

УДК 007.51

А. М. Дзінько, Л. С. Ямпольський

## МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ НА БАЗІ ДИСКРЕТНО-СТОХАСТИЧНОГО ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

*Анотація:* розроблена програмна реалізація моделі керування матеріальними потоками на базі функції диспетчеризації матеріальних потоків з використанням дискретно-стохастичного динамічного програмування. Проведені експериментальні дослідження розробки на декількох моделях логістичних систем різного ступеня складності їх структури.

*Ключові слова:* логістична система, мультиагентна система, інтелектуальний агент, дискретно-стахастичне динамічне програмування.

### Вступ

На сьогодні немає розробленого комплексного підходу до моделювання руху матеріальних потоків (МП) в логістичних системах (ЛС), який, з одного боку, дозволяв би описувати рух МП на всіх рівнях ЛС, а з іншого, – дозволяв би виконувати певні задачі оптимізації виконання логістичних функцій таким чином, щоб враховувати властивості МП на різних ієрархічних рівнях системи, адже МП, хоча й мають однаковий фізичний зміст, проте можуть володіти різними властивостями на різних ієрархічних рівнях ЛС [2].

В даній статті пропонується алгоритм диспетчеризації матеріальних потоків, розробка якого може слугувати одним з прикладів реалізації комплексного підходу до моделювання руху МП в ЛС.

### Постановка задачі

Метою роботи було на базі аналітичного представлення функції диспетчеризації матеріальних потоків створити алгоритм, що виконує комп'ютерне моделювання ходу прийняття рішень в процесі керування МП.

Для перевірки працездатності розробленого алгоритмічного втілення функції диспетчеризації МП пропонується імітаційна модель, яка базується на методах дискретно-стахастичного динамічного програмування [4].

## Опис розробленого алгоритму диспетчеризації МП в ЛС

На базі аналітичного представлення функції диспетчеризації матеріальних потоків [1, 4] розроблений алгоритм DISP\*, що виконує комп'ютерне моделювання ходу прийняття рішень в процесі керування МП.

Алгоритм пошуку DISP\* знаходить оптимальний за корисністю шлях між двома станами ЛС, представленими вершинами графу. В залежності від функції вартості, яка задає кожному ребру його «вагу», оптимальність може означати найкоротший, найшвидший або навіть найпростіший шлях, що залежить від конкретної цільової функції інтелектуального агента-диспетчера. Теоретично алгоритм може розв'язувати всі задачі, які існують в рамках здійснення диспетчеризації матеріальних потоків [2, 3].

```

program DISP
  openlist.enqueue(startknote, 0)
  repeat
    currentNode := openlist.removeMin()
    if currentNode == endknote then
      return PathFound
    expandNode(currentNode)
    closedlist.add(currentNode)
  until openlist.isEmpty()
  return NoPathFound

function expandNode(currentNode)
  foreach successor of currentNode
    if closedlist.contains(successor) then
      continue
    tentative_g = g(currentNode) + C(currentNode, successor)
    if openlist.contains(successor) and tentative_g >= G[successor] then
      continue
    successor.predecessor := currentNode
    g[successor] = tentative_g
    f := tentative_g + C(successor)
    if openlist.contains(successor) then
      openlist.decreaseKey(successor, f)
    else
      openlist.enqueue(successor, f)

```

Алгоритм DISP\* використовується як для планування поведінки при мінімізації відхилення від оперативного плану, так і при пошуку нового стаціонарного стану ЛС.

Основним недоліком алгоритму DISP\* є потреба в пам'яті для збереження всіх відомих та досліджених вершин. Через це алгоритм DISP\* непридатний для багатьох задач. Таким чином, його неможливо буде застосовувати в реальному часі, де потрібно моделювати велику (більше 1000) кількість станів інтелектуального агента. В якості тестової логістичної системи була обрана автоматизована ділянка гнучкої виробничої системи.

