

¹Оліскевич М. С., ²Мурований І.С., ³Хомин Н. Я.
¹Львівський національний університет ветеринарної медицини ім. С. З. Гжицького, Львів,
²Луцький національний технічний університет, Луцьк,
³Національний транспортний університет, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДОВОЛЕНОГО ПОПИТУ НА ПАРКУВАННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ЗАЛЕЖНО ВІД МІСТКОСТІ СТОЯНОК НА АВТОМОБІЛЬНІЙ МАГІСТРАЛІ

У статті розглядається проблема забезпечення умов відпочинку водіїв автомобільних транспортних засобів, які виконують міжміські й міжнародні перевезення. Екіпажі комерційного транспорту, виконуючи міжміські і міжнародні перевезення, повинні дотримуватись регламентів Європейського союзу 561/2006, з одного боку, а також правил паркування транспортних засобів обабіч автомагістралей. Для цього в Європі, в Україні зокрема, бракує місткості таких стоянок, які б забезпечили повноцінний відпочинок водіїв і охорону транспортних засобів та інші послуги. Переглянуто відомі методи обґрунтування місткості стоянок і виявлено їх недоліки, які полягають у використанні припущення, про лінійний характер залежності показників ефективності використання мережі стоянок від параметрів транспортного потоку. Для підвищення точності розрахунку було розроблено метод моделювання транспортних потоків, у якому є відома частка транспортних засобів, які мають бути поставлені на стоянку. Метод базується на імітаційному моделюванні на основі кліткових автоматів. Клітковий автомат використано в модифікованому вигляді. Модифікація полягає у тому, що застосовано двохвимірне поле з розміщеними на ньому клітинки з різними розмірами. Завдяки ітераційному процесу клітинки переміщуються у фіксованому полі, яке відображає відтинки магістралі, що досліджується, й виконує логічні маневри при дотриманні бажаної швидкості. Маневри є об'єктивно необхідними для кожного транспортного засобу. Розроблено алгоритм і комп'ютерну програму для імітаційного моделювання транспортного потоку й процесу паркування. Проведено експерименти для виявлення залежності коефіцієнтів заповнення стоянок і задоволення попиту на паркування від інтенсивності та щільності транспортного потоку при відомому його складі. З'ясовано нелінійний характер відповідних залежностей. Експерименти проводились також для збільшеної місткості автомобільних стоянок. Збільшення сумарної місткості стоянок не дає прямо-пропорційного ефекту задоволення попиту на паркування. Натомість отримано можливість обґрунтувати граничні умови, при яких стоянки працюють ефективно.

Ключові слова: транспортний потік, автомагістраль, місткість стоянки, імітаційне моделювання, кліткові автомати, заповнення стоянки.

ВСТУП

Водії автомобільних транспортних засобів, які виконують перевезення вантажів і пасажирів на міжміських і міжнародних маршрутах зобов'язані дотримуватись регламенту 561/2006 Євросоюзу стосовно тривалості роботи і відпочинку. Зокрема, нормується мінімальна тривалість міжзмінного і внутрізмінного відпочинку, порушення яких приводить до штрафних санкцій. Для того, щоб цих регламентів дотримуватись, водії зобов'язані використовувати влаштовані стоянки з відповідною охороною та рівнем сервісу і не порушувати безпеки дорожнього руху. Мережа таких стоянок в країнах Європейського Союзу (ЄС) є досить розвинена [1]. Однак, і у цих країнах водії комерційного транспорту стикаються з проблемою браку місць для паркування, особливо у вечірній час, і на магістралях, що відносяться до Європейських транспортних коридорів. Тоді, коли Україна буде прийнята до ЄС, то ця проблема також стане актуальною для більшості українських перевізників. Вирішити її буде змога при обґрунтуванні мережі автостоянок. При цьому потрібно розуміти вплив таких факторів, як вартість земельних ділянок обабіч магістралі, щільність розташування стоянок на заданій території, місткість паркінгів, інтенсивність, склад і щільність транспортних потоків магістралей на прийняття проектних рішень. Складність обґрунтування полягає в тому, що у водіїв найчастіше відсутня інформація про вільні місця на автостоянках поблизу, а велика інтенсивність транспортних потоків не дає їм змоги прибути до запланованого місця відпочинку вчасно. Якщо таке трапляється, то пошук найближчої стоянки може перевищувати дозволений час, який був дозволений регламентом. З іншого боку, якщо водій завчасно припинить рух на маршруті з метою відпочинку, то частка марного простою транспортного засобу збільшиться, а продуктивність зменшиться.

Для того, щоб визначити параметри проекрованої мережі стоянок, було виконано мультиагентне моделювання, яке дає змогу визначити параметри транспортних потоків і виконати прогноз процесів паркування точніше.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Паркування вантажівок може стати серйозною проблемою безпеки, коли водій не має своєчасної інформації про те, де є вільні місця. Тоді водій повинен вирішити: продовжувати рух втомлений в пошуках вільних місць для паркування, або паркуватися з порушенням правил, наприклад, на узбіччях та з'їздах автомагістралі. Обидві ситуації створюють серйозну загрозу безпеці. За таких обставин, коли правоохоронці стикаються з вантажівками, припаркованими незаконно, вони можуть відчувати себе зобов'язаними розбудити водіїв, щоб вони перемістили свої транспортні засоби, тим самим змушуючи їх продовжувати рух (можливо, понад дозволену законом межу паркування), щоб знову шукати легальну стоянку. Також спостерігається втрата продуктивності та збільшення викидів палива в результаті додаткового часу, який водії витрачають на пошук вільних місць для зупинки.

Проблема забезпечення парко-місцями міжміського автотранспорту є достатньо широко розкрита в зарубіжній літературі, оскільки стоянка автомобілів в неустановлених місцях в Європейському Союзі є суворо заборонена і крається значними покараннями [2].

У замському паркуванні автомобільного транспорту слід розрізняти декілька частин загальної проблеми. Це, по-перше, короткотермінове і довготермінове паркування, а по-друге, паркування комерційного та особового транспорту. Фактори, що впливають на попит на комерційне паркування для вантажівок, включають кількість та відсоток вантажівок у потоці руху, відстань між стоянкою для вантажівок та основною магістраллю, відстань між сусідніми стоянками для вантажівок, або зоною відпочинку, а також зручності, що надаються на стоянці для вантажівок. Дослідження, проведені в американському штаті Вірджинія показують, що дефіцит парко-місць спостерігається не на усіх автомагістралях штату. Однак, на деяких магістралях, наприклад I-95, співвідношення попит/пропозиція досягає 1,6. Середній попит на комерційне паркування вантажівок на зупинках перевищувало пропозицію на 14-32%, на час проведення досліджень (2004 рік). Було зроблено прогноз, що в майбутньому, якщо не буде надано нових стоянок, то співвідношення попиту до пропозиції зросте приблизно до 1,62-1,70 у 2020 році (відсутність збільшення приблизно дорівнює 5-відсотковому збільшенню частки вантажівок). Зростання попиту пов'язують не тільки із збільшенням автомобіле-потоків, але й з вимогами до якості наданих послуг (комфорт відпочинку водіїв, наявність обслуговування, охорони автомобілів тощо). Якщо паркувальні майданчики для комерційних вантажівок не розширити, дуже ймовірно, що більше вантажівок буде припарковано на узбіччях, що прилягають до зон відпочинку [3].

