## 1.2. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СХЕМИ МОДЕЛЮЮЧОГО АЛГОРИТМУ ТА ПРИНЦИПИ, ЗАКЛАДЕНІ В ОСНОВУ ЙОГО МАШИННОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

### Класифікація моделюючих алгоритмів

Моделюючі алгоритми можна поділити на такі основні категорії:

- алгоритми з детермінованим кроком у часі. Рух часу виконується з фіксованим кроком, але процес зміни станів елементів структурної схеми розглядається в напрямку, протилежному до напрямку руху замовлення;
- алгоритми з випадковим кроком у часі, де часовий крок рахується до найближчої події. Ці алгоритми бувають синхронні та асинхронні.

Синхронні алгоритми характеризуються наявністю синхронного елемента, яким частіше всього виступає генератор замовлень. Алгоритм простежує рух замовлень від першої до останньої фази обслуговування. Наступний такт – прихід нових замовлень. Асинхронні алгоритми характеризуються відсутністю синхронного елемента.

Асинхронні алгоритми бувають циклічні та спорадичні.

В асинхронному циклічному алгоритму черговому кроку моделювання відповідає особливий стан, тобто момент закінчення обслуговування однієї із замовлень будь-яким каналом або момент надходження замовлень з джерела. При використанні такого принципу побудови моделюючого алгоритму доцільно процес зміни станів елементів при кожній найближчій події розглядати в напрямку, протилежному напрямку руху замовлень у системі. Це можна зробити, циклічно продивляючись на кожному кроці моделювання всі елементи схеми та визначаючи, які переходи замовлень з одного елементу в інший можуть мати місце.

В асинхронних спорадичних моделюючих алгоритмах, на відміну від циклічних, для кожного моменту системного часу $t_n$ проглядаються тільки ті елементи, які знаходяться у структурній схемі до елементу, що привів до зміни стану системи, і змінюють свій стан у цей момент часу, але вони розглядаються в напрямку, протилежному напрямку руху замовлень.

Розглянемо принципи побудови алгоритмів на конкретному прикладі [2].

На рис. 1.4 представлена трифазна схема ($L^{\Phi} = 3$) з блокуванням каналів за виходом в 1-й та 2-й фазах обслуговування (пунктирні лінії на рисунку). В якості виходячих потоків такої схеми можуть бути розглянуті потік втрачених замовлень з накопичувача $H_1$ та потік обслугованих замовлень з каналу $K_{3,1}$ ($N_1$ та $N_3$ на рис. 1.4).

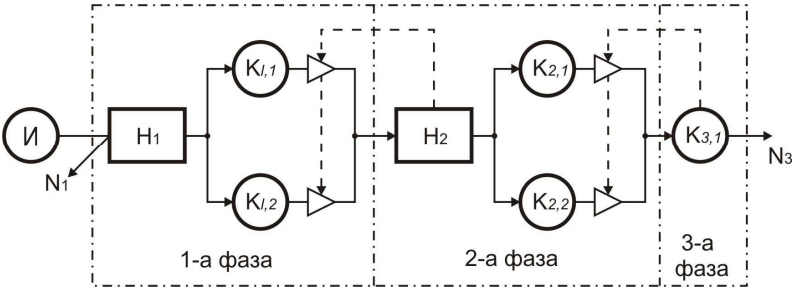


**Рис. 1.4.** Приклад схеми загального вигляду

Для імітаційної моделі, що розглядається, можна записати наступні змінні та рівняння [2]:

- ендогенна змінна: $P$ – ймовірність втрати замовлень;
- екзогенні змінні: $t_m$ – час появи чергового замовлення з джерела;
- $t_{k,j}$ – час закінчення обслуговування каналом $K_{k,j}$ чергового замовлення, $k$ = 1, 2, 3 номер фази обслуговування; $j$ = 1, 2 номер каналу;
- допоміжні змінні: $z_i$ та $z_{k,j}$ – стани накопичувачів $H_i$ та каналів $K_{k,j}$, $i$ = 1, 2; $k$ = 1, 2, 3; $j$ = 1, 2;
- параметри: $L_i$ – ємність $i$-го накопичувача $H_i$; $L_k^K$ – число каналів у $k$-й фазі; $L_1^K = 2$, $L_2^K = 2$, $L_3^K = 1$;
- змінні стану: $N_1$ – число втрачених замовлень в $H_1$, $N_3$ – число обслугованих замовлень, тобто тих, які вийшли з 3-ї фази;
- рівняння моделі: $P = N_1/(N_1 + N_3) = N_1/N$.

При імітації процесу функціонування на ЕОМ потрібно організувати масив станів. У цьому масиві повинні бути виділені: підмасив К для запам'ятовування поточних значень $z_{k\,j}$ відповідних каналів $K_{k,\,j}$ та часу закінчення обслуговування чергового замовлення $t_{k,\,j}$, у $j$-му каналі $k$-ї фази $j = 1...L_k^K$, підмасив $H$ для запису поточного значення $z_i$ відповідних накопичувачів $H_i$, $i$ = 1, 2; підмасив $И$, в який записується час надходження чергової заявки $t_m$ з джерела ($И$).

Процедура моделювання процесу обслуговування кожним елементарним каналом $K_{k,\,j}$ зводиться до наступного. Шляхом звертання до генератора випадкових чисел із законом розподілу, відповідним обслуговуванню замовлення $K_{k,\,j}$, отримується тривалість часу обслуговування та рахується момент закінчення обслуговування $t_{k,\,j}$, а потім фіксується стан каналу: при занятому каналі $z_{k,j} = 1$; при звільненому – $z_{k,j} = 0$; у випадку блокування каналу записується $z_{k,j} = 2$. При надходженні замовлення в накопичувач $H_i$ до його змісту додається одиниця, тобто $z_i = z_i + 1$, а при відході заявки з $H_i$ на обслуговування віднімається одиниця, тобто $z_i = z_i - 1$, $i$ = 1, 2.

**Детермінований моделюючий алгоритм**

Узагальнена схема детермінованого моделюючого алгоритму системи, тобто алгоритму, побудованого за «принципом $\Delta t$», представлена на рис. 1.5.