### Перевірка працездатності розробленого алгоритму DISP\*

Для виконання імітаційного моделювання роботи системи та розроблених в рамках даної роботи алгоритмів застосована мова програмування загального призначення Python, а комп'ютерна модель та майже все алгоритмічне забезпечення було запрограмоване власноруч.

Перевірка працездатності розробленого алгоритму диспетчеризації проводилася за результатами серії експериментів, кожен з яких складається з наступних кроків:

#### 1. Обрання тестової структури модельованої логістичної системи.

Тестова структура подається у вигляді структурної моделі потокоутворюючих блоків ЛС зі шляхом проходження матеріальних потоків у вигляді графа (рис. 1).

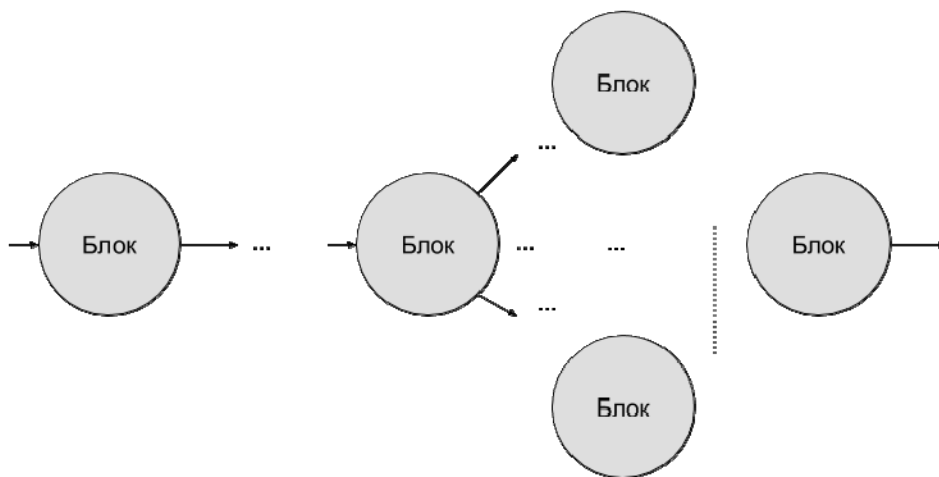


Рис. 1. – Приклад тестової структури ЛС

Кожному блоку присвоюються наступні характеристики: час обробки заявки, можливість заміни одного блоку іншими в структурі (що здатні виконувати такі ж функції), вхідні та вихідні напрямки руху МП.

2. Виконання імітації процесу руху матеріальних потоків в логістичній системі згідно запланованого режиму роботи з фіксацією в кожен момент часу кількості вимог, що пройшли через систему від входу до виходу.

3. Виділення певної гіпотетичної ситуації, що призводить до відхилення ходу виробництва від оперативного плану (наприклад, виключення з системи одного з потокоутворюючих блоків, моделюючи, таким чином, вихід з ладу обробляючого ресурсу ГВС), а також задання моменту часу виникнення цієї ситуації.

4. Застосування до імітаційної моделі класичного алгоритму диспетчеризації МП з одночасною фіксацією в кожен момент часу кількості заявок, що пройшли через систему від входу до виходу. Оскільки в якості тестових систем використовуються ділянки ГВС, був обраний широко застосовуваний алгоритм прямої диспетчеризації.

5. Застосування до імітаційної моделі алгоритму диспетчеризації матеріальних потоків шляхом зворотної корекції пріоритетів з фіксацією в кожен момент часу кількості заявок, що пройшли через систему від входу до виходу. Результати фіксації заносять до таблиці зі структурою (табл. 1), в якій:  $K_{pn}$  – кількість заявок, що повинні пройти систему від входу до виходу в момент часу  $t$  згідно оперативного плану;  $K_{dt}$  – кількість заявок в момент часу  $t$ , що пройшли систему при застосуванні методу прямої диспетчеризації;  $K_{DISPt}$  – кількість заявок в момент часу  $t$ , що пройшли систему при застосуванні розробленого методу диспетчеризації.

