

МІЖНАРОДНА ЕКОНОМІКА

УДК 338.47:[332.122:375]+[332.122:338.43]

Шевчук Я.В.

ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МОДЕЛЕЙ В РОЗВИТКУ МІСЬКИХ І СІЛЬСЬКИХ ПОСЕЛЕНЬ

У статті здійснено аналіз транспортних моделей, які включають ряд моделей, покликаних вирішувати народногосподарські завдання пов'язані з плануванням довгострокового розвитку транспортної інфраструктури, організацією руху і оптимізацією транспортних потоків, узгодженням розвитку індивідуального і громадського транспорту, оптимізацією пішохідного руху, систематизацією транспортних даних, екологічними оцінками результатів роботи транспорту, підвищенням рівня безпеки руху.

Ключові слова: транспорт, автотранспортна інфраструктура, транспортні моделі, моделювання, транспортна система, автотранспортна мережа, автомобільний транспорт, модель Льоткі-Вольтерра, управління рухом, муніципальний транспорт, транспортна доступність, метод клітинних автоматів.

ВСТУП

Транспортна інфраструктура формується, будується і розвивається у зовнішньому по відношенню до неї середовищі, яким є міські і сільські населені пункти та регіони. Для того, щоб визначити оптимальну потужність транспортної інфраструктури, важливо знати закони і закономірності розвитку міст і регіонів, зокрема розміщення в них населення та місць прикладання праці, потреби населення і працівників у рівні розвитку транспортної інфраструктури, тощо. Такі закони і закономірності вивчаються в процесі побудови транспортних моделей.

Транспортні моделі використовуються для складання найбільш економічного плану перевезень одного виду продукції з кількох пунктів (наприклад, заводів) у пункти доставки (наприклад, склади). Транспортну модель можна застосовувати при розгляді низки практичних ситуацій, пов'язаних з управлінням запасів, складанням змінних графіків, призначенням службовців на робочі місця, обігом наявного капіталу, регулюванням витрати води у водосховищах і багатьма іншими, що мають місце в сфері транспорту. Крім того, транспортну модель можна використовувати для оптимізації перевезення декількох видів продукції. ©

Метою статті є дослідження транспортних моделей розроблених зарубіжними вченими та використання досвіду їх застосування в розвитку міських і сільських поселень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Однією з таких моделей є модель ILUTE [18] (Integrated Land Use, Transportation, Environment – інтегральне землекористування, транспорт, навколишнє середовище), в якій розглядається не тільки транспортна мережа (дороги, транзитна мережа з підтримкою велосипедного транспорту і доріг для прогулянок), але й особи (разом з домашнім господарством і сім'єю), будівлі (житлові будинки і магазини), фірми, економіка (відсоткові ставки і інфляційні показники), ринок праці. Модель ILUTE використовується для моделювання еволюції інтегрованої міської системи протягом тривалого періоду часу. Вона призначена для аналізу і удосконалення транспортної, житлової та іншої міської політики. Отже, метою використання цієї моделі є відслідковування розвитку стану міської системи від визначеного базового рівня на конкретний період часу до цільового рівня на прогнозний період часу. Структуру ILUTE показано на рис. 1.

ILUTE є надзвичайно потужною мікросимуляційною системою, що виконана в «О-О» парадигмі з відповідною класовою структурою, що пристосована під вимоги «ідеальної моделі». Модель містить багатий

набір реальних об'єктів з відповідною семантикою і взаємодіями. Результати моделювання показуються у форматі 2-D, однак є можливість їх демонстрацій і форматі 3-D в кольорі з особливостями поверхні.

