Фурса Ольга Олександрівна, *кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та метрології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна,* ***e-mail: yaroslav_dfz@mail.ru****.*
Гаврилюк Юрій Володимирович, *аспірант, кафедра інформаційних систем, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна.*

Евдокименко Наталья Михайловна, *доктор технических наук, профессор, кафедра химической технологии переработки эластомеров, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина.*
Фурса Ольга Александровна, *кандидат технических наук, доцент, кафедра компьютерно-интегрированных технологий и метрологии, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина.*
Гаврилюк Юрий Владимирович, *аспирант, кафедра информационных систем, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина.*

Evdokimenko Natalia, *Education Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Dnipropetrovsk, Ukraine.*
Fursa Olga, *Education Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Dnipropetrovsk, Ukraine,* ***e-mail: yaroslav_dfz@mail.ru****.*
Gavriluk Yuri, *Education Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Dnipropetrovsk, Ukraine*

УДК 656.021.2
DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51865

Абрамова Л. С.,
Ширін В. В.

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПРИ ПЛАНУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Проаналізовано існуючі методи прогнозування інтенсивності транспортних потоків. Для визначення перспективної інтенсивності транспортних потоків при проведенні аудиту дорожньої безпеки на етапі планування автомобільних доріг, запропоновано застосовувати балансовий метод прогнозування. Запропоновано підхід до прогнозування складу транспортного потоку, який базується на імовірнісних методах прогнозування і може бути застосований при проведенні аудиту дорожньої безпеки.

Ключові слова: *аудит дорожньої безпеки, склад транспортного потоку, прогнозування, інтенсивність транспортного потоку.*

1. Вступ

В процесі виробництва певного продукту, будь-якої галузі, його якість забезпечується за допомогою застосування одного з методів контролю. Виходячи з світового досвіду, найбільш результативною вважається так звана «система управління якістю». Цей метод контролю виник у Японії у 50-х роках минулого століття і забезпечив високу конкурентоздатність японських товарів на світовому ринку. Аудит дорожньої безпеки слід розглядати, як систему управління якістю для технологічного циклу виробництва такого продукту як «автомобільна дорога».

Висока результативність аудиту дорожньої безпеки сприяла розповсюдженню цього методу в багатьох державах: США, Великобританії, Канаді, Данії, Нідерландах, Сінгапурі, Новій Зеландії, Австралії, ПАР. В багатьох країнах Північної Європи офіційно термін «аудит дорожньої безпеки» не прийнято, втім, супроводження контролю за параметрами автомобільних доріг, починаючи від стадії проектування до стадії їх експлуатації містить в собі усі елементи аудиту. Досвід закордонних країн, в яких виконується аудит дорожньої безпеки, свідчить про доцільність проведення такої роботи, адже в цих країнах, згідно міжнародної статистики найбезпечніші автомобільні дороги, а в регіонах, де тільки-но розпочинають застосовувати аудит, спостерігається стабільне зниження рівня аварійності на дорогах.

Найважливішим критерієм, який впливає на рівень безпеки дорожнього руху є перспективна інтенсивність руху. Тому, визначення перспективної інтенсивності руху і складу транспортних потоків являється актуальною задачею.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Введення нових або реконструкція існуючих доріг супроводжується значними змінами потоків автотранспорту, що склалися по напрямах. Але зі зміною інтенсивності змінюється і склад транспортного потоку, що є важливим чинником при визначенні як параметрів дорожнього покриття, так і організації дорожнього руху. Тому, прогнозування параметрів транспортних потоків із застосуванням аналітичних методів є актуальною науково-технічною проблемою.

Моделювання параметрів транспортних потоків може проводитись на будь-який строк, від однієї години до 20–30 років. Задачі прогнозу поділяють за строком прогнозу [1–3], а саме:

— довгострокові (більш ніж 15 років);
— середньострокові (від 10 до 15 років);
— короткострокові (від 1 до 10 років);
— оперативні (від тижня до 1 року);
— поточні (в реальному масштабі часу від 15 хвилин до тижня).