При проектуванні мережі стоянок вантажного транспорту на практиці використання рекомендацій, сформованих теоретичними дослідженнями, невідомі. В Україні до цього часу використовують методику розрахунку, яка є аналогом розрахунку потужності придорожньої станції технічного обслуговування автомобілів у замській зоні. Розрахунок базується на низці нормативів [4]. Нормативи приймаються залежно від категорії дороги та відстані до найближчої станції технічного обслуговування і є сталими. Зокрема, такі показники, за якими вибираються норми площі стоянки, як частка вантажного автотранспорту, частка з'їздів автомобілів з дороги, є середніми сталими величинами. Такі ж величини, як бажана швидкість автомобілів у потоці, часові обмеження водіїв на прийняття рішень взагалі не враховуються. Не враховано також вплив рівня сервісу стоянки. Крім того, таку методику неможливо використати для обґрунтування мережі стоянок, оскільки в ній відсутній зв'язок між місцем розташування, потужністю і добовим розподілом попиту на паркування.

Відомі дослідження [5, 6] в яких використовується кореляційний аналіз параметрів стоянкових майданчиків та тих, що пов'язані з прилеглими дорогами (інтенсивність руху, технічна швидкість). Результати описують рекомендовану місткість паркування в аналізованому регіоні з точки зору кількості доступних стоянок для важких вантажівок, розміру додаткової експлуатаційної зони та наявності елементів безпеки (огорожі, освітлення, фізичний захист, моніторинг). Тісна кореляція існує між деякими параметрами (тип дороги поблизу, розмір площі та кількість місць для паркування). Однак в кореляційних зв'язках є значні відмінності в результатах між приватними та громадськими паркінгами. Також у згаданих публікаціях відсутні рекомендації щодо щільності мережі стоянок у вибраних регіонах.

У статті [1] розглядається проблема погіршення стану довкілля, зокрема рівня забруднення атмосфери довкола транспортних терміналів внаслідок утворення черг вантажівок до розвантаження і до місця паркування. Для того, щоб поєднати проблему зростання викидів і організацію руху вантажівок на терміналах автори використали симуляцію процесів в середовищі VISSIM. Хоча було відмічено, що симуляція процесів не дає достатньо точного результату, все ж було з'ясовано, що

кількість зайнятих парко-місць і, відповідно, рівень заповнення майданчика для паркування лінійно залежать від сумарного вантажопотоку на терміналі.

Кліткові автомати успішно застосовують для імітації та відтворення закономірностей в багатьох галузях, наприклад охороні довкілля [7], плануванні складських приміщень та контейнерних майданчиків, дослідження поведінки груп рухомих об'єктів [8], зокрема мобільних роботів [9]. Відомі також приклади вдалого застосування моделей кліткових автоматів для сучасних досліджень транспортних потоків, у тому числі з автономними транспортними засобами [10, 12, 20]. Для таких моделей характерно, що вони адекватно відображають процеси на макроскопічному рівні при конструюванні їх з достатньо великою кількістю агентів.

Результати попередніх досліджень показують, що відсоток важких вантажівок та конкретне землекористування впливають на рівень зайнятості стоянок [2]. Щодо часу пошуку паркування, ключовими предикторами є відстань до основних доріг та зайнятість у певних галузях промисловості. Ці результати дозволяють виявити гарячі точки для простою та пошуку паркування вантажівок, сприяючи цілеспрямованим втручанням, таким як оптимізація планування землекористування, покращення інфраструктури навколо основних доріг та розширення паркувальних можливостей у комерційних зонах.

На задоволення попиту у парко-місцях значний вплив має забезпечення водіїв інформацією про стан заповнення паркувальних майданчиків у найближчому довіклі, а також адекватність прийнятих водіями рішень. У роботі [12] представлено багатоагентну інформаційну систему для узгодженого управління паркувальними місцями в зонах відпочинку на дорогах. Ця система динамічно адаптується до уподобань та потреб водіїв вантажівок щодо запитів на паркування. Результати показують, що кількість незаконних паркувань зменшується, що призводить до підвищення безпеки дорожнього руху.

В інформаційній системі для інформування водіїв [13] описано використання технологій донесення оперативної інформації водіям для пошуку вільних парко-місць. Ефективність виявлення на кожне місце зазвичай перевищує 95%, що корелює із загальними розбіжностями в кількості зайнятих місць від ± 1 до ± 3 одиниць. Загалом система стійка до різних джерел спостережуваних факторів, зареєстрованих під час оцінювання. Однак, така інформаційна система не враховує, що інформація про вільні парко-місця є доступна багатьом водіям і є актуальною для тієї частини з них, які виконують поїздку і у найближчий час планують регламентований відпочинок. Хто з водіїв зможе скористатись наявною інформацією, залежить від інтенсивності транспортних потоків на мережі, крейсерської швидкості автомобілів, складу потоків і розподілу ресурсу робочого часу водіїв.

На даний час дослідниками докладено значних зусиль та технологічних розробок у сфері інтелектуального паркування для легкових автомобілів. Однак, технології паркування вантажівок відстають у розвитку та впровадженні [13]. У статті [5] наведено огляд поточного стану досліджень інтелектуального паркування вантажівок, включаючи пов'язані дослідження паркування міських пасажирських автомобілів.

Дослідження, викладене в статті [14] заповнює прогалину в знаннях про закономірності паркування вантажівок, зосереджуючись на інтелектуальних інформаційних системах паркування, моделях прогнозування даних та аналізі поведінки паркування. У цьому огляді також розглядаються нові рішення в інтелектуальних системах паркування. Однак, запропоновані підходи для вирішення проблеми не дають чіткого бачення перехідних процесів впровадження новітніх рішень. Крім того, представлені поточні проблеми, можливі рішення та майбутні напрямки досліджень.

На даний час проектування мережі стоянкових майданчиків на автомагістралях, зокрема вздовж транспортних коридорів Європи та Азії виконується нормативним методом. За цього щільність стоянок на трасі та їх місткість залежить від інтенсивності й складу транспортного потоку (частки вантажівок у потоці). Зокрема, в Європейському Союзі Згідно з переглянутими правилами Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T), країни-члени ЄС повинні забезпечити розвиток сертифікованих безпечних стоянок кожні 150 км на основній мережі до 31 грудня 2040 року [2]. Такі ж вимоги висуваються і до місця розташування стоянок для вантажівок. Вони повинні бути безпосередньо на мережі або в межах 3 км від з'їзду з неї, що матиме переваги для планування маршрутів. Однак, при цьому результати досліджень впливу інтенсивності, щільності транспортного потоку, часу доби та використання інформаційних технологій на місткість та розташування стоянок не досліджено комплексно. При розв'язанні проблеми дефіциту парко-місць необхідним є мультиагентний підхід до формування попиту на паркування.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою досліджень було виявити характер впливу параметрів транспортного потоку на автомагістралі на ступінь заповнення / дефіциту парко-місць на стоянках для вантажних автомобілів, а також рівня інформаційного забезпечення та характеру прийнятих рішень водіїв. Для досягнення даної мети виконано такі задачі: 1) розробити методику імітаційного моделювання процесу наповнення / звільнення стоянок; 2) провести імітацію керування транспортним засобом і міжзмінним відпочинком водіїв, які впродовж пікового навантаження перебувають на заданому відтинку магістральної мережі; 3) розробити рекомендації щодо впровадження отриманих результатів для вдосконалення розрахунку ємності автостоянок.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. РОЗРОБЛЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ У ВИГЛЯДІ КЛІТКОВИХ АВТОМАТІВ

Моделювання процесу паркування виконано з допомогою двохвимірних, модифікованих кліткових автоматів з двохнаправленим рухом транспортних засобів. Від класичних відомих моделей ми перейняли основні принципи її застосування:

- 1) на новий стан кожної клітини можуть вплинути тільки зовнішнє середовище;
- 2) система моделювання є однорідною: правила прийняття рішень є сталими в будь-якій області модельного відтинку магістралі; введено також крайові умови на початковий стан і кінцевий стан автомата;
- 3) скінченність множини можливих станів клітини – це умова, яка необхідна для отримання нового стану, щоб виконати кінцеву кількість операцій;
- 4) одночасний перехід в новий стан для всіх клітин – значення у всіх клітинах змінюються одночасно і одночасно, в кінці ітерації, а не в міру обчислення;
- 5) моделювання є дискретним: будь-яка якісна і кількісна зміна стану системи відбувається в дискретні моменти часу, які мають фіксовану періодичність – інтервал часу τ , який вважатимемо кроком моделювання [8, 9, 11].