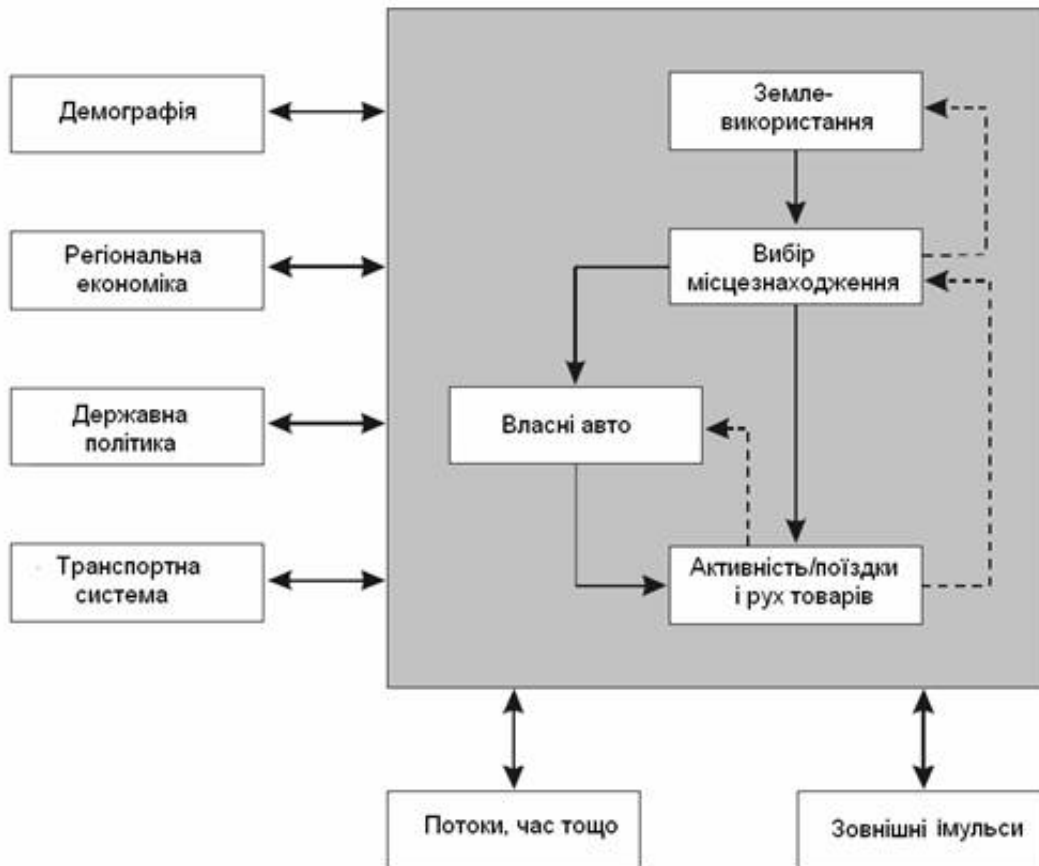


Рис. 1 Структура ILUTE*

* Джерело: [18].

Детальні подробиці щодо комп'ютерної архітектури ILUTE можна знайти в роботі канадських вчених П. Сальвіні та Е.Міллера «ILUTE: An Operational Prototype of a Comprehensive Microsimulation Model of Urban Systems»[18].

На рис. 2 показано один з багатьох візуальних результатів проектування системою ILUTE транспортної мережі.

Розробка ILUTE – це унікальна можливість дослідити таку складну соціально-економічну систему, як місто та виявити взаємопов'язані зв'язки між її підсистемами.

Зокрема, вона дозволяє виявити місце і роль транспортної системи у розвитку міста загалом, що є важливим фактором передбачення перспективного розвитку урбанізованого середовища.

Ще однією моделлю, де враховується транспортна складова при оцінці розміщення житлових, адміністративних і промислових будівель, є модель Ramblas. Детально структура моделі Ramblas представлена в роботі «Veldhuisen K, Timmermans H. J. P., Kapoen L. L. Ramblas: A regional planning model based on the microsimulation of daily activity travel patterns» [21].

Ця модель отримала практичне застосування при розробці трьох різних сценаріїв розвитку району North Wing регіону Randstad в Нідерландах [21]. Зазначені сценарії стосуються розташування житла, адміністративних і промислових будівель в Амстердамі та прилеглому до нього районі. Кожен із сценаріїв передбачає відмінну концентрацію населення, щільність житлового фонду та конкретний період часу необхідний для реконструкції останнього. Точкою відліку був 2003 рік. На цей період часу були проаналізовані середній час реальних поїздок (хвилини) пасажирів без корків і з корками на дорогах, середній кілометраж за одну поїздку на власних авто і громадському транспорті, загальна кількість поїздок на авто, загальний кілометраж поїздок на власних авто з корками і без корків, а також загальний кілометраж за рік на громадському транспорті. Ці дані стали основою для прогнозування потоків транспорту у 2030 році.

На рис. 3 показано результати прогнозування напрямів і інтенсивності сімейних поїздок на власних авто в один з четвергів 2030 року.

На думку деяких дослідників ця модель є недосконалою. Зокрема, Дж. Чанг вважає, що в першу чергу найбільші неточності спостерігаються в моделі Ramblas при прогнозуванні системи транспорту [3]. З цим частково погоджуються і автори цієї моделі, яка, безумовно, потребує доопрацювання.

Для моделювання зростання автотранспортної мережі у зв'язку з різким зростанням кількості автомобілів актуальним є застосування симуляційних моделей, оскільки вони показують результати, які відрізняються від інтуїтивних передбачень.

