

Василенко Т.Є., к.е.н., Фесенко Д.В., Дульнявка О.Й.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ПРОЦЕС ІМІТАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗУПИНОЧНОГО ПУНКТУ СУМІСНОЇ ДІЛЯНКИ РУХУ АВТОБУСІВ РІЗНИХ МАРШРУТІВ

Запропоновано схему процесу імітації функціонування зупиночного пункту сумісної ділянки руху автобусів різних маршрутів (на прикладі «Пл. Леніна»), а також алгоритм імітаційної моделі закономірності зміни часу очікування пасажирами автобусів на сумісній ділянці руху маршрутів в залежності від їхньої кількості.

Постановка наукової проблеми

Сучасний підхід до дослідження проблем транспортних систем передбачає широке використання математичних методів. При описі транспортних процесів може бути зроблений акцент на тій або іншій стороні формалізованого об'єкта і використані різні математичні методи.

В даний час для опису транспортних процесів застосовується апарат теорії ймовірностей, математичного аналізу, теорії ігор, імітаційного моделювання, математичної статистики. Моделюванню приділяється основна роль при імітації транспортних процесів та оптимізації транспортної системи [1].

У сучасних умовах мінливої транспортної інфраструктури країни і зміни економічної активності регіонів при рішенні багатьох задач автомобільного транспорту приходиться стикатися із ситуацією, коли досліджувані процеси виявляються настільки складними, що їх аналітичне рішення практично неможливо через значні математичні труднощі. Проведення експериментальних досліджень або натурних іспитів вимагає великих витрат часу і засобів або може бути взагалі виключене за визначених причин. Тому застосування методів імітаційного моделювання (ІМ) для подолання зазначених труднощів є актуальною задачею, оскільки воно, на відміну від інших методів, дозволяє відтворити функціонування транспортних процесів для аналізу та оптимізації не тільки в часі, але і за час у багато разів менше, ніж час плин timerозглянутого реального процесу. При цьому імітуються елементарні події, що протікають у транспортній системі зі збереженням логіки їхньої взаємодії і послідовності протікання в часі.

При ІМ оптимальний варіант визначається суто математично строгими методами, як при аналітичному підході, шляхом послідовних наближень, перебираючи ті або інші структури і чисельні значення факторів. При цьому проміжні результати ІМ, на відміну від результатів аналітичного розрахунку, мають чіткий фізичний зміст, що полегшує виявлення помилок у програмі. Результати кожного кроку моделювання можуть інтерпретуватися як стан транспортної системи у визначений момент часу, а метод може бути визначений як спостереження в часі за характеристиками динамічної моделі системи. Це ріднить ІМ з фізичним експериментом [2].

Аналіз публікацій

ІМ, лінійне програмування і регресійний аналіз за діапазоном і частотою використання давно і стійко займають три перших місця серед усіх методів дослідження операцій. Теорія, техніка і системи автоматизації ІМ розроблялися насамперед для моделювання систем з чергами [3], до яких і відноситься досліджувана система міського пасажирського автобусного транспорту. Завдяки можливості досить повного відображення реальності ІМ зручне для дослідження практичних задач: визначення показників ефективності, порівняння варіантів

побудови й алгоритмів функціонування транспортної системи, перевірки стійкості режимів системи при малих відхиленнях вхідних перемінних від розрахункових значень.

ІМ на автомобільному транспорті використовується стосовно до організації дорожнього руху, вантажних і пасажирських перевезень.

При організації дорожнього руху імітаційні проекти призначені для:

- моделювання мережі дорожнього руху при різних режимах роботи світлофорної сигналізації з метою підвищення її безпеки;
- моделювання конфліктних ситуацій для оцінки дорожніх ситуацій за ознакою потенційної безпеки [4];
- моделювання дорожнього руху з метою знаходження наближених оцінок пропускної здатності і коефіцієнтів завантаження ділянок мережі при різних варіантах планувальних рішень;
- імітації і прогнозування дорожньо-транспортних випадків з метою їхнього скорочення;
- визначення пропускної здатності ділянок доріг та ін. [5].