Модифікація полягає у тому, що переміщення об'єктів моделювання вздовж і впоперек області кліткової решітки відбувається за особливими правилами. Щоб сформулювати ці правила, було прийнято такі допущення і умови. Розглядався відтинок автомобільної магістралі, вздовж якого може міститись 3 стоянки автомобілів з різною кількістю парко-місць. Оскільки, за нормами ЄС відстань між стоянками становить 15..30 км, то максимальна довжина модельного відтинку магістралі становила 120 км з трьома стоянками, які є рівновіддаленими на 30 км. Такий розмір модельного відтинку вибрано з тих міркувань, що максимальна інтенсивність транспортного потоку на міжміських дорогах в Україні становить $N = 2000$ автомобілів / добу, при трьох смугах руху в одному напрямі, і $N = 1300$ автомобілів / добу – при двох. Максимальна щільність потоку – $R=100..120$ автомобілів / км на одну смугу і у цьому потоці частка вантажного транспорту, якому потрібно зупинитись для короткотермінового (до 1 години), або довготермінового (понад 11 годин) відпочинку водіїв становить 8-12% [15]. Таким чином інтенсивність заїзду транспортних засобів (ТЗ) на стоянку становить $N_{park}=0,08..0,12N$, де N – сумарна інтенсивність транспортного потоку на кожному напрямку магістралі. Так обчислюється середнє фактичне наповнення автостоянок. Однак, при цьому не враховуються пікові параметри потоку і те, що середню потребу місць для відпочинку водіїв комерційного транспорту потрібно збільшити у тому випадку, якщо місткість зупинних майданчиків є меншою, ніж фактична потреба.

В роботі була сформульована і розв'язана така задача. Розглядалась автомагістраль, яка складається з 4 смуг руху, по дві в протилежних напрямках. Смуги є розділені подвійною горизонтальною розміткою типу 1.3 згідно з правилами дорожнього руху. В кожному напрямку є можливість транспортних засобів для обгону. З'їзд на стоянки обабіч дороги є можливим як в прямому, так і в зворотному напрямку магістралі. Виїзд з кожної стоянки на магістраль є теж дозволеним з обох сторін. Інтенсивність виїзду ТЗ зі стоянок $N_{drive} \approx 0,05N_{park}$ в піковий період.

ТЗ відображені в автоматі залежно від їх динамічних габаритів. Без суттєвого зниження точності, враховуючи, що довжина переміщення, яка має бути відображена моделюванням, є у декілька десятків разів більша, ніж довжина відтинку магістралі $L_{sum}=12000$ клітин (120000 м), а також мету цих досліджень, усі моделі учасників транспортного потоку тут розглядаються як однокліткові, двокліткові, або, максимально, – трикліткові, що відповідає динамічним габаритам транспортних засобів, відповідно, 10, 20, 30 м. На магістральних міжміських дорогах ці габарити вимірюються реально в інтервалі від 7,5 до 29 ± 2 м. Оскільки довжину однієї клітинки автомата вибрано 10 м, а тривалість одної ітерації – 1 с, то переміщення об'єкта на одну клітинку відповідає

абсолютній швидкості відносно початку координат, точки А, 10 м/с. Початком координат в цій моделі є точка А, яка є справа відтинку магістралі, що розглядалась (рис. 1).

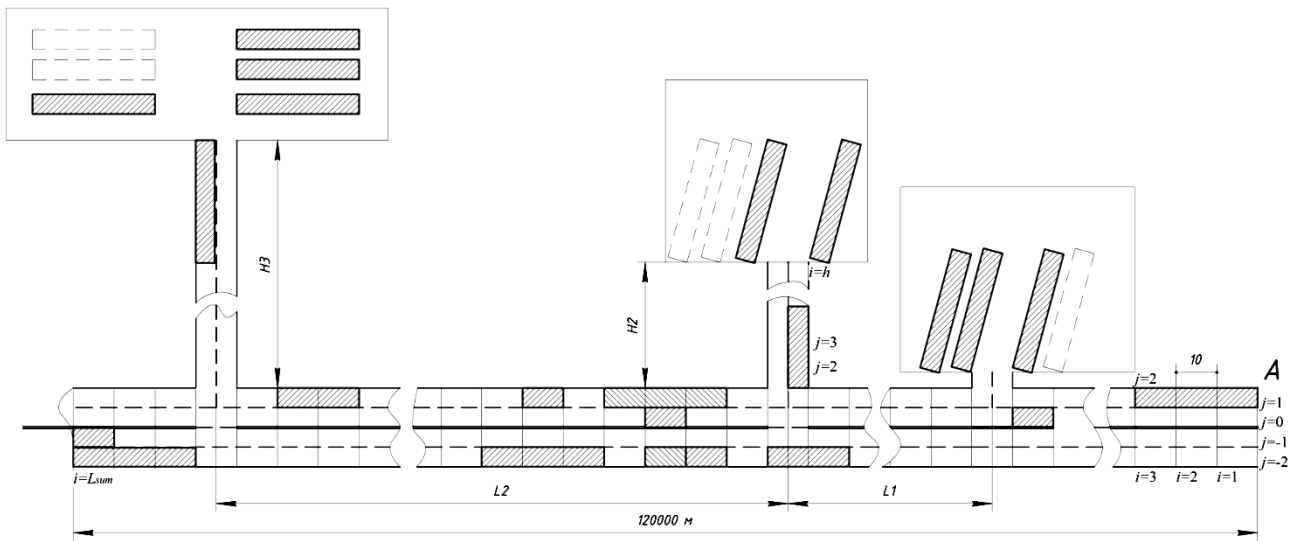


Рисунок 1 – Схема моделі кліткового автомату: L_{sum} – відтинку магістралі, що розглядається; $i=1..L_{sum}$ – номер клітини по горизонталі; $j=1..H_{max}$ (максимальна відстань від магістралі до стоянки); $L_1..L_3$ – відстань від початку координат моделі до заїзду на стоянку; $H_1..H_3$ – відстань від магістралі до стоянки

Кількість автомобілів, які в даному інтервалі часу перебувають на відтинку магістралі в прямому і зворотному напрямках, визначається з виразу:

$$Z_{sum} = R_t \cdot L_{sum}, \quad (1)$$

де R_t – щільність транспортного потоку у заданому інтервалі часу, в одному напрямку, на обох смугах, авт./км; L_{sum} – довжина відтинку магістралі, що розглядається, км.

Кожному ТЗ, який перебуває на магістралі впродовж одного кроку моделювання $\tau = 1$ с, присвоюється індекс $z = 1..Z_{sum}$. Сумарна кількість автомобілів, які перебувають на прямій смузі магістралі Z_{sum}^{dir} (рух від точки А – ліворуч), і сумарна кількість автомобілів на зустрічній смузі Z_{sum}^{rew} – випадкові величини з наперед відомим розподілом. До множини автомобілів, які обчислюються за виразом (1), не входять ті, які перебувають на стоянках, які розташовані обидві заданого відтинку магістралі. ТЗ, які мають довготермінову стоянку для відпочинку водіїв можуть залишати стоянку впродовж часу моделювання T і виїжджати на магістраль на пряму, або зворотну смугу. Кількість таких автомобілів, що залишають стоянку в за одиницю часу, приймають на практиці, як частку від інтенсивності заїзду на стоянку [3].

