намагається просунути всі транзакти, що перебувають в активному стані в СПП, і відповідним чином змінити стан моделі. Перш за все встановлюється в нуль "прапорець зміни стану", який показує, змінився чи не змінився стан якого-небудь пристрою в даний момент часу. Оскільки на початку обробки транзактів, що належать до нового значення модельного часу, ніякі зміни в стані пристрою відбутися ще не могли, прапорець встановлюється в нуль. Далі в результаті перегляду вибирають перші транзакти з СПП і перевіряють, чи встановлений в нуль індикатор перегляду даного транзакта. Індикатор перегляду показує, в якому стані перебуває даний транзакт: в активному чи у стані затримки. Якщо транзакт перебуває в активному стані, то планувальник робить спробу просунути його на стільки блоків, на скільки можливо, поки не зустрінуться блоки, що містять блокуючі умови або явно задану затримку в часі. Якщо ж транзакт перебуває у стані затримки через те, що рух транзакта заблокований станом пристрою (тобто транзакт перебуває у списку затримки) або якщо планувальник закінчив просування транзакта, обслуговується наступний транзакт з СПП.

Планувальник продовжує працювати таким чином до тих пір, поки не перегляне весь список. До цього час всі транзакти, що належать до даного моменту модельного часу, вже оброблені, і настає фаза зміни значення модельного часу.

Алгоритм фази 2 наведено на рис. 9.2.