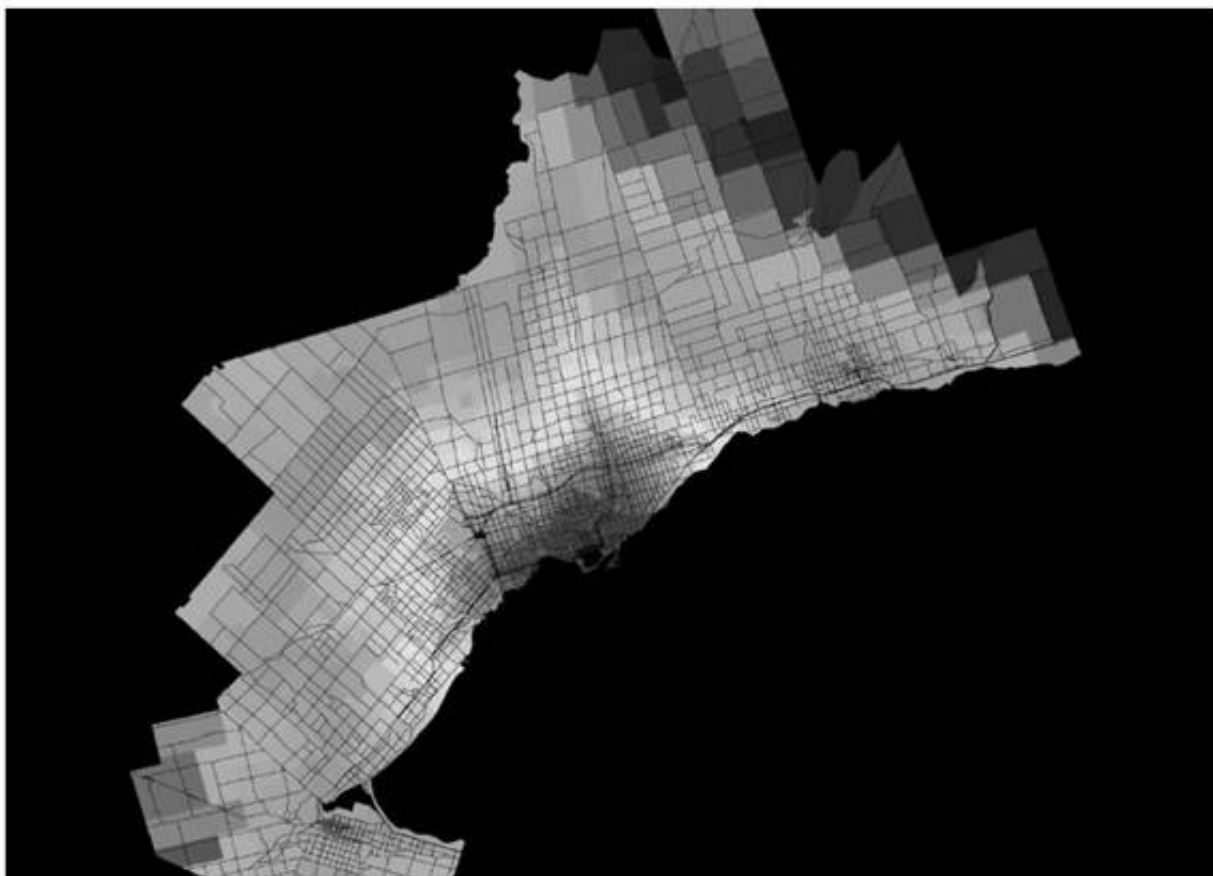


Рис. 2 Візуальний результат симуляційного проектування транспортної мережі системою ILUTE*
* Джерело: [18]

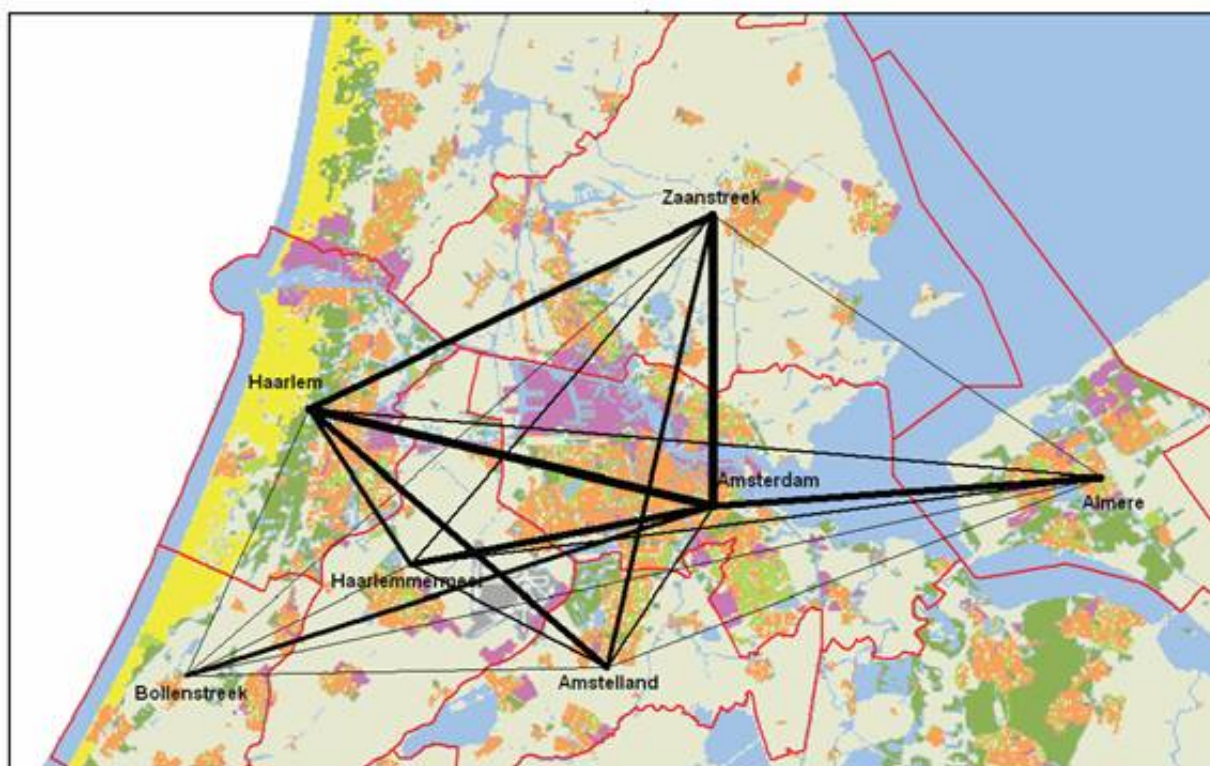


Рис. 3 Прогнозування основних напрямів і інтенсивності (показано товщиною ліній) сімейних

поїздок в один з четвергів 2030 року*

* Джерело: [21]

Зокрема, таку базову модель, що ґрунтується на засадах системної динаміки, у 2005 році запропоновано в роботі С.Ахарія [1] (рис. 4). На згаданому рисунку відображено причинно-наслідкові зв'язки між розвитком автотранспортної інфраструктури і експлуатаційними показниками використання автотранспорту.