Якщо автомобіль хоча б частково виходить за межі заданого відтинку магістралі впродовж кроку τ , то він втрачає ідентифікацію, наступний розгляд, та відповідний індекс z . Цей індекс стає резервним і присвоюється наступному ТЗ, який в'їжджає на відтинку магістралі в наступному кроці моделювання $\tau+1$. Якщо резервного індексу немає (усі Z_{sum} впродовж τ і $\tau+1$ кроку моделювання перебувають на відтинку магістралі), то додатковий автомобіль не може в'їхати на відтинку ні справа, ні зліва початку координат. Автомобілі, які заїжджають на будь-яку стоянку в межах відтинку, також вилучаються з множини клітин моделі. Виїзд автомобілів зі стоянок відбувається зі значно нижчою інтенсивністю, ніж в'їзд. Таким чином середній параметр щільності потоку упродовж заданого часу коливається. Щільність потоку змінюється вздовж магістралі через випадковий розподіл бажаних та дійсних швидкостей і через різний склад транспортного потоку, та через різні динамічні габарити. На початкових кроках імітації усі автомобілі на прямих і зустрічних смугах перебувають в максимально щільному потоці. Далі цей потік розсосереджується і набуває ознак стаціонарності. Вздовж відтинку магістралі є 12000 клітинок. Впоперек є стільки клітинок, скільки є смуг на магістралі, плюс кількість клітинок, що відповідає відстані від краю магістралі до найбільш віддаленої стоянки. Клітини вздовж магістралі мають індекси $i=1,2,..12000$. Клітини впоперек магістралі мають індекси $j=-2, -1, 0, 1, \dots H_{max} / -H_{max}$, де H_{max} – максимальна відстань від осі магістралі до найбільш віддаленої стоянки. Вісь магістралі має індекс $j = 0$. Таким чином індекс клітин першої смуги в прямому напрямку є $j=2$. Стоянки вантажівок мають бути розташовані вздовж

магістралі так, щоб задовольнити попит паркування. Відомо, що інтенсивність транспортного потоку має вплив на такий попит [16, 17]. Однак, ця залежність має, насправді, складний, нелінійний характер. Так, кожен водій комерційного автомобіля, вибираючи місце паркування для довготермінового добового відпочинку, намагається використати робочий час максимально, свідомо користуючись критерієм:

$$t_{\min}^{park} - t_{\min}^{rest} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де t_{\min}^{park} – час руху до найближчої стоянки, год.; t_{\min}^{rest} – мінімальний резерв часу, впродовж якого водій може керувати транспортним засобом.

Прагнучи заощадити робочий час, водій ризикує порушити регламенти праці й відпочинку ЄС 561/2006, якщо найближча стоянка виявиться без вільних місць. Крім того час t_{\min}^{park} є величиною випадковою, яка залежить не тільки від бажаної середньої швидкості ТЗ, а й від інтенсивності, щільності й складу транспортного потоку. Оскільки щільність потоку є змінною вздовж відтинку магістралі 120 км, то водій може не досягнути бажаної швидкості, і не встигнути запаркуватись, навіть якщо вільні місця на найближчій стоянці є. Тому максимальна місткість кожної стоянки має бути обґрунтована шляхом моделювання вмотивованої поведінки усіх учасників дорожнього руху на відтинку L_{sum} . Максимальна місткість стоянок – це кількість трьохклітинних блоків (автомобіле-місць), що відображають автомобілі-тягачі з напівпричепом на стоянці. Рівень заповнення стоянки оцінюємо коефіцієнтом заповнення:

$$\eta_{park} = \frac{P_x}{P_{\max.x}}, \quad (3)$$

де P_x – кількість зайнятих парко-місць на стоянці x ; $P_{\max.x}$ – максимальна місткість x -ї стоянки. Мінімальний рівень задоволення попиту водіїв на вільні парко-місця для відпочинку:

$$\eta_{dem} = \frac{\sum (P_{\max.x} - P_x)}{N_{park}^{peak} \cdot \tau} \quad (3)$$

де N_{park}^{peak} – інтенсивність потоку вантажівок на паркування у піковий період, авт. / год.

На початку моделювання стоянки приймаємо заповненими на мінімальний рівень $\eta_{park}=0.3$. Впродовж доби цей рівень може зростати, зменшуватись, але досягне свого максимуму в піковий період, який, переважно, припадає на час 19⁰⁰-23⁰⁰ і може досягати цілковитої відсутності вільних парко-місць. Якщо $\eta_{park}=1$ для стоянки, до якої наблизився транспортний засіб, то він не займе парко-місце, а його водій змушений шукати іншу стоянку попереду маршруту. Якщо водій не знайде таку стоянку, то він вимушено порушить правила дорожнього руху і зупиниться в недозволеному місці. Таким чином, мінімальне значення коефіцієнта $\eta_{dem} = 0$, якщо вільних місць немає. Максимальне значення коефіцієнта $\eta_{dem} \geq 1$.

В сучасних умовах пошук парко-місця розпочинається водієм залежно від наявної інформації про наповненість найближчих стоянок. І тут можливі декілька випадків:

- 1) екіпаж вантажівки не володіє жодною інформацією про стан найближчих стоянок;
- 2) інформація про вільні місця на найближчих стоянках систематично надходить до водіїв;
- 3) водії автомобілів мають заброньовані місця для паркування, незалежно від тривалості їх подорожі.

Варіант 3 є детермінованим щодо вибору рішення і не приводить до жодної проблеми, крім витрат на бронювання, які можуть бути необґрунтовано великими через випадковий характер транспортного потоку. Так, якщо вільних парко-місць є більше, ніж потрібно для автомобілів, що вчасно зупинились без втрат робочого часу водіїв, то таке бронювання є недоцільним. Варіант 2 не є розповсюдженим в Україні й вимагає окремих досліджень. Тому нами було розглянуто варіант 1, який дає підстави для пошуку оптимальних рішень. Якщо водій не володіє жодною інформацією про вільні парко-місця, але дозволений час його руху за кермом є t_{\min}^{rest} , то він повинен дбати, щоб виконувалась нерівність:

$$t_{\min}^{rest} \leq t_{drive} + t_{arrive}, \quad (4)$$

де t_{drive} – тривалість керування ТЗ, год.; t_{arrive} – час, необхідний для прибуття до найближчої стоянки для відпочинку, год. В такому разі водій повинен зарезервувати багато часу, щоб встигнути вчасно припаркуватись. Цього часу може бути забагато, тому робочий час буде витрачатись непродуктивно.

Якщо інформація про вільні парко-місця надходить регулярно, то це ще не означає, що водій встигне зайняти вільне місце на стоянці. Для цього водієві потрібно добратись до зупинки до того моменту, коли інші транспортні засоби можуть там зайняти усі вільні місця. Водієві заважатиме наявний транспортний потік і те, що інші водії також прагнуть здійснити паркування. Власне, така ситуація потребує визначення, яке може бути доступним при виконанні комп'ютерної симуляції.

Автомобілі на магістралі підпорядковуються загальному потоку, однак мають власні пріоритети руху [18]. Кожен водій має бажану середню швидкість руху Vd_z , яка може трактуватись двома способами [19]:

1) швидкість руху має дорівнювати максимальній швидкості руху $V_{\max,z}$ на даній магістралі, яка дозволена даному транспортному засобу, і яку він зможе розвинути, враховуючи тягово-динамічні показники;

2) бажана швидкість руху Vd_z є випадковою величиною, яка залежить від особистих суб'єктивних критеріїв вибору водія.

Оскільки у цих дослідженнях розглядалися лише об'єктивні причини прийнятих рішень, тому дотримуємось способу розподілу швидкості (1).