Перспективний період при призначенні категорії дороги загального користування (а також при визначенні ширини смуги відведення, подовжнього і поперечного профілів) слід приймати рівним 20 рокам. Під'їзні автомобільні дороги слід проектувати на розрахунковий термін, відповідний закінченню будівництва і з урахуванням обсягу перевезень в період будівництва.

Залежно від підходу до прогнозування інтенсивності руху, методи, що використовуються, можна розділити на три групи: методи екстраполяції; балансові методи; модельні методи [4].

Методи екстраполяції є найбільш простими у застосуванні. Вони засновані на умові збереження в часі існуючих тенденцій зміни інтенсивності руху. Найбільшого поширення серед них набув метод прямої екстраполяції, при використанні якого прогнозування інтенсивності руху здійснюють на основі встановлення існуючої інтенсивності, яка збільшується відповідно до виявленої за декілька попередніх років тенденції її зміни. До екстраполяційних моделей [5] можна віднести: лінійну модель, модель рівняння складних процентів і її модифікація, моделі експоненціальних та ступеневих рівнянь, модель логістичної кривої.

Лінійна модель заснована на застосуванні наступного рівняння:

$$N_t = N_0(1+pt), \tag{1}$$

де N_0 — інтенсивність руху у вихідний рік; p — середній темп росту за останні 10–15 років; t — розрахунковий рік.

Модель рівняння складних процентів відображається наступним співвідношенням:

$$N_t = N_0\left(1+\frac{p}{100}\right)^{n-1}, \tag{2}$$

де n — кількість років в періоді прогнозу.

Для визначення перспективної інтенсивності руху транспортних потоків може бути застосована модифікована модель складних процентів:

$$N_t = N_1\prod_1^{t-1}\left(1+\frac{\Delta N_t}{100}\right), \tag{3}$$

$$\Delta N_t = a+\frac{b}{\sqrt[3]{t-1}}, \tag{4}$$

де N_1 — інтенсивність в перший рік експлуатації дороги; ΔN_t — темп відносного приросту; a, b — емпіричні коефіцієнти, що визначаються в залежності від темпів росту інтенсивності руху.

Методи лінійного закону росту (1) та рівняння складних процентів (2)–(4) дозволяють здійснювати короткостроковий прогноз на період 2–5 років, та застосовуються при розробці перспективних планів реконструкції доріг, а також при плануванні реорганізації дорожнього руху.

Для моделі експоненціальних та ступеневих рівнянь використовують наступні співвідношення:

$$N_t = N_0e^{pt}, \tag{5}$$

$$N_t = N_0q^t, \tag{6}$$

$$N_t = N_0t^{\alpha}, \tag{7}$$

де q — щільність транспортного потоку; α — емпіричний коефіцієнт.

Модель логістичної кривої має вигляд:

$$\frac{dN}{dt} = cN(P-N), \tag{8}$$

де N — інтенсивність руху; P — пропускна здатність; c — емпіричний коефіцієнт; t — період часу.

$$N = \frac{P}{1+be^{-act}}, \tag{9}$$

де a, b — емпіричні коефіцієнти.

Методи експоненціальних і ступеневих рівнянь (5)–(7) та логістична крива (8), (9) потребують точних даних темпів приросту інтенсивності руху на ділянках дороги і дозволяють здійснювати прогноз на період 10–15 років. Ці методи ефективні при аналізі показників розвитку автомобільного транспорту.

Обмеженням при застосуванні екстраполяційних моделей являється умова гарантування їх достовірності лише при збереженні дорожніх умов в перспективному періоді часу і у разі, якщо мережа автомобільних доріг не змінюється.