На вантажному автомобільному транспорті імітаційні моделі застосовують для дослідження:

- організаційної виробничої структури автотранспортного підприємства;
- управління виробництвом за ремонтом й обслуговуванням автомобілів;
- організації роботи технічної допомоги автомобілям на лінії;
- управління складськими запасами автомобільних запасних частин, вузлів і агрегатів;
- продуктивності станцій технічного обслуговування автомобілів;
- організації роботи автомобільних майстерень закритих парків спеціальних транспортних машин;
- технології ремонту автомобільних деталей [6].

На пасажирському транспорті за допомогою імітаційного моделювання вирішуються задачі:

- розробки модуля автоматизованої системи управління пасажирськими автобусними перевезеннями [7];
- моделювання руху маршрутних транспортних засобів по вулично-дорожній мережі міста для визначення часу руху за кожним елементом траси маршруту і показника активності регуляторних систем організму водія [8];
- розробки автоматизованих систем оплати проїзду на маршрутах пасажирського транспорту для пільгових категорій громадян;
- визначення оптимального місця розташування і функціонування автобусного терміналу як пасажирського логістичного центру [9];
- прогнозування викидів шкідливих забруднюючих речовин маршрутними автобусами та ін. [10].

Однак серед перерахованих досліджень з використанням імітаційного моделювання в області організації пасажирських перевезень не розглядалася задача зниження витрат часу очікування пасажирами автобусів різних маршрутів на сумісній ділянці руху шляхом імітації їхньої кількості. Рішення її і буде *метою статті*.

Основні результати дослідження

На підставі аналізу попередніх досліджень [2, 3, 11, 12] для вирішення поставленої задачі пропонується наступна схема процесу імітації функціонування зупиночного пункту сумісної ділянки руху автобусів різних маршрутів, яка наведена на рис. 1 та представлена у вигляді ланцюжка елементарних кроків:

1. Визначення системи — установлюються характеристики та границі системи, визначаються обмеження на параметри, визначаються перемінні, встановлюються критерії оцінки.

Пропонується імітаційна модель, що дозволяє одержати закономірність зміни часу очікування пасажирів автобусів різних маршрутів на сумісній ділянці руху, що, у свою чергу, дозволяє його оптимізувати шляхом імітації (підбора) кількості автобусів, що проходять повз зупиночний пункт «Пл. Леніна», спочатку в цілому, а потім за кожним маршрутом. Імітація кількості автобусів багато в чому залежить від обираного критерію ефективності. Як такий критерій з точки зору пасажирів пропонується мінімальний час очікування автобуса на зупиночному пункті. Для цього було проведено дослідження часу очікування пасажирів автобусів шістьох маршрутів на сумісній ділянці руху за елементами (час очікування автобусу, час очікування посадки в автобус та час посадки), які є випадковими величинами, а також встановлено закономірності й характеристики їх розподілу. Такий підхід забезпечує максимальну близькість одержуваної інформації реальним умовам функціонування системи міського автобусного транспорту.