Враховуючи названі передумови, було розроблено алгоритм імітації транспортного потоку і постановки на паркування транспортних засобів з використанням методики клітинних автоматів. Для розробленого алгоритму складена комп'ютерна програма мовою програмування `Derphi`, яка відрізняється від відомих програм мікромодельовання транспортного потоку акцентуванням уваги на вплив параметрів транспортного потоку на параметри мережі стоянок. Алгоритм складається з ініціалізації (кроку 0), та наступних циклічних кроків імітації й завершення моделювання за модельний час T (рис.2).

Крок 0. При ініціалізації початкових даних задають константи: T – тривалість імітації, приймається такою, при якій інтенсивність транспортного потоку в прямому N_{dir} і зворотному N_{rev} напрямках є приблизно сталою й відповідає піковому періоду використання автостоянок; t_{step} – тривалість кожного кроку моделювання (модельний час), с. Основна увага моделювання була відведена піковому навантаженню стоянок – інтервалу вечірнього часу тривалістю три години; максимальна допустима швидкість ТЗ для умов даної моделі становить 30 м/с – для легкових і вантажівок з повною масою до 3,5 тон, і 25 м/с – для вантажівок і автобусів з повною масою понад 3,5 тон. Мережа паркувальних майданчиків заданого відтинку магістралі описується трьома величинами: дистанціями між стоянками L_{p1}, L_{p2}, L_{p3} , номінальними місткостями стоянок P_1, P_2, P_3 , відстанями від магістралі до стоянки H_1, H_2, H_3 .

До величин, які генеруються випадковим чином на цьому кроці відносяться: R_{dir}, R_{rev} – щільність, відповідно, прямого і зворотного потоків на усіх чотирьох смугах магістралі. Щільність транспортного потоку вздовж магістралі є нерівномірною. Її величина залежить від динамічних габаритів автомобілів $typZ$, бажаних швидкостей автомобілів в потоці Vd_z , інтенсивності з'їзду автомобілів з магістралі для паркування N_{park} і виїзду зі стоянки N_{drive} , які також є випадковими масивами. Вважалось, що виїжджають зі стоянок у час пік ті автомобілі, які зупинились для короткотермінового відпочинку водіїв. Генерується випадково також допустимий мінімальний час водіїв t_{\min}^{rest} , який вони мають щоб зупинитись на стоянці.

Після ініціалізації початкових даних обчислено загальну кількість автомобілів за виразом:

$$Z_{sum}^{dir} = R_{dir} \cdot N_{dir}, \quad (5)$$

$$Z_{sum}^{rev} = R_{rev} \cdot N_{rev}. \quad (6)$$

Загальна кількість автомобілів поділяється за трьома типами: $k=1$ – легкові; $k=2$ – мікроавтобуси і вантажівки класу N_1 , $k=3$ – N_2 , великовагові вантажівки класу N_3 і автобуси великого класу). Їх кількість визначаємо за виразами:

$$\text{для прямого напрямку, } Z_k^{dir} = Z_k^{dir} \cdot g_k \quad (7)$$

$$\text{для зворотного напрямку магістралі, } Z_k^{rev} = Z_k^{rev} \cdot g_k, \quad (8)$$

де g_k – випадкова величина, яка визначає частку ТЗ типу $k = 1, 2, 3$, які перебувають впродовж будь-якої миті з інтервалу T на даному відтинку магістралі.

На нульовому кроці моделювання усі отримані клітинки розміщують на початку прямих і зворотних смуг щільним потоком і вони отримують відповідні координати $X[step; z]$, $Y[step; z]$, а також тип $typZ[z]$, де $step$ – номер кроку моделювання, z – номер автомобіля, що відображений клітинкою на магістралі. Правила переходу заповнених клітинок залежать від подій, які обов'язково

відбуваються з на магістралі, якщо склались відповідні умови. Кількість таких подій – скінченна, однак, послідовність реалізації цих подій для усіх клітинок є обґрунтованою, виходячи з їх пріоритету та з умов безпеки руху.

Процедура 3. *Гальмування*. На нульовому кроці алгоритму усі ТЗ, які перебувають в рамках відтинку магістралі, мають однакову поточну швидкість і розташовані на початку кожної смуги з максимальною щільністю. Однак бажана швидкість гурту автомобілів на одній смузі є випадковою величиною, що характеризується законом розподілу Ерланга [20].

Тому перша клітинка в колоні на кожній смузі на нульовому кроці не застосовує процедури гальмування, оскільки попереду вона не має перешкод. Починаючи з другої і наступних клітин, які розташовані праворуч (на прямому напрямку), або ліворуч (на зворотному напрямку), від попередників, і мають бажану швидкість, яка є більшою, ніж у попередників, повинні зменшити швидкість, і бути переміщені ліворуч на таку кількість клітинок, яка відповідає швидкості їх попередника:

$$\Delta x[\text{step}, z] = Vd_{z-1} \cdot t_{\text{step}}, \quad (9)$$

де t_{step} – тривалість одного кроку моделювання, с.; Vd_{z-1} – швидкість попередника для z -го ТЗ, м/с.

Нова координата ТЗ дорівнюватиме:

$$x[\text{step}, z] := x[\text{step} + 1, z] + \Delta x. \quad (10)$$

Якщо бажана швидкість z -го ТЗ є меншою, ніж попередника, то гальмування не потрібне. При цьому сповільнення автомобіля повинно бути не більше, ніж допустиме j_{max} .

Автомобілі-лідери завжди мають пріоритет на дорозі, однак такі ТЗ є обмежені в інтенсивності гальмування. Тому, виконуючи процедуру гальмування, потрібно вимушено рекурсивно переміщати ліворуч усі заповнені клітинки, які стоять на шляху z -ї. Цю процедуру, виходячи з особливостей обчислення переміщень (9), потрібно виконувати за порядком координат зліва-направо.

Для усіх кроків $\text{step} \geq 1$, виконання процедури є аналогічним.

Процедура 4. *Прискорення*. Якщо фактична швидкість z -го ТЗ менша, ніж бажана, тобто $V[\text{step}; z] < Vd_z$, то йому потрібно розігнатись до цієї швидкості з прискоренням, яке допустиме для такого маневру, але не може перевищувати значення $j_{\text{max},z}$. Здійснити це можна, якщо попереду цього об'єкта є вільні клітинки. Після виконання прискорення об'єкт приймає таку швидкість залежно від того, досягнута бажана, чи ні, і чи є перешкода для виконання подальшого відносного руху. Якщо вільних клітинок попереду об'єкта, який розганяється, немає, то розгін не відбувається. Якщо вільних клітинок є стільки, що $(Vd_i - [V\text{step}; z]) \leq \Delta x_z$, де Δx_z є кількість вільних клітинок, то об'єкт набуває швидкості, що дорівнює швидкості попередника. Якщо $(Vd_i - [V\text{step}; z]) > \Delta x_z$, то об'єкт набуває бажаної швидкості.

Процедура 5. *Обгін, або зміна смуги руху*. Цей маневр моделюються в клітковому автоматі при наявності сприятливих умов, відсутності обмежень, і якщо є потреба збільшити швидкість $V[\text{step}; z]$ до бажаної. Обгін є допустимим при відсутності розділової суцільної лінії між смугами і якщо є хоча б одна паралельна смуга, по якій можна виконати маневр. Якщо є дві смуги в одному напрямку, то виконується перебудова в ліву смугу. Правила виконання обгону в цьому автоматі є такими ж. Прискорення об'єкта не повинно перевищувати допустиме максимальне j_{max} . Обгін розпочинається, якщо на паралельній смузі, на безпечній дистанції позаду відсутній ТЗ, що наближається. Обгін виконується, якщо перед об'єктом-попередником є не менше двох вільних клітинок; перевірка наявності вільних клітин виконується аналогічно як і для процедури розгону; при дотриманні усіх зазначених вимог обгін виконується автоматично, незалежно від можливої поведінки водія; після виконання обгону об'єкт набуває швидкості, яка дорівнює його бажаній, або швидкості попередника; процедура зміни смуги руху, або ж вертикальне переміщення клітинки в автоматі відрізняється від обгону тим, що потрібно обчислити кількість вільних клітинок позаду об'єкта і при відсутності перешкоди здійснювати маневр.