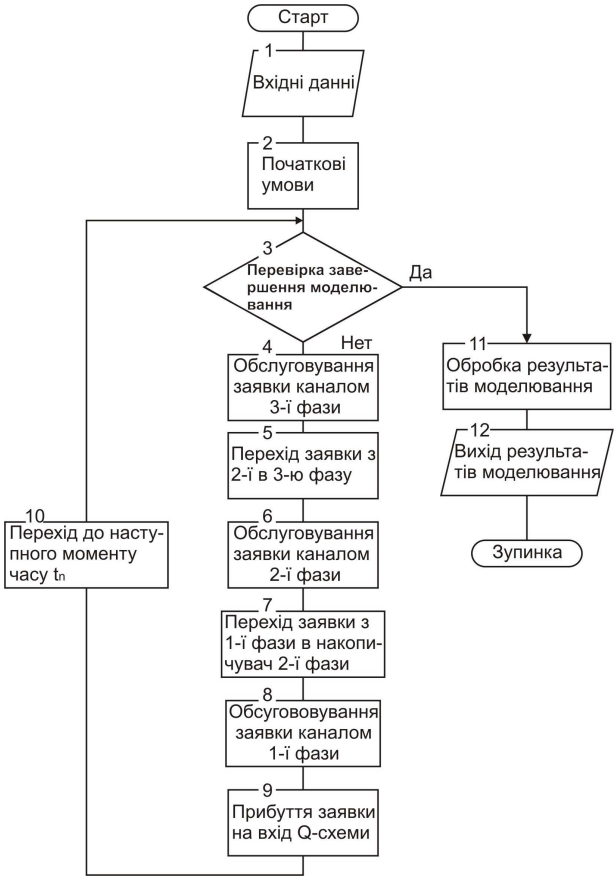


**Рис. 1.5.** Збільшена схема детермінованого моделюючого алгоритму схеми

Специфіка наявності сталого кроку $\Delta t$ дозволяє оформити «годинник» системного часу у вигляді автономного блоку 10. Цей блок служить для відліку системного часу, тобто для обчислення $t_n = t_{n-1} + \Delta t$. Для визначення моменту зупинки при моделюванні схеми (за числом реалізацій $N$

чи за довжиною інтервалу часу моделювання $T$) проводиться перевірка відповідних умов (блок 3). Робота допоміжних блоків – введення вихідних даних 1, установки початкових умов 2, обробки 11 та виведення результатів моделювання 12 – не відрізняється за своїм змістом від аналогічних блоків, які використовуються в алгоритмах обчислень на ЕОМ. Тому зупинимося більш детально на розгляді роботи тієї частини моделюючого алгоритму, яка відображає специфіку детермінованого підходу (блоки 4-9).

Процедура обслуговування замовлень каналами $K_{k,j}$ оформлена у вигляді підпрограми, яка дозволяє звернутися до генератора випадкових чисел із відповідним даному каналу $K_{k,j}$ законом розподілу ймовірності і генерує тривалість інтервалу обслуговування чергового замовлення $t_{k,j}$. Процедура генерації замовлень джерелом ($И$) оформлена також у вигляді підпрограми, яка визначає момент надходження чергового замовлення $t_m$ в схему.

Закінчення обслуговування замовлення в деякому каналі $K_{k,j}$ у момент часу $t_n$ може викликати процес розповсюдження змін станів елементів («особливих станів») системи у напрямку, протилежному руху замовлення у системі, тому всі накопичувачі та канали системи повинні проглядатися при моделюванні, починаючи з каналу останньої фази, який обслуговує, за напрямком до накопичувача 1-ї фази (рис. 1.4).

### Синхронний моделюючий алгоритм

Розглянемо особливості побудови моделюючих алгоритмів тієї ж схеми, структура якої приведена на рис. 1.4, за «принципом $\Delta x$». Спочатку побудуємо синхронний моделюючий алгоритм, причому для визначеності приймемо у якості синхронізуючого елементу джерело (И), тобто $t_n = t_m$. У момент $t_n$, тобто на $n$-му кроці моделювання, на вхід 1-ї фази схеми надходить чергове замовлення з джерела. З моменту $t_{n-1}$ до моменту $t_n$ у схемі могли відбутися зміни станів $H_1$ та $K_{1,j}$, якщо в інтервалі ($t_{n-1}$, $t_n$), або могло закінчитись обслуговування в каналах першої фази, або могли звільнитися канали другої фази. Ці зміни необхідно промоделювати раніше, ніж надходження замовлень у цю фазу в $t_n$. Це справедливо і для решти фаз схеми: необхідно моделювати всі зміни станів $k$-ї фази до надходження в k-у фазу замовлень з ($k$ – 1)-ї фази (в цьому випадку 0-ва фаза еквівалентна $И$).

Каналом $K^*_{k,j}$, який має мінімальний час закінчення обслуговування, являється той, для якого:

$$t_{k,j} = \min_j \bar{t}_{k,j},$$

де $\bar{t}_{k,j} = \begin{cases} t_{k,j}, \text{ якщо } z_{k,j} = 1; \\ 0, \text{ якщо } z_{k,j}(t_{n-1}) = 2. \end{cases}$

Збільшена схема синхронного моделюючого алгоритму представлена на рис. 1.6. Робота більшості блоків цієї схеми аналогічна детально розглянутій схемі детермінованого моделюючого алгоритму. Тому зупинимося більш детально тільки на взаємодії синхронізуючого елементу, тобто джерела (*И*) з рештою схеми, отже, розглянемо роботу блоку 6, імітуючого запис замовлення з вхідного потоку в накопичувач $H_1$, або прийом на обслуговування в один із каналів 1-ї фази (рис. 1.6).