6. Виконання порівняння здатності алгоритмів до виконання корекції оперативних планів виробництва шляхом здійснення диспетчеризації матеріальних потоків. Поточний етап здійснюється шляхом накладання графіків відхилень від оперативного плану випуску продукції, побудованих на базі даних, отриманих в результаті імітаційного моделювання під час виконання пунктів 2, 4, та 5 [5, 6].

Таблиця 1

Структура таблиці результатів імітаційних експериментів

Час	Плановий прохід	Пряма диспетчеризація	Розроблений алгоритм диспетчеризації МП
0	$K_{p0}$	$K_{d0}$	$K_{DISP0}$
1	$K_{p1}$	$K_{d1}$	$K_{DISP1}$
...	...	...	...
$t$	$K_{pt}$	$K_{dt}$	$K_{DISPt}$
...	...	...	...
$T$	$K_{pT}$	$K_{dT}$	$K_{DISPT}$

7. Проведення аналізу отриманих результатів та формування висновків про працездатність та ефективність рішень, отриманих в процесі виконання наукового дослідження.

Експериментальні дослідження виконувались на двох наступних моделях тесових систем широкоуживаних виробничих структур:

1) ГВС з однорядним розміщенням станків, внутрішнім міжопераційним складом-накопичувачем, та роботою одного автоматизованого транспортного модуля (рис. 2, а);

2) ГВС з однорядним розміщенням станків, зовнішнім міжопераційним складом-накопичувачем та послідовно-паралельною роботою двох автоматизованих транспортних модулів (рис. 2, б).

В якості ситуацій, що призводять до відхилення від оперативного плану роботи системи, були змодельовані наступні:

1) виключення зі структури системи виробничого модуля 2 (рис. 2, а) в момент часу 120;

2) виключення зі структури системи виробничих модулів 3 та 8 (рис. 2, б) в момент часу 120.

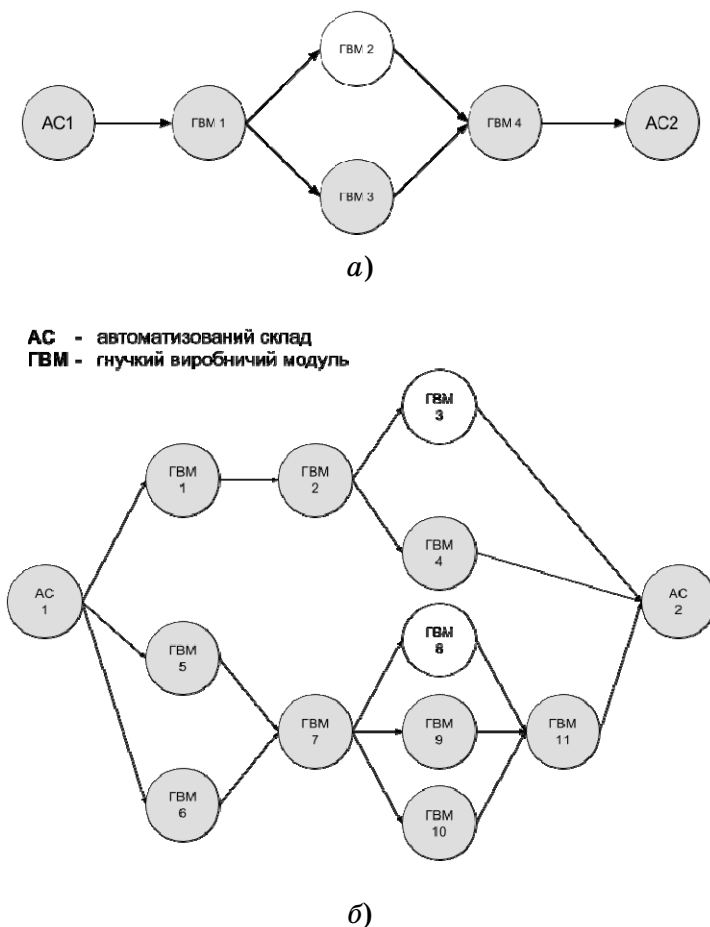


Рис. 2. Структури експериментальних моделей ЛС

В результаті проведення імітації роботи системи (згідно з вищеописаними пунктами 4 та 5) побудовані таблиці експериментальних даних.