Якщо крайній в кінці смуги ТЗ наблизився і перетнув межу відтинку магістралі, це перевіряється в процедурі 7 з прийняттям наступних рішень. Швидкість усіх переміщених вперед об'єктів дорівнює швидкості z -го. Якщо було виявлено хоча б один об'єкт, який перетнув межі відтинку попереду, то крок 0 на цьому завершується і алгоритм переходить до наступного кроку $step:=1$. На нульовому кроці обчислення показників використання автостоянок і задоволення попиту паркування не виконується. Таке обчислення відбувається з першого кроку циклічної ітерації.

В алгоритмі є передбачені процедури перевірки і встановлення ТЗ на автостоянку. Перевірки полягає у виконанні умови (4), а також наявність вільних місць на трьох наявних стоянках відтинку. При виконанні постановки на стоянку ТЗ переміщається вертикально по координаті y_z в автоматі, відповідно до віддалі H_i від осі магістралі до стоянки. Тривалість такого переміщення враховується в часі t_{drive} . Алгоритм імітаційного моделювання триває до завершення модельного часу T . Алгоритм складається з вищеписаних процедур (див рис. 2) і реалізований у середовищі мови Delphi 10.2.

2. ПОКАЗНИКИ ЗАДОВОЛЕННЯ ПОПИТУ НА ПАРКУВАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Імітаційне моделювання виконувалось при змінних початкових умовах: сумарній інтенсивності транспортного потоку на прямому і зворотному напрямку магістралі $N = \{45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80\}$ авт./год., а також при змінній середній щільності транспортного потоку $R = \{60, 80, 100\}$ авт./км. В першій групі дослідів було проведено моделювання при наявності трьох стоянок на довжині відтинку магістралі 120 км із загальною місткістю 45 парко-місць (рис. 3). На отриманих даних накладено апроксимовані криві, які відображають залежність критеріїв функціонування стоянок від параметрів транспортного потоку.

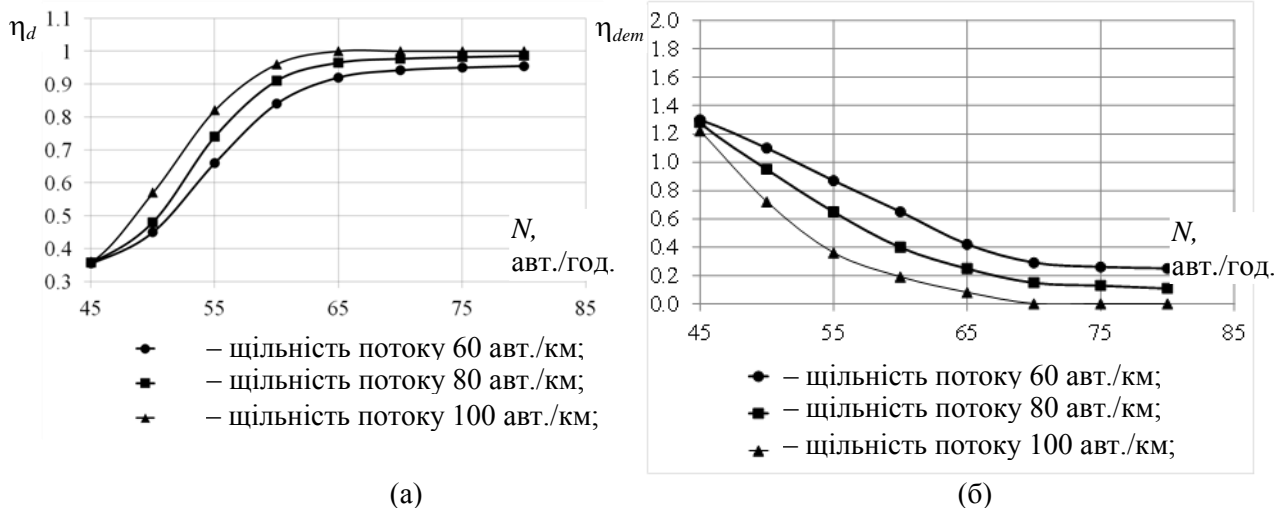


Рисунок 3 – Залежність показників заповнення автостоянки (а) і задоволення попиту на паркування (б) від параметрів потоку при сумарній місткості трьох стоянок 45 автомобіле-місць

У другій групі експериментів сумарну місткість автостоянок було збільшено до 60, тобто на 33% (рис. 4).

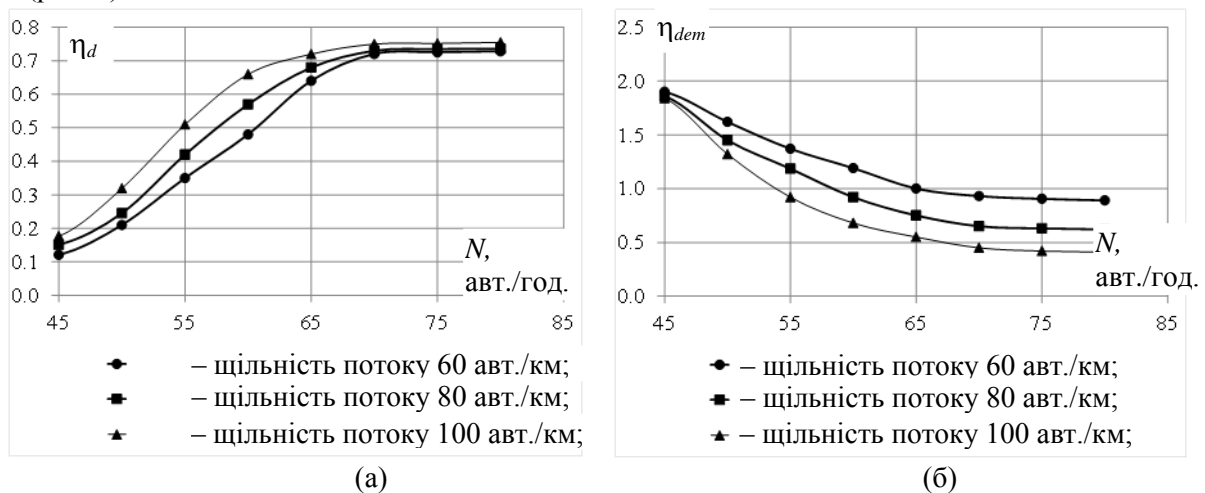


Рисунок 4 – Залежність показників заповнення автостоянки (а) і задоволення попиту на паркування (б) від параметрів потоку при сумарній місткості трьох стоянок 60 автомобіле-місць

Отримані залежності дають змогу виявити закономірності функціонування мережі стоянок і підвищити точність розрахунку їх місткості.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