Перевіряється наявність вільних каналів 1-ї фази. Якщо серед каналів 1-ї фази $K_{1,j}$ є вільні, то вибирається один з них та імітується обслуговування, тобто визначається час закінчення обслуговування в цьому каналі, потім фіксується його новий стан та здійснюється перехід до наступного кроку. Якщо ж обидва канали 1-ї фази зайняті, то перевіряється, чи є вільні місця у накопичувачі $H_1$ цієї фази. Якщо вільні місця є, то імітується запис заявки в $H_1$, а у протилежному випадку фіксується втрата замовлення.

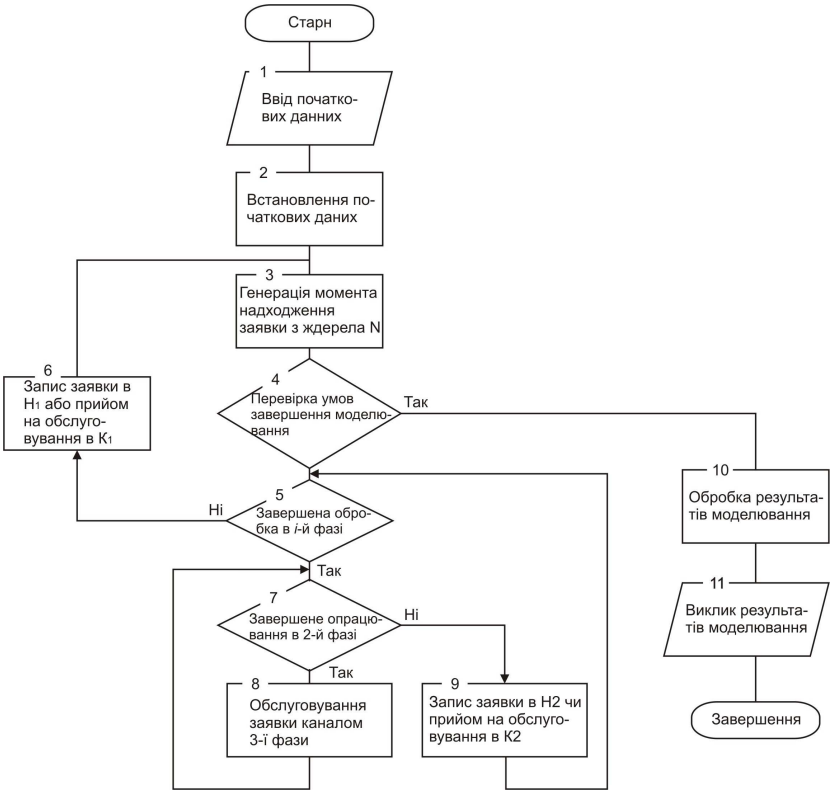


**Рис. 1.6.** Збільшена схема синхронного моделюючого алгоритму

**Асинхронний моделюючий алгоритм**

Розглянемо особливості побудови асинхронного моделюючого алгоритму, який відрізняється від синхронного відсутністю провідного (синхронізуючого) елементу, причому черговому кроку моделювання відповідає особливий стан, тобто момент закінчення обслуговування однієї із замовлення будь-яким каналом або момент надходження замовлення з джерела. При використанні такого принципу побудови моделюючого алгоритму доцільно процес зміни станів елементів схеми розглядати в напрямку, протилежному напрямку руху замовлень в системі. Це можна зробити, циклічно продивляючись на кожному кроці моделювання всі елементи схеми та визначаючи, які переходи замовлення з одного елементу в інший можуть мати місце часу. Такий асинхронний циклічний моделюючий алгоритм у плані перегляду станів елементів схеми є тотожним детермінованому моделюючому алгоритму, який приведений на рис. 1.5. Різниця полягає лише у тому, що відлік системного часу проводиться наступним чином: $t_n = \min(\min\limits_{k,\,j} t_{k,\,j}, \min\limits_{m} t_m)$.