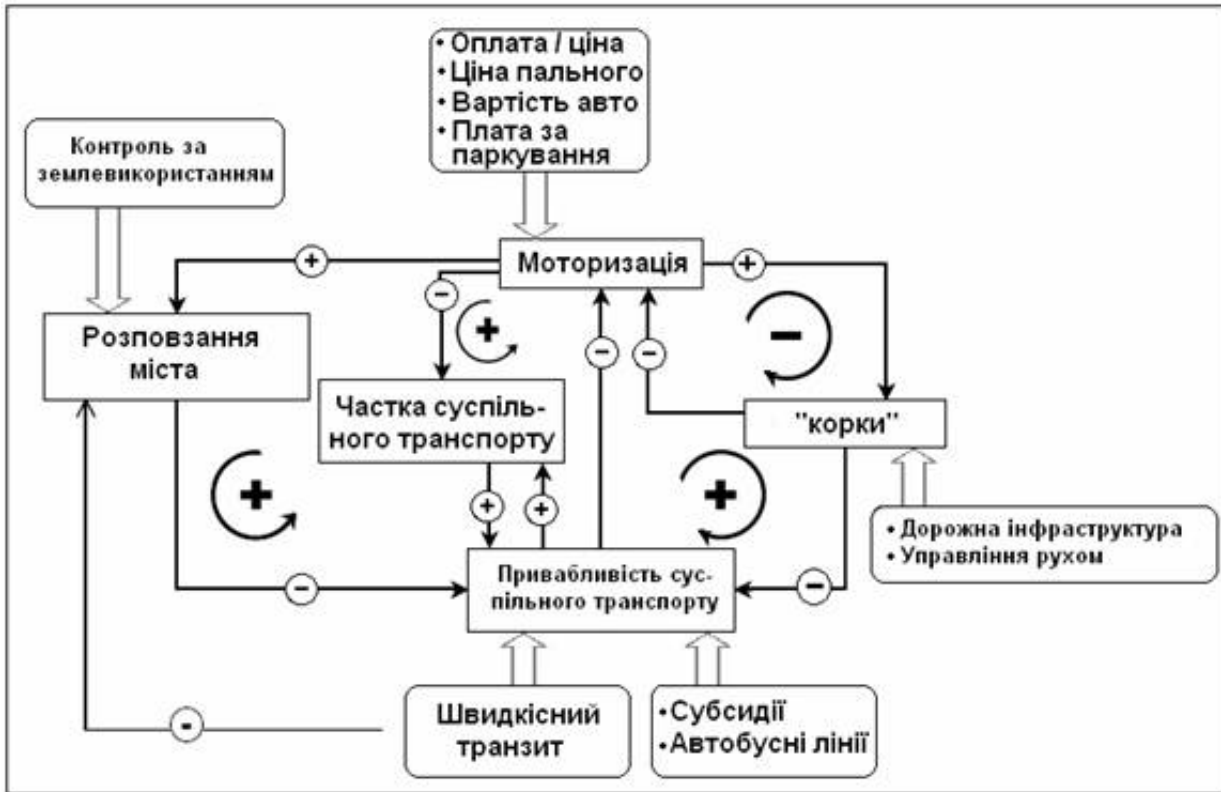


Рис. 4 Діаграма петель зворотних зв'язків

Зазначимо, що в овальних прямокутниках діаграми показано різні можливості, які можуть бути використані для спрямування розвитку системи в бажаному напрямку. Цікаво зазначити, що модельовані потоки не відразу приходять в стан рівноваги, а розвиваються за траєкторіями, які нагадують петлі у моделях Люткі-Вольтерра.

В тому можна переконались, порівнюючи траєкторії зменшення попиту на муніципальний транспорт і зростання «корків» та траєкторій розвитку муніципального транспорту (N_1) і автомобілізації населення (N_2), які визначено за конкурентною моделлю Люткі-Вольтерра (рис. 5).

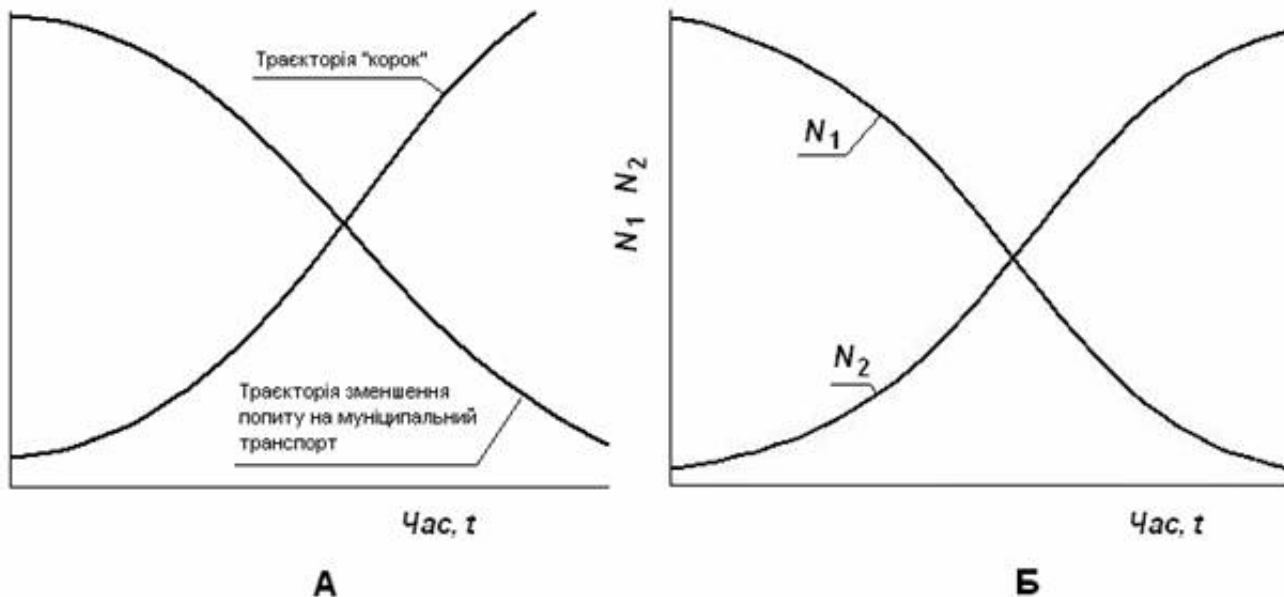


Рис. 5 Трасекторії розвитку муніципального транспорту і утворення «корків» (А) [1] і трасекторії розвитку муніципального транспорту (N_1) та рівня автомобілізації населення (N_2) за конкурентною моделлю Люткі-Вольтерра (Б)