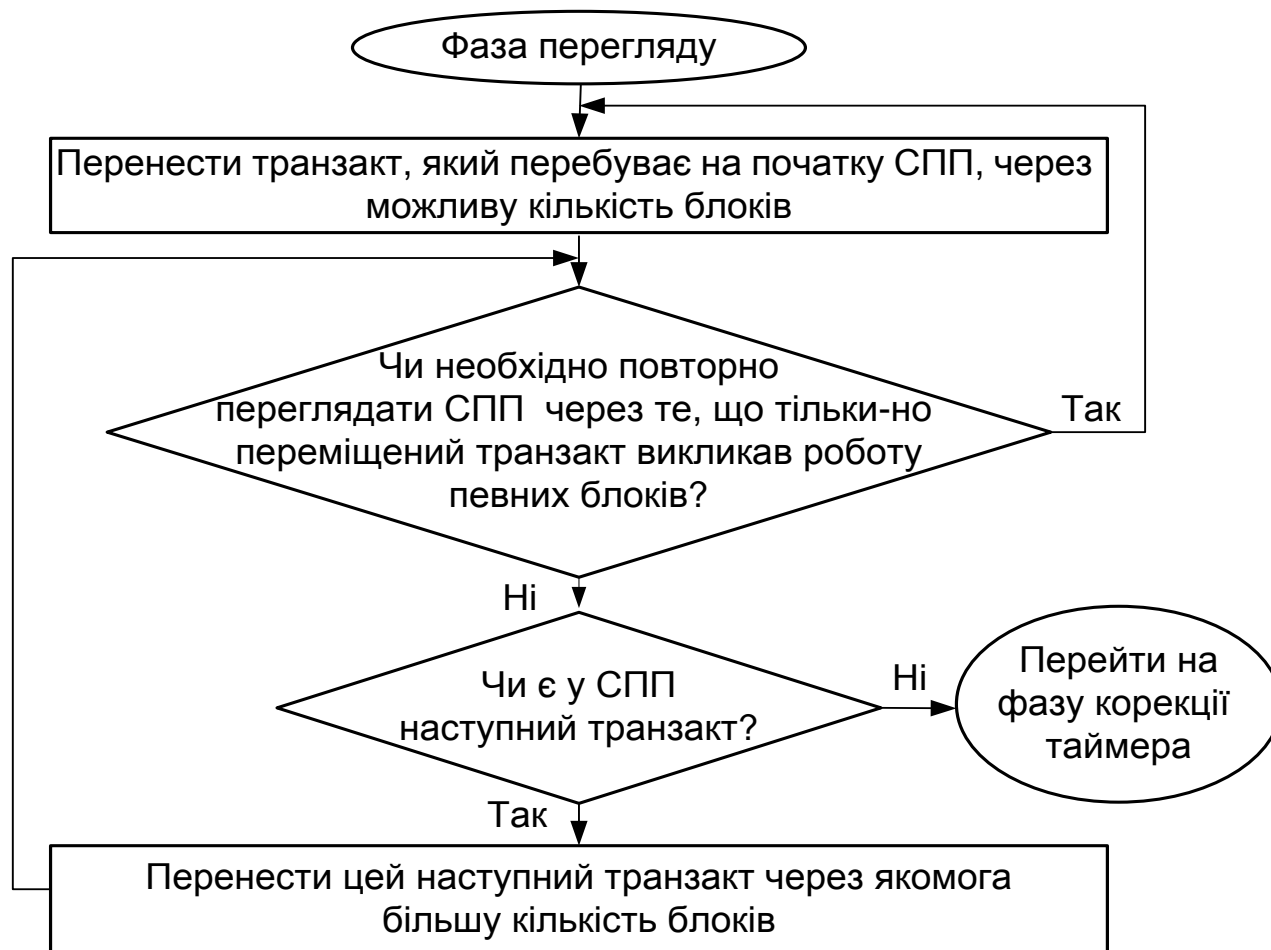


Рис. 9.2. **Фаза 2. Перегляд списку поточних подій**
Фаза 3. Просування транзактів

Як наголошувалося, якщо транзакт у СПП перебуває в активному стані, планувальник робить спробу просунути його. Якщо транзакт може рухатися, планувальник його рухає і виконує операції, відповідні блоку, який проходить транзакт. Після цього планувальник визначає, чи належить блок, до якого увійшов транзакт, до блоку типу BUFFER. Якщо належить, то планувальник негайно припиняє обробку транзакта і починає перегляд СПП.

Якщо блок, до якого увійшов транзакт, не є блоком типу BUFFER, планувальник перевіряє, чи не змінився стан пристрою у процесі виконання попереднього блоку. Якщо змінився, то планувальник встановлює в одиницю "прапорець зміни стану", а в нуль – індикатори перегляду для всіх транзактів, що перебувають у списку затримки, пов'язаному з відповідним пристроєм.

Якщо у блоці, що виконується, явно не задана затримка транзакта, планувальник відразу ж робить спробу просунути транзакт через наступний блок. Цей процес продовжується до тих пір, поки транзакт не отримує відмову при спробі увійти в блок, не зустрічає блок ADVANCE з явно заданою затримкою в часі або не знищується блоком TERMINATE чи ASSEMBLE.

Якщо рух транзакта блокується через стан пристрою, то індикатор перегляду для цього транзакта встановлюється в одиницю. Це означає, що транзакт перейшов у стан затримки. Транзакт поміщається у відповідний список затримки, і потім планувальник визначає, чи змінився стан пристрою у процесі обробки цього транзакта. Якщо рух транзакта припинений через задану для нього затримку в часі, він поміщається в СМП, і потім інтерпретатор також перевіряє, чи змінився стан пристрою.

Якщо під час обслуговування поточної активної події стан пристрою змінився, то перегляд починається спочатку, і знову обслуговуються всі транзакти СПП, що перебувають в активному стані. Якщо стан пристрою не змінився, то планувальник знову звертається до СПП і перевіряє, чи залишилися в ній транзакти, що вимагають обробки.

Описана послідовність виконується для кожного нового моменту модельного часу доти, поки лічильник завершення моделювання не буде дорівнювати нулю. Після виконання цієї умови моделювання припиняється.

Висновки

1. Імітаційні моделі описують об'єкт дослідження деякою мовою, імітуючи елементарні явища, з яких складається функціонування системи, зі збереженням їхньої логічної структури, послідовності протікання у часі, особливостей і складу інформації про стан процесу.

2. Застосування методів імітації для дослідження системи, формування імітаційної моделі ґрунтуються на використанні максимального обсягу доступної інформації про систему.

3. Метою теорії масового обслуговування є розробка математичних методів для відшукування основних показників процесів масового обслуговування, що характеризують якість функціонування системи масового обслуговування при різних варіантах її організації.

4. Система GPSS World призначена для імітаційного моделювання систем з дискретними та неперервними процесами. Проблемною областю GPSS є системи масового обслуговування.

Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення імітаційного моделювання. Назвіть основні принципи побудови імітаційних моделей.
2. Дайте визначення системи масового обслуговування. Назвіть її основні характеристики.
3. Класифікація СМО.
4. Показники якості функціонування СМО.
5. Мови моделювання дискретних процесів.
6. Особливості загальноцільової системи моделювання GPSS World.
7. Основні принципи роботи GPSS World.
8. Дайте визначення модельного часу.
9. Назвіть об'єкти в GPSS World. Дайте їх характеристику.
10. Поняття списків транзактів.
11. Елементи логіки роботи планувальника: зміна значення модельного часу, перегляд списку поточних подій, просування транзактів.