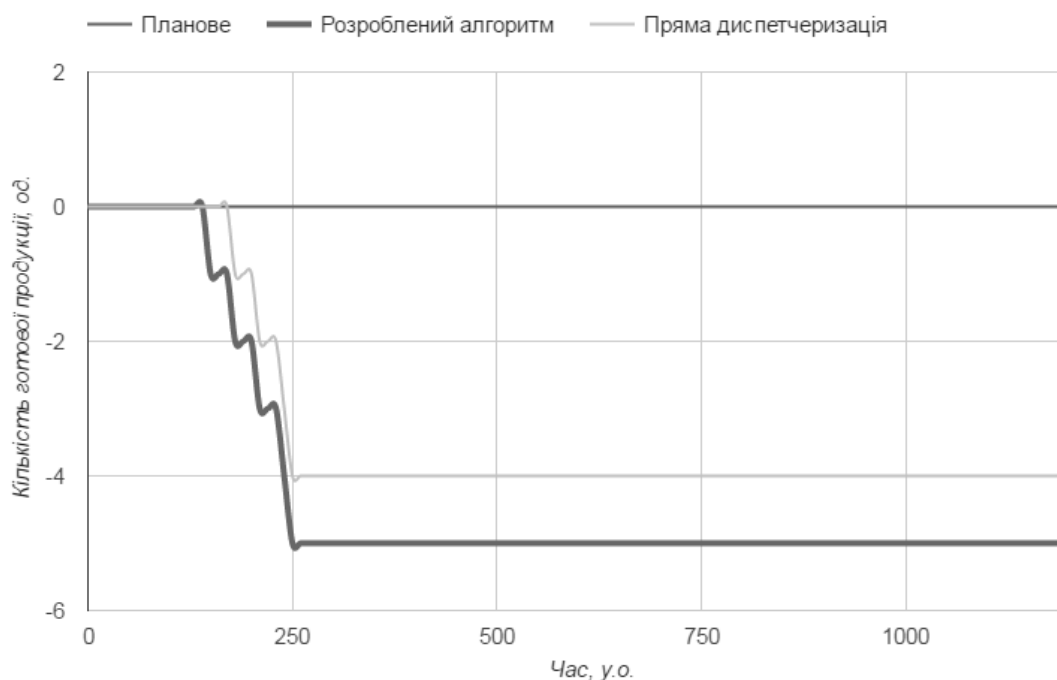
Нижче наведена таблиця з даними, отриманими в ході виконання експериментів на імітаційній моделі для ГВС, структура якої зображена на рис. 4, б (табл. 2).

Таблиця 2

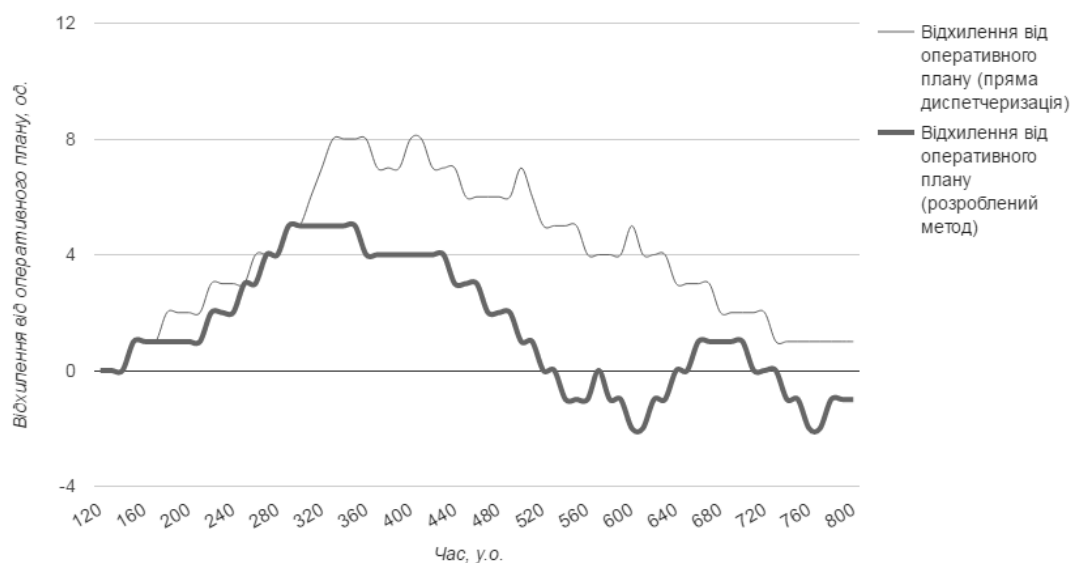
**Таблиця результатів імітаційних експериментів**