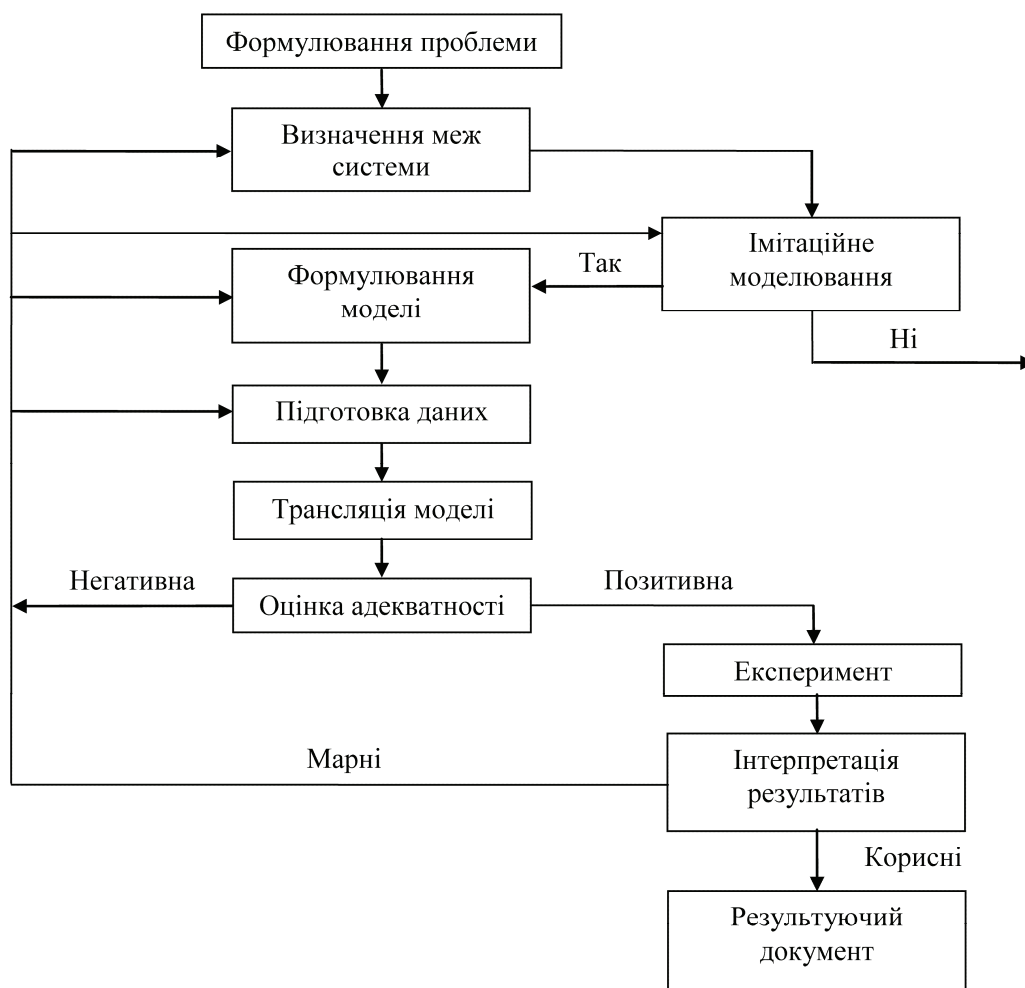


Рис. 1. Структурна схема процесу імітації

2. Формулювання моделі — на цьому етапі будується математична модель системи: встановлюються її структура й значущі залежності між елементами. Особливо важливо при цьому обрати модель мінімально необхідної складності. При великій складності системи створюється сукупність моделей за функціональною і/або ієрархічною ознакою.

Отже, імітаційна модель утворюється взаємодією наступних елементів: станів, подій, датчиків випадкових чисел, таймера, ланцюгів подій, мети моделювання, лічильників, блоку ініціалізації, критерію зупинки і методів обробки результатів.

Стан системи визначається ступенем детальності, необхідним і точним для імовірнісного продовження процесу моделювання. Зокрема, стан системи задається поточною кількіс-

тю автобусів на кожному маршруті, часом очікування прибуття автобуса і моментами настання найближчих подій кожного виду.

Під подією моделі розуміється стрибкоподібна зміна її стану. Функціонування процесу часу очікування пасажиром автобусів на сумісній ділянці руху розбивається в моделі на етапи (активні фази), кожний з яких відповідає деякій події і реалізується в один момент системного часу. Події моделі, у нашому випадку, розділені на первинні (прибуття пасажирів на зупиночний пункт, від'їзд пасажирів на автобусі) і вторинні (стосовно прибуття пасажирів — очікування автобуса на зупиночному пункті, просування черги пасажирів при посадці в автобус), що настають як наслідок первинних.

За допомогою датчиків випадкових чисел (ДВЧ) у моделі формуються її чергові стани (моменти настання наступних первинних подій кожного виду). Випадкові величини генеруються відповідно до заданих розподілів.

Процес, що імітується, розвивається в модельному (системному) часі. Лічильник модельного часу називається таймером. Найбільш складні процеси моделюються спрощено: з постійним кроком по осі часу. При цьому окремі сторони процесу (прибуття пасажирів на зупиночний пункт, очікування автобуса) моделюються «сумарно» — через розподіл числа подій даного роду за обраний інтервал.

Логіка моделі реалізується в процесі обробки ланцюгів подій. У ланцюзі поточних подій (ЛПП) знаходяться події, що настають в один момент модельного часу (підхід пасажирів до зупиночного пункту, випадковий відбір тих пасажирів, що поїдуть на автобусі, просування черги пасажирів при посадці в автобус). Зрозуміло, що послідовність їхньої обробки повинна бути строго визначеною. У ланцюзі майбутніх подій (ЛМП) знаходяться події, заплановані за допомогою ДВЧ на наступні моменти системного часу (час очікування автобуса, прибуття чергових пасажирів на зупиночний пункт, від'їзд пасажирів, якому було відмовлено в посадці внаслідок переповнення автобуса). У ланцюзі затриманих подій (ЛЗП) знаходяться події, розвиток яких заблоковано сформованими в системі на даний момент модельного часу умовами (наприклад, переповненістю автобуса).