З характеру зміни рівня заповнення автостоянки (див. рис. 3а, рис. 4а) в час пік на автомагістралі можна визначити такий характер залежності коефіцієнта η_d . При малих значеннях інтенсивності транспортного потоку заповнення стоянок збільшується повільно. Це пов'язано з невеликою чисельністю водіїв в потоці, яким потрібен довготривалий відпочинок. При зміні інтенсивності в інтервалі 50-70 авт./год. заповнення майданчиків для стоянки зростає стрімко через збільшення частки ТЗ з такими водіями. Так триває до того моменту, поки інтенсивність потоку досягає максимального значення при якому стоянки заповнюються максимально швидко і підвищення інтенсивності потоку унеможливає для багатьох водіїв здатність паркування. При умові низьких (до 50 авт./год.) і високих (понад 70 авт./год.) інтенсивностях потоку щільність потоку не має вирішального значення для заповнення стоянок (коефіцієнт η_d при зміні щільності коливається в межах 3-5%). При середніх значеннях інтенсивності слід зважати при виборі парко-місця й на щільність потоку. Це можна пояснити тим, що низька інтенсивність потоку є сприятливою для водіїв, щоб знайти вільну стоянку, а велика інтенсивність зумовлює дуже швидке заповнення усіх сусідніх стоянок, тому шанси водія зайняти вільне місце знижуються до мінімуму. До такого ж висновку приводить аналіз залежності задоволеного попиту на паркування (рис. 3б, рис. 4б). Коефіцієнт η_{dem} при збільшенні інтенсивності потоку знижується спочатку повільно, потім стрімко, далі асимптотично наближається до сталого значення, яке відображає заповнені автомобіле-стоянки. При максимальних значеннях інтенсивності лише 40% водіїв, які ведуть пошук парко-місць, можуть реалізувати таку потребу. Також можливі випадки, коли усі стоянки є зайняті й рівень задоволення попиту близький до 0 (місце знаходять тільки у випадку їх звільнення транспортними засобами, які виїжджають зі стоянки).

Нами було також проведено імітаційні експерименти при збільшенні місткості стоянок на 33%. Загальна тенденція функціонування стоянок не змінилась. Аналогічно коефіцієнт заповнення стрімко зростає при середніх значеннях інтенсивності потоку, а коефіцієнт задоволення попиту також нелінійно спадає. На відміну від першої групи дослідів було отримано більше вільних місць на стоянках навіть при значеннях інтенсивності до 60 авт./год. і щільності до 80 авт./км транспортного потоку. При сумарній місткості стоянок 45 автомобіле-місць повністю задоволений попит на паркування має місце лише до інтенсивності 50 авт./год. і такій ж щільності.

ВИСНОВКИ

Для підвищення точності розрахунку мережі автомобільних стоянок на автомагістралях в Україні потрібно брати до уваги, що водії мають дотримуватись регламентів ЄС 561/2006, не володіють інформацією про наявність вільних місць на автостоянках попереду маршруту, й не мають змоги бронювати такі місця. Для того, щоб водії не порушували правила безпечного паркування, мали змогу для короткотривалого і довготривалого відпочинку, потрібно удосконалити методи розрахунку параметрів мережі стоянок. Найбільш розповсюджений на даний час нормативний метод втратив актуальність, оскільки не враховує такі фактори розрахунку, як інтенсивність, густина та склад транспортного потоку, місткість і взаємне розташування стоянок вздовж магістралей.

Розроблений метод дослідження процесів паркування ТЗ показує, що залежність рівнів заповнення стоянок і задоволення попиту на паркування від параметрів транспортного потоку є нелінійною, на відміну від нормативів. Це дає змогу обґрунтувати граничні значення параметрів транспортних потоків, при яких проблема браку парко-місць буде вирішена.

Майбутні дослідження розширюють рамки застосування методу кліткових автоматів в сенсі розгляду більш ширшої мережі стоянок і обґрунтування місць їх розташування разом з місткістю.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1.Link S., Plötz P. Geospatial truck parking locations data for Europe. *Data in brief*. 2024. Vol. 54. P. 110277. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110277>
- 2.Merten L., Kuhnimhof T. The adequacy of residential parking requirements: a comparison of demand and required supply in European cities. *European Transport Research Review*. 2024. Vol. 16, no. 1. P. 59. URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00682-w>

3. Garber N. J., Wang H. Estimation of the demand for commercial truck parking on interstate highways in Virginia. 2004. 44 p. URL : https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/20450/dot_20450_DS1.pdf
4. Павлюк В., Дембіцький В. Аналіз розподілу об'єму робіт дорожніх станцій технічного обслуговування. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. Т. 2, № 19. С. 155-160. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.914>
5. Vital F., Ioannou P., Gupta A. Survey on intelligent truck parking: Issues and approaches. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*. 2020. Vol. 13, no. 4, P. 31-44. URL: <https://doi.org/10.1109/MITS.2019.2926259>
6. Betkier I., Macioszek E. Characteristics of parking lots located along main roads in terms of cargo truck requirements: a case study of Poland. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, no. 23. P. 15720. URL: <https://doi.org/10.3390/su142315720>
7. Itami R. M. Simulating spatial dynamics: cellular automata theory. *Landscape and urban planning*, (1994). Vol. 30, no 1-2, P. 27-47. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.173>
8. Павленко М. А., Руденко В. М., Захарченко І. В., Зінченко А. О., Чистов В. І. Метод дослідження поведінки груп рухомих об'єктів з використанням клітинних автоматів. *Системи озброєння і військова техніка*. 2021. Вип. 3, № 67. С. 98-104. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.67.13>
9. Li W., Miao L., Yang P. Simulation analysis of robotic mobile fulfilment system based on cellular automata. *International Journal of Simulation Modelling*. 2021. Vol. 20, no. 3. P. 583-594. URL: <https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-3-CO13>
10. Sun L., Cheng Z., Kong D., Xu Y., Wen S., Zhang K. Modeling and analysis of human-machine mixed traffic flow considering the influence of the trust level toward autonomous vehicles. *Simulation modelling practice and theory*. 2023. Vol. 125. P. 102741. URL: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2023.102741>
11. Shang X. C., Li X. G., Xie D. F., Jia B., Jiang R., Liu F. A data-driven two-lane traffic flow model based on cellular automata. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2022. Vol. 588. P. 126531. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126531>
12. García J. F., Tomás V. R., García L. A., Martínez J. J. An autonomic system for intelligent truck parking. In *2014 11th international conference on informatics in control, automation and robotics (ICINCO)*, 2014, September, Setubal, Portugal. / Editors: Joaquim Filipe et al. IEEE. P. 810-816. URL: <https://doi.org/10.5220/0005149008100816>
13. Automated low-cost and real-time truck parking information system. Research report / Haghani A. et al., Maryland Dep. of Transp. November 2013. Project num. SP209B4M. 74 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/26676/dot_26676_DS1.pdf
14. Duah N., Jiang S., Yadav O. P., Nguyen H. T., Earle-Young N. Navigating the truck parking challenge: A comprehensive review of strategies, emerging technologies, and future directions. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2025. Vol. 34. P. 101740. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101740>
15. Горбачов П. Ф., Пронін С. В., Чижик В. М., Токмиленко Т. Дослідження пропускної спроможності смуги руху автомобільної дороги при русі без обгонів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. Вип. 41. С. 33-40. URL: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-4.5>
16. Хом'як А. Я., Лісовод, Ю. А. Вивчення характеристики руху транспортних потоків. *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. Вип. 26 № 1. С. 104-108. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_1_2013/104-108.pdf
17. Лановий О. Т., Кисельов В. Б., Кошарний О. М. Експериментальні дослідження характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. 2023. Вип. 1 № 55. С. 167-178. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-167-178>
18. Дорошук В. О., Бережнюк І. А., Сліпенький, Є. Б. Організація дорожнього руху поза межами населених пунктів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11, № 42, ч. 1. С. 287-293. URL: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.287-293](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.287-293)
19. Xiao R. I., Jaller M. Spatial analysis and predictive modeling framework of truck parking and idling impacts on environmental justice communities. *Journal of Transport Geography*. 2025. Vol. 127. P.104263. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104263>
20. Prokudin G., Oliskevych M., Chupaylenko O., Dudnik O. Development of vehicle speed forecasting method for intelligent highway transport system. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2019. Vol. 4, no. 3. P. 6-14. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_4\(3\)_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_4(3)_2)