Наголосимо, що в ряді транспортних моделей використовується поняття «доступність», навколо якого точаться дискусії, що не припиняються і сьогодні [1]. Справа в тому, що цей критерій є важливим компонентом не тільки в усіх транспортних моделях, але і у моделях землекористання, оскільки за його допомогою визначають відстань від житлової зони до транспортних шляхів. Вчені дискутують, що вважати «доступністю»: відстань від житла до транспортних шляхів чи час, за який мешканець дістанеться до них; тобто доступність є відстанню, чи часом. Деякі транспортні моделі побудовані на активності поїздок [4], але ця активність також залежить від доступності. Отже, від точного визначення цього поняття та його математичного представлення залежить і якість транспортної моделі.

Найбільш простою мірою «доступності» є відстані. В такому випадку критерій доступності розраховують за таким рівнянням:

$$A_i = \frac{\sum_j d_{ij}}{b}, \quad (1)$$

де d_{ij} – дистанція між зонами i та j ; b – головний параметр

Під терміном «доступність» іноді розуміють не тільки відстань від житла до дороги, але й мету поїздки, тобто враховують накопичений збіг обставин. Цей чинник визначає час поїздки або «час початку відстані» і кількість потенціальних дій в межах цього початку як доступність для даної просторової одиниці.

Для визначення доступності використовують гравітаційну модель, яку деякі дослідники критикують за її нездатність точно відображати критерій «доступність», оскільки вона передбачає однаковий рівень доступності для всіх індивідуумів в зоні, що не відповідає реаліям [10]. До недоліків гравітаційної моделі відносять і те, що вона не є універсальною [2]. Крім того, деякі дослідники вважають, що загальна форма гравітаційної моделі не враховує співвідношення привабливості того чи іншого виду транспорту і відстані [2].

Альтернативою гравітаційній моделі, яка в деякій мірі враховує індивідуальну поведінку, є модель доступності від корисності. Вона ґрунтується на засадах мікроекономіки, а саме на теорії випадкової корисності і передбачає, що індивідууми зроблять вибір для максимізації їх благополуччя. Оскільки, ця користь є ще невідомою, то і теорія називається теорією випадкової корисності. Цей підхід і модель об'єднує соціально-економічні змінні для того, щоб відобразити різницю між індивідуумами в оцінці імпердансу і привабливості.

Перевага критерію доступності, в основі якої є корисність, полягає в тому, що доступність можна представити на індивідуальному рівні, враховуючи індивідуальні смаки. Другою перевагою є те, що максимальна корисність може бути одержана в будь-якій ситуації, що пов'язана з вибором, тому така доступність може охопити усі методи пересування до місця призначення, в тому числі автомобілем і пішохідний способом.

Подібною до моделі «доступність від корисності» є модель «доступність від активності» (activity-based accessibility - АВА) Донга [7]. Головною відмінністю АВА є те, що вона об'єднує поїздки, дії, заплановані на поточний день, і планування дій на наступний день (day activity schedule - DAS), що дає змогу реально відобразити людську поведінку. Математично АВА з використанням DAS можна визначити як очікування індивідуумом максимальної корисності серед доступних графіків діяльності, які дані йому від початку або залежно від місця житла.

В наш час особливий інтерес викликають транспортні моделі, побудовані на базі використання методу клітинних автоматів (КА). В основі цього методу лежать: набір клітинок, які утворюють періодичну решітку, та задані правила переходу, котрі визначають стан клітини за теперішнім станом самої клітинки та тих її сусідів, що знаходяться від неї на певній відстані, яка не перевищує максимальну [23]. Гратка представляє собою куб у дво- чи тривимірному просторі. За допомогою методу клітинних автоматів алгоритмічно вирішують конкретну задачу. Наприклад, застосовуючи метод КА можна здійснювати проектування автотранспортних мереж або моделювати управління існуючою автотранспортною мережею. Зокрема, Р. Кісінжер та М. Бронзіні в роботі «Model of Self-Organizing Management Response System» [13] розглянули особливості застосування агентної КА-моделі для управління трафіком в надзвичайних ситуаціях (термінова евакуація людей з густонаселених районів). Kim С., Abubakar K., Obah O., використали згаданий метод для моделювання маршрутів і часу прибуття літаків, що знаходяться в автономному польоті без зв'язку [15], а Hoang Thuy Linh – для дослідження потоку різних транспортних засобів (велосипеди, авто і автобуси) [12] тощо.

Взагалі, проблема формування транспортних потоків традиційно є важливою в транспортних дослідженнях. Особливе значення ця проблема набула з погляду теорії складності, тому у 90-х роках минулого століття до неї спостерігався особливий інтерес, про що засвідчують дослідження ряду зарубіжних вчених [3, 8,11, 16, 17].

Т. Шелхорн побудував агентну модель руху пішоходів для вулиць міських районів з метою визначення «вузьких» місць на тротуарах. В цій моделі відображена поведінка осіб в маленькому місті, які відносяться до різних соціальних груп, мають різний майновий статус, різні швидкісні характеристики, тобто мають мету руху [19].

Подібну мультиагентну КА-модель пішохідного руху в районі магазинів під назвою Amanda розроблено німецькими дослідниками [6]. Агентне КА-моделювання застосовувалось в роботі [14], в якій показано ступінь впливу щільності населення міських районів на автомобільну транспортну систему, на відстань поїздки, енергоспоживання і соціальне забезпечення населення.