Під ініціалізацією розуміється приведення моделі до початку прогону у вихідний стан. Найпростіший аспект ініціалізації — обнуління всіх накопичуючих лічильників і установка у вихідний стан генераторів псевдовипадкових чисел. У нашому випадку ініціалізація моделі відразу задає початкові умови моделювання.

Ціль моделювання при побудові моделі трактується як встановлення закономірності зміни часу очікування пасажиром автобусів на сумісній ділянці руху шляхом імітації їх кількості. Вибір мети істотно впливає на структуру моделі через лічильники, що необхідні для накопичення результатів моделювання: для підрахунку середнього часу очікування пасажиром автобуса в наявності є лічильники сумарного часу очікування і кількості пасажирів, що очікують автобус на зупиночному).

Критерій зупинки визначає момент припинення прогону моделі. Керування прогоном здійснюється за досягненням заданої точності показника E — максимальної кількості автобусів на маршруті, а також прогін припиняється за досягненням заданого значення таймера, лічильника числа обслугованих пасажирів, виконаних рейсів у моделі.

Обробка результатів моделювання складається в графічній побудові закономірності зміни часу очікування пасажиром автобусів на сумісній ділянці руху в залежності від їх кількості.

Таким чином, на підставі взаємодії елементів імітаційної моделі та у результаті процесів спрощення й абстрагування будується математична модель у вигляді логічного алгоритму (рис. 2), в результаті чого проводиться послідовний опис дій, функціональних зв'язків, поведінки компонентів і системи в цілому.