Балансовий метод визначення перспективної інтенсивності руху в багатьох країнах має приблизно таке ж розповсюдження, як і метод екстраполяції. Згідно цього методу перспективну середньорічну добову інтенсивність руху визначають як суму інтенсивності руху різних типів автомобілів, які визначають по формулі [6]:

$$N = \frac{Q_l \cdot K_H \cdot K_S}{D \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta}, \tag{10}$$

де N — середньорічна добова інтенсивність руху, авт./добу; Q_l — вантажо- або пасажиронапруженість ділянки дороги за даними економічних досліджень на розрахунковий рік в перерахунку на 1 км, ткм, пас. км; K_H — коефіцієнт урахування автомобілів, що здійснюють дрібнопартійні, необ'ємні, повторні і дальні транзитні перевезення; K_s — коефіцієнт урахування у складі руху спеціальних транспортних засобів; D — число днів роботи дороги протягом року; q — середня вантажопідйомність або пасажиромісткість автомобілів (автобусів), т або пас; γ — коефіцієнт використання вантажопідйомності або пасажиромісткості; β — коефіцієнт використання пробігу.

Вхідна інформація для реалізації даного методу прогнозування перспективної інтенсивності надається підприємствами-перевізниками.

Модельні методи засновані на урахуванні залежності інтенсивності руху від деяких показників, які побудовані на дослідженні зв'язків між парами населених пунктів досліджуваної території. І вимагають виконання великої кількості розрахунків, пов'язаних як з розглядом всіх пар населених пунктів, так і з визначенням найкоротшої відстані між ними.

Інтенсивність руху між парою даних кореспондуючих пунктів визначають по формулі [6]:

$$N_{ij} = \frac{P_p \cdot K_з \cdot Q_л \cdot V_л \cdot \tau_л \cdot K_л}{1000 \cdot L_{пр}^2} + \frac{P_p \cdot K_з \cdot Q_а \cdot V_а \cdot \tau_а \cdot K_а}{1000 \cdot L_{пр}^2} + \\ + \frac{P_p \cdot K_з \cdot Q_в \cdot V_в \cdot \tau_в \cdot K_в}{1000 \cdot I_{пр}^а}, \quad (11)$$

де N_{ij} — очікувана середньорічна добова інтенсивність руху між i-м і j-м населеними пунктами, авт./добу; P_p — сумарна приведена чисельність населення в i-м і j-м населених пунктах, чол.; $K_з$ — коефіцієнт зв'язаності i-го і j-го населених пунктів, визначуваний залежно від їх адміністративної значущості і підлеглості; $Q_л$, $Q_а$, $Q_в$ — рівень насичення території легковими автомобілями, автобусами і вантажними автомобілями відповідно, авт./1000 чол.; $V_л$, $V_а$, $V_в$ — середня швидкість руху легкових автомобілів, автобусів і вантажних автомобілів в еталонних умовах, що приймається рівною 93 км/год., 60 км/год. і 83 км/год., відповідно; $t_л$, $t_а$, $t_в$ — середня тривалість роботи протягом доби легкових автомобілів, автобусів і вантажних автомобілів відповідно, год./добу; $K_л$, $K_а$, $K_в$ — коефіцієнт, що характеризує користування легковими автомобілями, автобусами і вантажними автомобілями, відповідно; $L_{пр}$ — приведена відстань між i-м і j-м населеними пунктами, км; a — показник ступеня, використовуваний при розрахунку інтенсивності руху вантажних автотранспортних засобів.

Серед поширених інструментів, що дозволяють реалізовувати модельний метод слід відзначити пакет комп'ютерного моделювання транснаціональної компанії A+S Consult [7]. Серед розробок спеціалістів автомобільно-дорожньої галузі відомий метод модельного прогнозування інтенсивності руху розроблено ВАТ «ГіпродорНДІ» [8].

У якості недоліку зазначених модельних методів визначення перспективної інтенсивності руху транспортних потоків слід відзначити складність отримання вхідних даних моделювання, серед яких є дані що визначаються методом експертних оцінок. Зазначені недоліки підвищують складність реалізації методу і знижують достовірність його результатів.

Для короткострокового прогнозування можуть також застосовуватись ймовірнісні моделі [9] транспортного потоку, засновані на різних законах розподілу. Застосування таких моделей можливе за умови низької інтенсивності руху, що в умовах зростаючого рівня автомобілізації населення і, як наслідок, стрімкого підвищення інтенсивності транспортних потоків, обмежує можливість їх застосування на етапі планування автомобільних доріг.