Японські вчені за допомогою КА дослідили вплив конфігурації транспортної мережі на швидкість руху транспорту [20]. При цьому, вони виявили суттєві відмінності між впливом деревоподібної структури транспортних мереж надшвидкісного японського експресу на його рух і решітчастою структурою мережі підземного транспорту на рух останнього. Для досліджень на квадратній решітці КА було створено штучне місто зі 169 пунктами переходів на швидкісні ділянки транспортної мережі. Мета досліджень – визначення часу (кількості ітерацій), за який агент досягав пункту призначення. В результаті було виявлено, що деревоподібна структура з центральним стовбуром-трасою з багатьма переходами дозволяє агенту швидше досягати своєї цілі. Відтак, експериментально було підтверджено правильність вибору форми надшвидкісного експресу, яку у свій час приймали інтуїтивно. Зазначені дослідження трафіку за допомогою КА мали скоріше дослідницький характер.

На початку 2000-х років на автостраді землі Північний Рейн-Вестфалія (Німеччина) застосовано нову трафік-інформаційну систему руху [9]. Оскільки, ця область є однією з найщільніше заселених в Європі, будівництво нових доріг в її межах є практично неможливим. Тому організація ефективного контролю за трафіком і його управлінням, особливо в пікові години, стала особливо актуальною задачею.

Основою системи був КА з особливо високою роздільною здатністю. На автострадах встановили понад 4000 так званих датчиків петлеутворення, які відслідковували реальну ситуацію на автобанах. Інформація надходила на КА, який відтворював ситуацію у форматі 3-D на екранах монітора. Якщо виникала загроза утворення заторів на тій або іншій ділянці шосе, оператор, перш за все, давав команду КА на симуляцію руху за тим чи іншим варіантом зміни ситуації (наприклад, спрямувати частину потоку на обхідні дороги). Якщо ситуація у віртуальному середовищі поліпшувалась, то віддавалась потрібна команда на зміну руху в реальній транспортній мережі. На рис. 6 на елементарній решітці-дорозі, заповненою транспортом, показано можливі ситуації, які можуть виникнути на віртуальній автостраді.

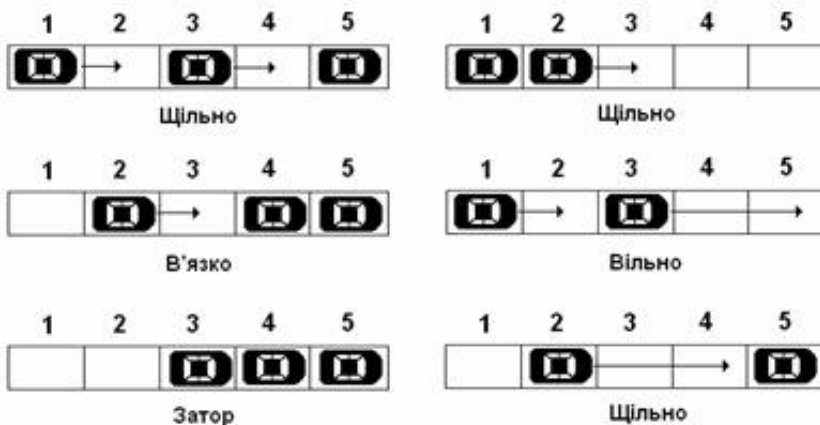


Рис. 6 Різноманітні ситуації, які можуть виникнути на віртуальній автостраді*

Джерело: [9]

Прототипним КА був пакет програм, розроблений ще в 1992 році К.Нагелем і М.Шрекенбергом [17]. Розмір клітин решітки 1,5 м × 1,5 м (в прототипній 7,5 м × 7,5 м). В новому КА використовуються два класи транспортних засобів: авто (2-5 суміжних клітин) і вантажівки (5 клітин).

Як і в інших подібних симуляційних КА[8, 22], мережа є сукупністю базових елементів, треків і вузлів. Трек – це спрямована в'язка паралельних вузьких доріг, або простіше, ділянка автобану. Транспортний засіб на треку має свої координати. Вузол – зв'язок між двома треками. Транспортним засобам задають правила поведінки (напрямок руху, швидкість тощо). Кожний трек містить вказівники на вузли і транспортні засоби, які мають суттєве відношення до даної ділянки треку. Вся трекова інформація запам'ятовується і сортується по відношенню клітинної позиції транспортного засобу на кожний часовий крок (рис. 7).

Треки у вузлах об'єднані в єдину складну структуру, яка відповідає реальній (рис. 8).

Всього комп'ютерна мережа містить 3988 зв'язків, 830 в'їзних і виїзних пандусів, 67 перетинань. Повна довжина вузьких доріжок становить 12200 км, що відповідає понад 8 мільйонів клітин. Дані для створення мережі одержано з ГІС. Для забезпечення гнучкості поведінки транспортних засобів використовувались пакети

CheckLaneChange і CalculateVelocity. Для моделювання застосовувались достатньо потужні персональні комп'ютери.

На рис. 9 показано зображення на екрані монітора КА, що відбиває поточну ситуацію на автобанах.