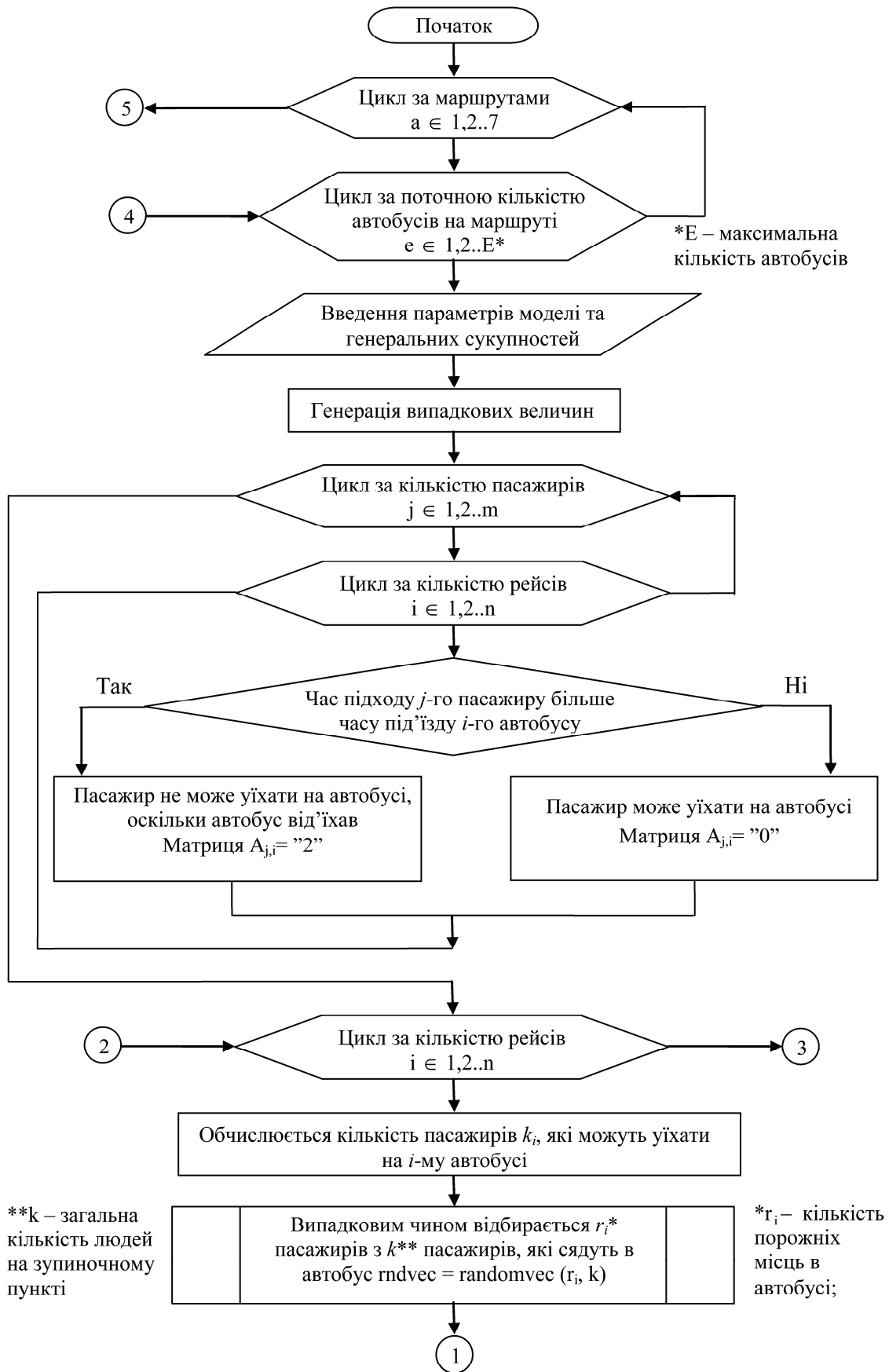


Рис. 2. Алгоритм імітаційної моделі

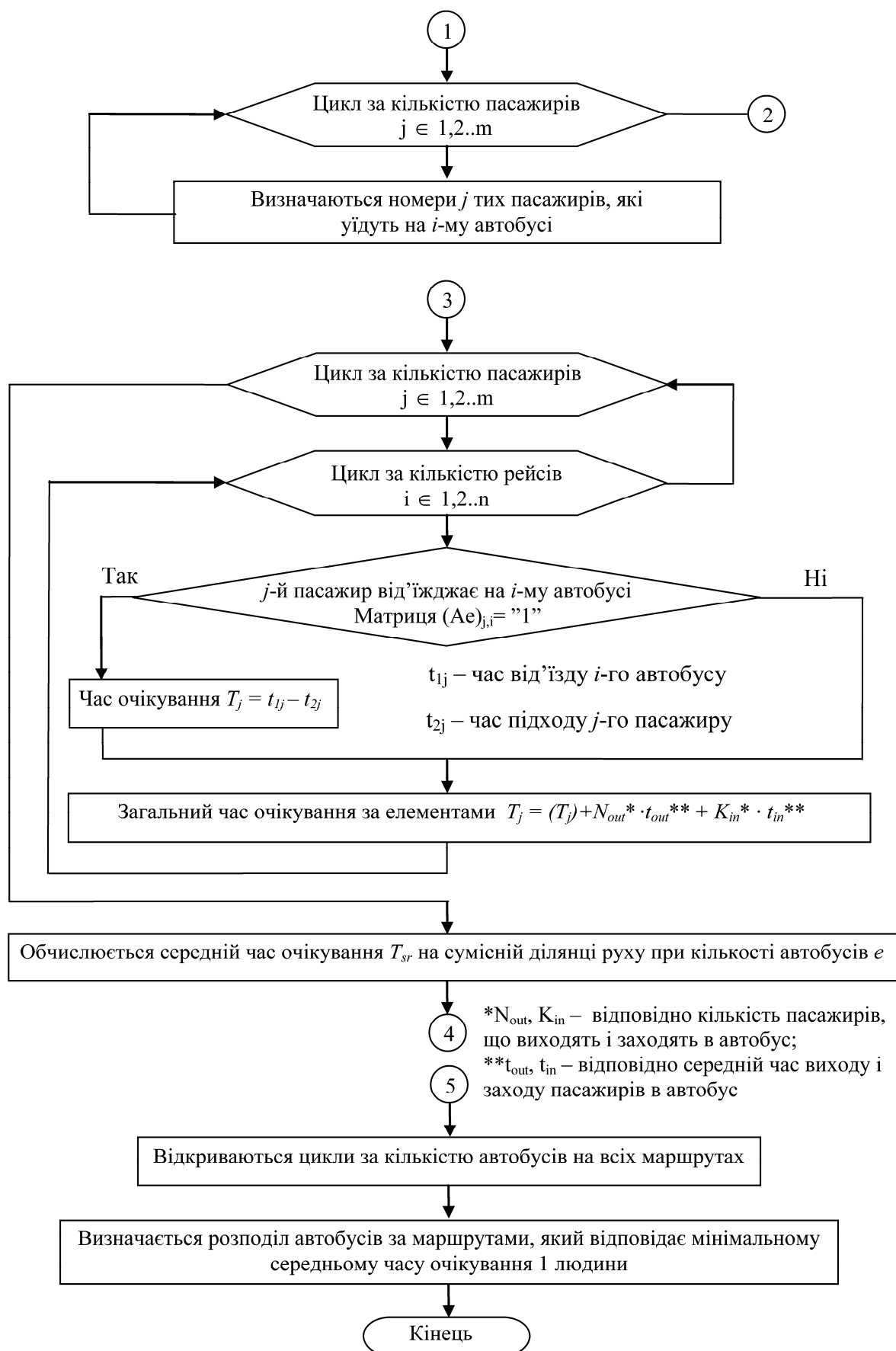


Рис.2. Продовження

3. Підготовка даних — полягає в зборі й обробці результатів спостереження за системою, що моделюється. Обробка в типовому випадку це побудова функцій розподілу відповідних випадкових величин і обчислення числових характеристик розподілів. Дані можуть бути використані й у неопрацьованому виді, однак у цьому випадку модель буде мати обмежену прогностичну силу. Для проведення імітаційного моделювання, окрім оброблених результатів експериментальних натурних досліджень часу очікування за елементами, задаються параметри моделі для кожного маршруту, а також використовуються додатково сгенеровані дані. Тому відбираються і представляються у відповідній формі ті вихідні дані за маршрутами, що є найбільш суттєвими для реалізації моделі (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані для моделювання

№ п\п	Найменування	Позначення
Параметри моделі, що задаються		
1	Максимальна кількість автобусів — задається, виходячи з фактичної кількості автобусів на маршруті та визначає точність моделі	E
2	Поточна кількість автобусів при моделюванні	e
3	Кількість зроблених рейсів автобусами в моделі	n
4	Загальна кількість пасажирів, що підійшли до зупинки за час моделювання	m
5	Номер рейса	i
6	Номер пасажира	j
7	Місткість автобуса	Q
8	Середній час виходу одного пасажира з автобуса	t_{out}
9	Середній час заходу одного пасажира в автобус	t_{in}
10	Довжина маршруту в обох напрямках	L
11	Експлуатаційна швидкість на маршруті	V
Параметри моделі, що генеруються		
12	Інтервали руху між автобусами	$t1_{i,e}$