Тобто час чергового кроку визначається як мінімум з мінімальних часів закінчення початого обслуговування усіма каналами кожних фаз схеми та мінімального часу надходження чергових замовлень з джерела. В силу вказаних причин не будемо докладно зупинятися на розгляді асинхронного циклічного моделюючого алгоритму. Збільшена схема приведена на рис. 1.7.

В асинхронних спорадичних моделюючих алгоритмах, на відміну від циклічних, для кожного моменту системного часу $t_n$ проглядаються тільки ті елементи схеми, які змінюють свій стан унаслідок події, що відбулась у цей момент часу. Моделювання процесу розповсюдження змін станів елементів схеми відбувається в напрямку, протилежному напрямку руху. Системний час – це мінімальний час звільнення каналу $K_{k,\,j}$ або час до надходження нової заявки з *И*:

$$t_n = \min(\min\limits_{k,\,j} t_{k,\,j}, t_m).$$

Збільшена схема асинхронного спорадичного моделюючого алгоритму, який реалізує «принцип $\Delta x$», показана на рис. 1.8.

Таким чином, у результаті роботи блоку 3 час $t = t_m$, якщо найближчою подією являється надходження з джерела; і $t = t_{k,\,j}$ та визначаються $k$ та $j$, якщо найближчою подією являється звільнення $k$-го каналу та $j$-фази схеми. В системі необхідно відслідковувати ланцюжок розблокувань у випадку звільнення каналів, тобто розглядати, чи викличе звільнення $K_{k,\,\text{j}}$ розблокування $K_{k\text{-}1,\,j}$, звільнення $K_{k\text{-}1,\,j}$ розблокування $K_{k\text{-}2,\,j}$ і т. д.