REFERENCES

- 1.Link, S., & Plötz, P. (2024). Geospatial truck parking locations data for Europe. *Data in brief*, 54, 110277. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110277>
- 2.Merten, L., & Kuhnimhof, T. (2024). The adequacy of residential parking requirements: a comparison of demand and required supply in European cities. *European Transport Research Review*, 16(1), 59. URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00682-w>
- 3.Garber, N. J., & Wang, H. (2004). Estimation of the demand for commercial truck parking on interstate highways in Virginia. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/20450/dot_20450_DS1.pdf
- 4.Павлюк, В., & Дембіцький, В. (2022). Аналіз розподілу об'єму робіт дорожніх станцій технічного обслуговування. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2(19), 155-160. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.914>
- 5.Vital, F., Ioannou, P., & Gupta, A. (2020). Survey on intelligent truck parking: Issues and approaches. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 13(4), 31-44. URL: <https://doi.org/10.1109/MITS.2019.2926259>
- 6.Betkier, I., & Macioszek, E. (2022). Characteristics of parking lots located along main roads in terms of cargo truck requirements: a case study of Poland. *Sustainability*, 14(23), 15720. URL: <https://doi.org/10.3390/su142315720>
- 7.Itami, R. M. (1994). Simulating spatial dynamics: cellular automata theory. *Landscape and urban planning*, 30(1-2), 27-47. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.173>
- 8.Павленко, М. А., Руденко, В. М., Захарченко, І. В., Зінченко, А. О., & Чистов, В. І. (2021). Метод дослідження поведінки груп рухомих об'єктів з використанням клітинних автоматів. *Системи озброєння і військова техніка*, (3 (67)), 98-104. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.67.13>
- 9.Li, W., Miao, L., & Yang, P. (2021). Simulation analysis of robotic mobile fulfilment system based on cellular automata. *International Journal of Simulation Modelling*, 20(3), 583-594. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-3-CO13>
- 10.Sun, L., Cheng, Z., Kong, D., Xu, Y., Wen, S., & Zhang, K. (2023). Modeling and analysis of human-machine mixed traffic flow considering the influence of the trust level toward autonomous vehicles. *Simulation modelling practice and theory*, 125, 102741. URL: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2023.102741>
- 11.Shang, X. C., Li, X. G., Xie, D. F., Jia, B., Jiang, R., & Liu, F. (2022). A data-driven two-lane traffic flow model based on cellular automata. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 588, 126531. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126531>
- 12.García J. F., Tomás V. R., García L. A., Martínez J. J. An autonomic system for intelligent truck parking. In *2014 11th international conference on informatics in control, automation and robotics (ICINCO)*, 2014, September, Setubal, Portugal. / Editors: Joaquim Filipe et al. IEEE. P. 810-816. URL: <https://doi.org/10.5220/0005149008100816>
- 13.Haghani, A., Farzinfard, S., Hamed, M., Ahdi, F., & Khandani, M. K. (2013). Automated low-cost and real-time truck parking information system. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/26676/dot_26676_DS1.pdf
- 14.Duah, N., Jiang, S., Yadav, O. P., Nguyen, H. T., & Earle-Young, N. (2025). Navigating the truck parking challenge: A comprehensive review of strategies, emerging technologies, and future directions. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 34, 101740. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101740>
- 15.Горбачов, П. Ф., Пронін, С. В., Чижик, В. М., & Токмиленко, Т. Т. (2023). Дослідження пропускної спроможності смуги руху автомобільної дороги при русі без обгонів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, (41), 33-40. URL: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-4.5>
- 16.Хом'як, А. Я., & Лісовод, Ю. А. (2012). Вивчення характеристики руху транспортних потоків. *Вісник [Національного транспортного університету]*, (26 (1)), 104-108. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_1_2013/104-108.pdf
- 17.Лановий, О. Т., Кисельов, В. Б., & Кошарний, О. М. (2023). Експериментальні дослідження характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. 1 (55), С. 167-178. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-167-178>
- 18.Дорошук, В. О., Бережняк, І. А., & Сліпенький, Є. Б. (2025). Організація дорожнього руху поза межами населених пунктів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. І. С. 287-293. URL: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.287-293](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.287-293)
- 19.Xiao, R. I., & Jaller, M. (2025). Spatial analysis and predictive modeling framework of truck parking and idling impacts on environmental justice communities. *Journal of Transport Geography*, 127, 104263. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104263>

20.Prokudin, G., Oliskevych, M., Chupaylenko, O., & Dudnik, O. (2019). Development of vehicle speed forecasting method for intelligent highway transport system. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, (4 (3)), 6-14. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_4\(3\)_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_4(3)_2)

M. Oliskevich, I. Murovani, N. Khomyn. Research on the satisfied demand for truck parking depending on the location and capacity of parking lots on the highway

The article considers the problem of ensuring working and rest conditions for drivers of motor vehicles performing intercity and international transportation. Commercial transport crews, performing intercity and international transportation, must comply with the regulations of the European Union 561/2006, on the one hand, as well as the rules for parking vehicles on the sides of highways. To do this, the capacity of such parking lots in Europe, in Ukraine in particular, is lacking, which would ensure full rest for drivers and protection of vehicles. The known methods of substantiating the capacity of parking lots are reviewed and their shortcomings are identified, which consist in using the assumption of the linear nature of the dependence of the indicators of the efficiency of the use of the parking lot network on the parameters of the traffic flow. To increase the accuracy of the calculation, it was justified to use and develop a method for modeling traffic flows, in which there is a known share of vehicles that must be parked. The method is based on simulation modeling based on cellular automata. The cellular automata in these studies were used in a modified form. The modification consists in using a two-dimensional field with cells of different sizes placed on it. Thanks to the iterative process, the cells move in a fixed field that reflects the section of the highway under study and perform logical maneuvers while maintaining the desired speed. Maneuvers are objectively necessary for each vehicle. An algorithm and a computer program have been developed for simulation modeling of traffic and the parking process. Experiments have been conducted to identify the dependence of parking lot occupancy rates and parking demand satisfaction on the intensity and density of the traffic flow with a known composition. The nonlinear nature of the corresponding dependencies has been clarified. Experiments have also been conducted for increased parking lot capacity. Increasing the total parking lot capacity does not give a directly proportional effect on meeting parking demand. Instead, it has been possible to substantiate the boundary conditions under which parking lots operate efficiently.

Keywords: traffic flow, highway, parking capacity, simulation modeling, parking lot occupancy.

ОЛІСКЕВИЧ Мирослав Стефанович, доктор технічних наук, професор, Північний кампус Львівського національного університету ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького, м. Львів, Україна, e-mail: oliskevychm@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6237-0785>

МУРОВАНИЙ Ігор Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна, e-mail: igor_lntu@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

ХОМИН Назар Ярославович, аспірант Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: nazar.khomyn0037@gmail.com, <https://doi.org/10.23939/tt2025.02.033>

Myroslav OLISKEVYCH, Doctor of Technical Sciences, Professor, Northern Campus of the L'viv National University of Veterinary Medicine named after S.Z. Gzhytsky, Lviv, Ukraine, e-mail: oliskevychm@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6237-0785>

Igor MUROVANYI, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: igor_lntu@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

Nazar KHOMYN, Postgraduate Student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: nazar.khomyn0037@gmail.com, <https://doi.org/10.23939/tt2025.02.033>

Дата надходження статті до видання: 31.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026

<https://doi.org/10.36910/2dwhv698>