13	Інтервали між пасажирами при їхньому підході до зупиночного пункту	$t2_j$
14	Кількість пасажирів, що виходять з автобуса	N_{out}
15	Кількість порожніх місць в автобусі до виходу пасажирів з нього	Emp_i

При моделюванні передбачається, що сгенеровані дані — інтервали руху між автобусами, інтервали між пасажирами при їхньому підході до зупиночного пункту, кількість пасажирів, що виходять з автобуса та кількість порожніх місць в автобусі до виходу пасажирів з нього є випадковими величинами, розподіленими за нормальним законом з параметрами розподілу, що задаються (математичне очікування випадкової величини a і середньоквадратичне відхилення σ) та розраховуються за кожним маршрутом.

4. Трансляція моделі — це запис її на одній з мов програмування. Варто прагнути до блокової (модульної) побудови програми, що дозволяє незалежно вносити зміни в окремі модулі і підвищити продуктивність програмування шляхом повторного використання раніше створених модулів.

Отже, на відповідній мові програмування складається програма, що потім використовується при проведенні машинного експерименту на ЕОМ і дозволяє імітувати динамічний процес, який моделюється як час очікування пасажирами автобусів на сумісній ділянці руху.

5. Оцінка адекватності — полягає у перевірці:

- повноти обліку основних факторів і обмежень, що впливають на роботу системи;
- відповідності вихідних даних моделі реальним (зокрема, згоди законів розподілу з первинними даними);
- наявності в моделі всіх даних, необхідних для накопичення відповідних величин;
- правильності перетворення вихідних даних у кінцеві результати;

– свідомості результатів при нормальних умовах і в граничних випадках.