Час	Плановий прохід	Пряма диспетчеризація	Розроблений алгоритм диспетчеризації МП
...	...	...	....
176	11	9	10
177	11	9	10
178	11	9	10
179	12	10	11
180	12	10	11
181	12	10	11
...	...	...	...

На базі отриманих експериментальних результатів роботи обох методів диспетчеризації побудовані графіки відхилення від оперативного плану випуску продукції (рис. 3, а та рис. 3, б).



а)



б)

Рис. 3. – Графіки відхилення від оперативного плану випуску продукції

### Висновки

На основі проведених досліджень та комп'ютерного моделювання розробленої системи автоматизації процесів керування матеріальними потоками в логістичних системах було зроблено декілька наступних висновків:

Розроблена функція диспетчеризації та модель руху матеріальних потоків є працездатними і виконують початкову поставлену задачу, а саме – мінімізацію тривалості відхилення від оперативного плану роботи.

Для логістичних систем, що характеризуються відсутністю або малою кількістю резервного обладнання чи паралельних каналів обслуговування, ефективність алгоритму як час, витрачений на повернення системи до стану, при якому вона спроможна забезпечити виконання оперативного плану, близька до тієї, що забезпечується методом прямої диспетчеризації.

Для логістичних систем, що характеризуються наявністю двох чи більше резервних засобів обслуговування вимог, розроблена функція диспетчеризації є більш ефективною (за часом, витраченим на мінімізацію відхилення від оперативного плану роботи), ніж класичний метод прямої диспетчеризації.

Розроблений спосіб керування МП показав зростання ефективності на 4–10% у порівнянні з методом прямої диспетчеризації при нарощуванні кількості резервного обладнання, а також при подовженні модельованих ланцюжків проходження вимог через потокоутворюючі блоки.

Таким чином, розроблений спосіб керування матеріальними потоками може бути застосованим при проектуванні та експлуатації логістичних систем різного функціонального призначення та різного рівня абстрагування розглядуваної логістичної системи.

#### Список використаних джерел

1. Диспетчеризація матеріальних потоків з динамічною корекцією шляхом оберненого розповсюдження пріоритетів / Дзінько А.М. // Міжнародний науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління” – 2015. – №1 (26). с. 37–41.

2. Логістичний підхід до диспетчеризації матеріальних потоків ГВС / Дзінько А. М., Ямпольський Л. С. // Міжнародний науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління” – 2013. – №1 (22). с. 17–24.

3. Агентно-орієнтований підхід до розв'язання логістичних задач диспетчеризації матеріальних потоків / Дзінько А. М., Ямпольський Л. С. // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2012. – №21 (41). с. 18–22.

4. Дискретно-стохастична система матеріальних потоків в контексті задачі диспетчеризації / Дзінько А. М., Ямпольський Л. С. // Міжнародний науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління” – 2016. – №2 (29). с. 17–24.

5. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: практикум / Ю. В. Жерновий. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 307 с.

6. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – М., 2004. – 298 с.