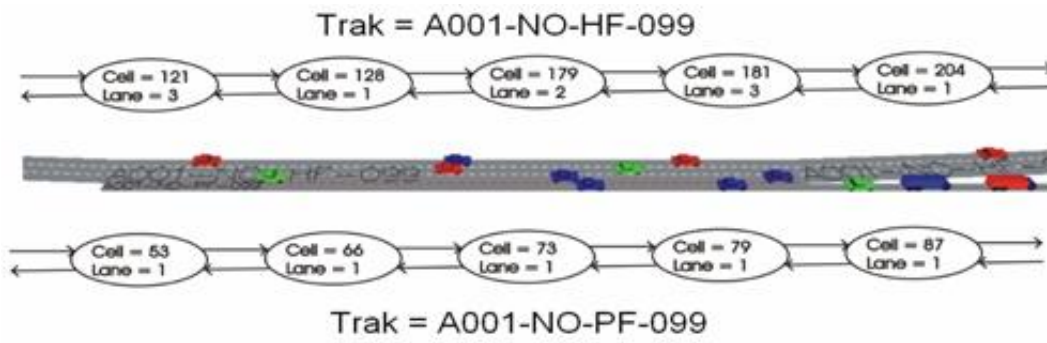


Рис. 7 Ділянка автобану на моніторі КА*

* Джерело: [17]

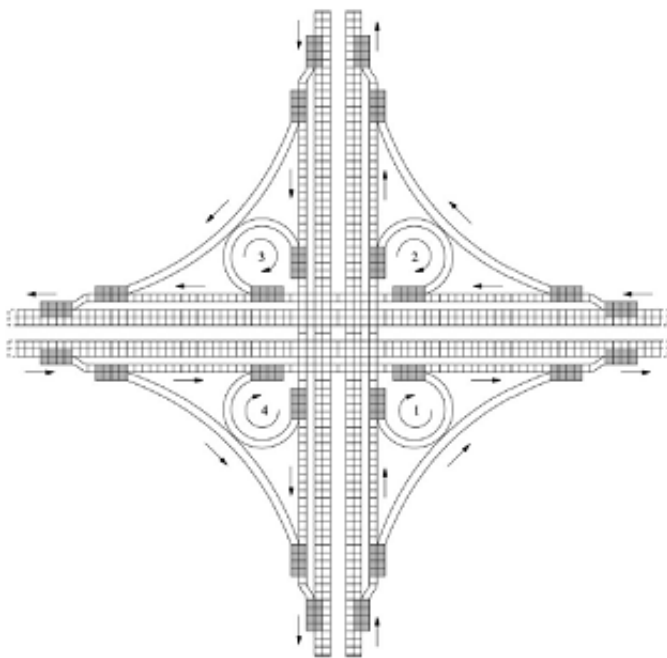


Рис. 8 Фрагмент автобанової мережі*

* Джерело: [17]

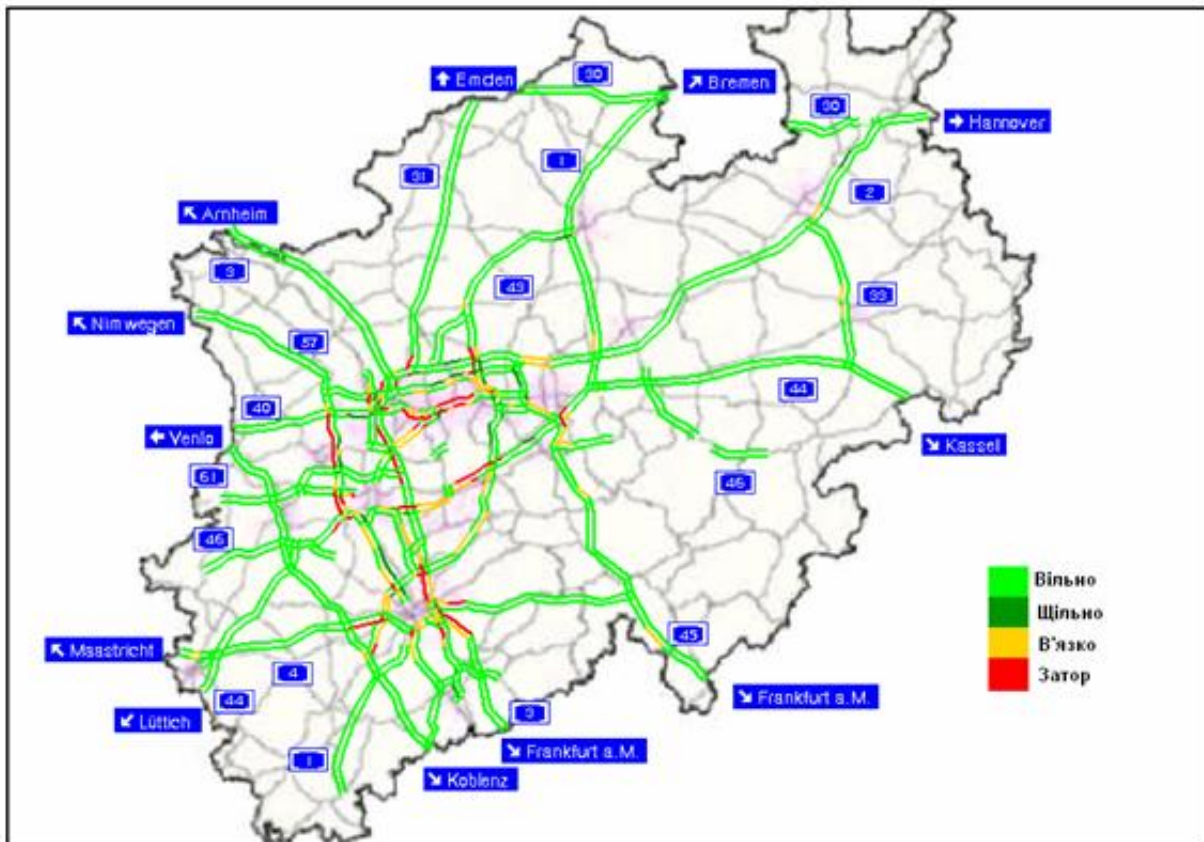


Рис. 9 Ситуація на автобанах 13.01.2003*

* Джерело: [17]

Комп'ютерна мережа дозволяє вводити нові треки, яких нема в дійсності, розширити трасу і просимулювати трафік з реконструйованою мережею. Результати симуляції можуть бути використані при прийнятті рішень про будівництво нових доріг в регіоні.