6. Експеримент — виконується прогін моделі на ЕОМ з метою одержання відповідей на поставлену задачу.

Окремим прогоном вважається частина процесу імітації, у якому системний час монотонно зростає. Даний етап має зворотний зв'язок до етапу трансляції, оскільки способи рішення проблеми повинні бути відбиті в програмі моделі. При цьому першорядного значення набувають питання про тривалість розгінної ділянки і стаціонарного режиму. Якщо тривалість роботи в стаціонарному режимі невелика, то вимірювані показники можуть виявитися недостовірними.

9. Інтерпретація результатів — за даними, отриманими на моделі, формуються підсумки і висновки про діяльність реальної системи.

За результатами, отриманими після реалізації програми на ЕОМ, робиться підсумок про коректність висновків, одержаних на основі моделі закономірності зміни часу очікування пасажирів автобусів шістьох маршрутів на сумісній ділянці руху шляхом імітації та встановлення їх кількості.

10. Результуючий документ — формується документ результатів моделювання. Ретельне і повне документування процесу розробки моделі та ходу експериментів підвищує імовірність його успішної реалізації і дозволяє модифікувати модель з метою її подальшого використання.

Висновки

У статті запропоновано схему процесу імітації функціонування зупиночного пункту сумісної ділянки руху автобусів різних маршрутів (на прикладі «Пл. Леніна»), а також алгоритм імітаційної моделі. Реалізація в подальших дослідженнях алгоритму імітаційної моделі за допомогою мови програмування дозволить встановити закономірність зміни часу очікування пасажирів автобусів на сумісній ділянці руху маршрутів в залежності від їхньої кількості.

Список літератури

1. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю.В. Завадский. — М.: Транспорт, 1977. — 72 с.
2. Имитационное моделирование. Теория и технологи / Ю.И. Рыжиков. — СПб.: КОРОНА принт, М.: Альтекс-А, 2004. — 384 с.
3. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS / пер. с англ / Т.Дж. Шрайбер. — М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.
4. Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский — М.: Транспорт, 1978. — 125 с.
5. Томашевський В.М. Концептуальні основи імітаційного моделювання автомобільного дорожнього руху / В.М. Томашевський, Д.С. Печенежський / Праці П'ятої Української конференції з автоматичного управління «Автоматика-98». — Ч. III. — Київ: НТТУ «КПІ», 1998. — С. 317-323.
6. Моделирование случайных процессов автомобильного транспорта: метод. Указания к самост. работе: в 2 ч. Ч.2. / сост.: С.И. Коновалов, В.В. Савин; Владим. гос. ун-т. — Владимир: Ред.-издат. Комплекс ВлГУ, 2004. — 52 с.
7. Лахно В.А. Использование объектно-ориентированных языков программирования для проектирования АСУ пассажирскими перевозками / В.А. Лахно, А.И. Пилипенко // Штучний інтелект Луганський національний аграрний університет. — 2004. — №4. — С. 201-210.
8. Давідич Ю. О. Теоретичні основи ергономічного забезпечення автотранспортних технологічних процесів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Ю.О. Давидич; Харківська національна академія міського господарства. — Харків, 2007. — 39с.
9. Громуле В. Автобусный терминал как важнейший элемент транспортной инфраструктуры / В. Громуле, И. Яцкив // Transport (Транспорт). — Vilnius: Technika, 2007. — Т. 22. — № 3.— Р. 200-206.
10. Кравченко Е.А. Методологические подходы научно-технического прогнозирования экологической безопасности автобусного транспорта в муниципальных образованиях курортных зон / Кравченко Е.А., Кравченко А.Е. // Вестник Кубанского государственного технологического университета. — 2003. — № 8.
11. Системологія на транспорті: підручник: у 5 кн. / за заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. — Кн. I: Основи теорії систем і управління / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. — К.: Знання України, 2005. — 344с.
12. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука / пер. с англ. / Р. Шеннон.— М.: Мир, 1978. — 418 с.

Стаття надійшла до редакції 02.11.09
© Василенко Т.С., Фесенко Д.В., Дульнявка О.Й., 2009