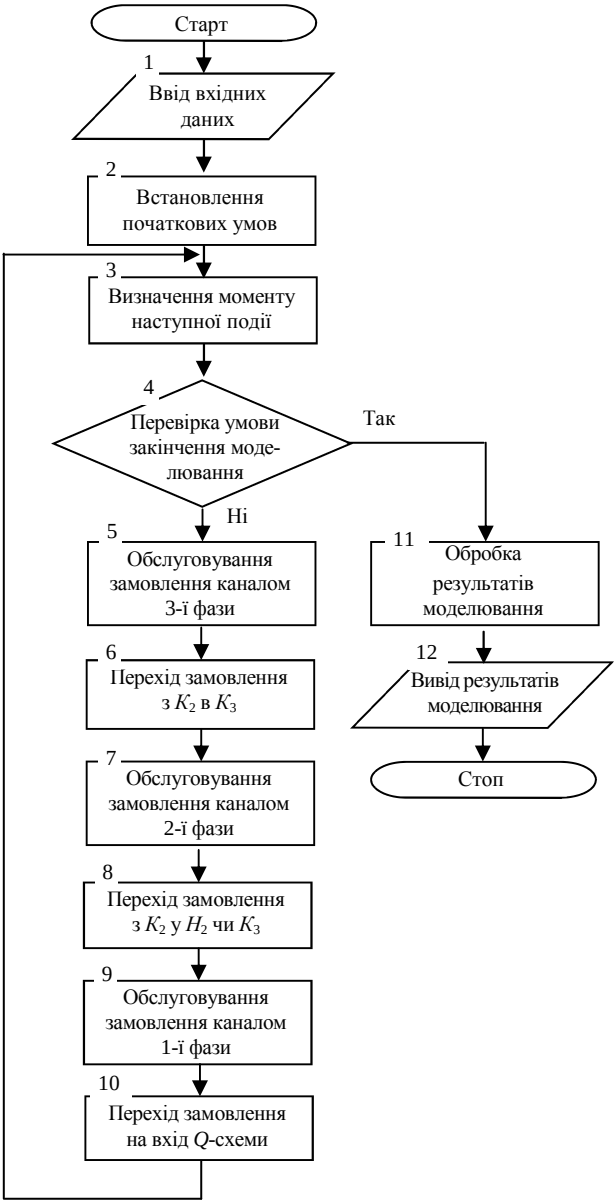


**Рис. 1.7.** Збільшена схема асинхронного циклічного моделюючого алгоритму

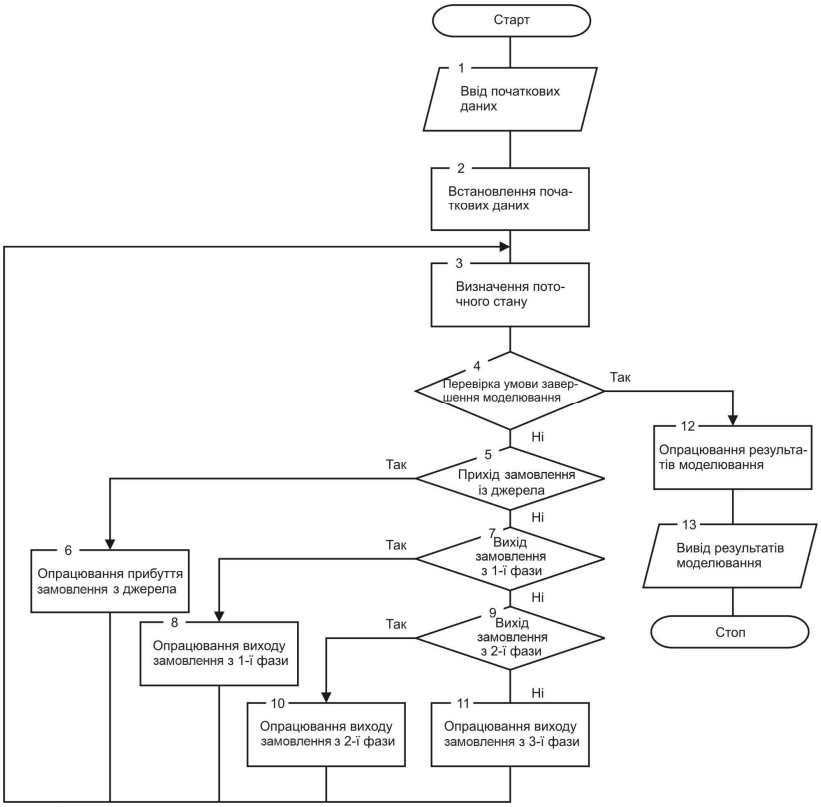


**Рис. 1.8.** Збільшена схема асинхронного спорадичного моделюючого алгоритму

*Системний час* – це мінімальний час звільнення каналу $K_{k,\,j}$ або час до надходження нової заявки з $И$:

$$t_n = \min(\min_{k,\,j} t_{k,\,j}, t_m).$$

Розглянуті алгоритми моделювання багатофазної багатоканальної схеми, звичайно, за своєю загальністю не охоплюють усіх тих різновидів схеми, які застосовують у практиці аналізу та синтезу систем. Однак ці конкретні приклади моделювання дозволяють за деталями ознайомитись з основними принципами побудови моделюючих алгоритмів таких систем, причому ці принципи інваріантні до вигляду та важкості моделюючої системи.

**Контрольні питання**

1. Які основні керуючі алгоритми в імітаційному моделюванні ви знаєте?
2. Асинхронні алгоритми організації керуючого алгоритму з кроком до події при імітаційному моделюванні.
3. Синхронний алгоритм організації керуючого алгоритму з кроком до події при імітаційним моделюванні.
4. Алгоритм організації керуючого алгоритму з фіксованим кроком при імітаційному моделюванні.