Цю систему можна використовувати і сьогодні для обґрунтування будівництва нових доріг. Безумовно, для цього важливо постійно удосконалювати транспортну інформаційну систему.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи, зазначимо, що використання транспортних моделей, розроблених зарубіжними вченими, стане особливо актуальним в найближчій перспективі, коли в Україні почнеться будівництво багаторівневих автотранспортних розв'язок і ускладниться рух автомобільного транспорту. Безумовно, важлива адаптація цих моделей до умов України, а для цього нові дослідження в цій площині.

На особливу увагу заслуговують транспортні моделі нового покоління, побудовані на базі використання методу клітинних автоматів. За допомогою транспортних моделей з застосуванням методу клітинних автоматів вчені проводять дослідження впливу конфігурації транспортної мережі на швидкість руху транспорту, формування транспортних потоків, організацію ефективного контролю за трафіком і його управлінням, руху пішоходів вулицями міських районів і селищ та ін.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Acharya S.R. Motorization and Urban Mobility in Developing Countries Exploring Policy Options through Dynamic Simulation // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2005. – V. 6. – P. 4113 – 4128.
2. Agyemang-Duah K., Hall F. L. (1997). Spatial Transferability of an Ordered Response Model of Trip Generation // Transportation Research A. – 1997. – V.31. – № 5. – P.389-402.
3. Barlovic R., Schadschneider A., Schreckenberg M. Metastable States in Cellular Automata for Traffic Flow // European Physical Journal B. – 1998. – V. 5. – P. 793-800.
4. Bowman J. L., Ben-Akiva M. E. Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules // Transportation Research, Part A: Policy and Practice. – 2001. – V. 35A(1). – P.1-28.
5. Chang, Justin. 2006. Models of the relationship between transport and land-use: A review // Transport Reviews. – 2006. – V. 26,

No 3. – P. 325-350.

6. Dijkstra J., Jessurun J., Timmermans H. A Multi-Agent Cellular Automata Model of Pedestrian Movement // In M. Schreckenberg and S.D. Sharma(ed.): Pedestrian and Evacuation Dynamics – Springer-Verlag, Berlin, 2001. – P.173-181. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.alexandria.tue.nl/openaccess/Metis209483.pdf
7. Dong Xiaojing, Ben-Akiva M. E., Bowman J. L., Walker J. L. Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility // Transportation Research, Part A: Policy and Practice. – 2006. – V. 40, No 2. – P. 163-180.
8. Esser J., Schreckenberg M. Microscopic simulation of urban traffic based on cellular automata // Int. J. of Mod. Phys. – 1997. – С 8. – P. 1025–1036.
9. Hafstein S. F., Chrobok R., Pottmeier A. et al. A High Resolution Cellular Automata Traffic Simulation Model with Application in a Freeway Traffic Information System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ru.is/kennarar/sigurdurh/DHRCATSMATIS.pdf
10. Handy S. L., Niemeier D. A. Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives // Environment and Planning A. – 1997. – V. 29. – P. 1175-1194.
11. Hidas P. How Can Autonomous Agents Help Microscopic Traffic Simulation? // Workshop: Agents in Traffic Modelling, The Fourth International Conference on Autonomous Agents, Barcelona (2000) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.civeng.unsw.edu.au/staff/peter_hidas
12. Hoang Thuy Linh. A Cellular Automata model for mixed traffic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.transport.iis.u-tokyo.ac.jp/research/linh.pdf
13. Kicinger R., Bronzini M. Model of Self-Organizing Management Response System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.kicinger.com/publications/pdf/KicingerAATT2006.pdf
14. Kii M., Doi K. Multiagent land-use and transport model for the policy evaluation of a compact city // Environment & Planning B: Planning and Design – 2005. – V.32, № 4. – P. 485-504.
15. Kim C., Abubakar K., Obah O. Cellular Automata Modeling of En Route and Arrival Self-Spacing for Autonomous Aircrafts [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.hirstbrook.com/ck/18-3.pdf
16. Klügl F., Wahle J., Bazzan A., Schreckenberg M. Towards Anticipatory Traffic Forecast – Modelling of Route Choice Behaviour // Workshop: Agents in Traffic Modelling, The Fourth International Conference on Autonomous Agents, Barcelona (2000). – citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.4.8041
17. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // J. Physique. – 1992. - V. I 2. – P. 2221–2229.
18. Salvini P., Miller E. J. ILUTE: An Operational Prototype of a Comprehensive Microsimulation Model of Urban Systems // 10th International Conference on Travel Behaviour Research. Lucerne, 10-15. August 2003. – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.ivt.ethz.ch/news/archive/20030810_IATBR/salvini.pdf
19. Schelhorn T., O'Sullivan D., Haklay M., Thurstain-Goodwin M. STREETS: An agent-based pedestrian model. Technical Report 9, Center for Advanced Spatial Analysis, University College, London, April 1999. – http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper9.pdf
20. Suzuki T., Watanabe Y. Simulating Growth of Transportation Networks // The Eighth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'09) Zhangjiajie, China, September 20–22, 2009. – 348-355. – www.aporc.org/LNOR/10/ISORA2009F43.pdf
21. Veldhuisen K, Timmermans H. J. P., Kapoen L. L. Ramblas: A regional planning model based on the micro-simulation of daily activity travel patterns // Environment and Planning A. – 2000. V. 32. – P. 427-443.
22. Yang Q., Koutsopoulos H. N. A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems // Transp. Res. – 1996. – С 4. – P. 113–129.
23. Клітинний автомат. – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/>

Отримано 19.03.2013р.