Проведений аналіз методів прогнозування параметрів транспортних потоків дозволив з'ясувати, що питанню визначення перспективного складу транспортних потоків приділено недостатньо уваги, тоді як саме склад потоку визначає навантаження на дорожнє покриття і має враховуватись при плануванні автомобільних доріг.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — транспортні потоки на автомобільних дорогах загального користування.

Метою даного дослідження є розробка методу визначення перспективної інтенсивності і складу транспортних потоків, який може бути застосований при проведенні аудиту дорожньої безпеки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

— визначити групи транспортних засобів в складі транспортних потоків, які слід включати до розгляду при проведенні аудиту дорожньої безпеки;

— сформулювати гіпотези стосовно складу транспортного потоку;

— визначити залежність ймовірності появи в потоці транспортних засобів певної групи.

4. Результати аналізу методів прогнозування інтенсивності транспортних потоків, для планування і проектування автомобільних доріг

4.1. Досліджувані об'єкти та обладнання, що використовувались. Прогнозне значення інтенсивності транспортного потоку пропонуємо визначати за балансовою моделлю.

Склад транспортного потоку являє собою якісне або відсоткове співвідношення різних типів транспортних засобів в потоці, які відрізняються вантажопідйомністю або функціональним призначенням.

При прогнозуванні перспективної інтенсивності руху транспортних потоків можливо визначати їх склад наступним чином: автотранспортні засоби доцільно розділяти на групи за середньою вантажопідйомністю, а саме: I — до 1,0 т; II — до 2,5 т; III — до 4,0 т; IV — до 7,0 т; V — до 10,0 т; VI — до 10 т [6]. Окрім зазначених груп транспортних засобів при визначенні перспективної інтенсивності і складу транспортних потоків має бути визначена частка легкових автомобілів.

4.2. Методика визначення складу перспективного транспортного потоку. При виконанні умови, стосовно відстані між кореспондуючими населеними пунктами, а саме у разі якщо вона не перевищує 500 км, частки виділених груп автомобілів можуть бути визначені за залежностями [6]:

I група:

$$C_1 = 0,4 - 0,0006 \cdot L_{пр}; \quad (12)$$

II група:

$$C_2 = 0,23 - 0,0004 \cdot L_{пр}; \quad (13)$$

III група:

$$C_3 = 0,09 - 0,0001 \cdot L_{пр}; \quad (14)$$

IV група:

$$C_4 = 0,11 - 0,0001 \cdot L_{пр}; \quad (15)$$

V група:

$$C_5 = 0,13 - 0,0001 \cdot L_{пр}; \quad (16)$$

VI група:

$$C_6 = 0{,}04 - 0{,}0011 \cdot L_{\text{пр}}, \quad (17)$$

де C_k — частка транспортних засобів k-ї групи, що виконують перевезення між i-м та j-м населеними пунктами.

Сума значень $C_1 - C_6$ у будь-якому випадку повинна дорівнювати 1. Тобто інтенсивність транспортного потоку загалом визначається за умови виконання вимоги:

$$N = \sum_{k-1}^{6} C_k = 1. \quad (18)$$

До складу транспортного потоку окрім перелічених вантажних автомобілів входять легкові та автобуси. Існуючі методики визначення частки легкових автомобілів занадто трудомісткі. Тому, для визначення частки легкових автомобілів пропонується застосувати елементи теорії ймовірності.

Спочатку, на підставі існуючого досвіду, слід сформулювати ймовірнісні гіпотези стосовно складу транспортного потоку. Дослідження базуються на Бейєсовському підході, який засновується на гіпотезах [10]. Дані розглядаються як свідоцтва, що описують проблемну галузь, а гіпотези являють собою ймовірні пропорції до того, як функціонує проблемна галузь, в досліджуваному випадку — транспортний потік. При цьому, на підставі отриманих даних можна визначити ймовірність окремих гіпотез, після чого можливо сформулювати припущення.

Якщо склад транспортного потоку — це сукупність легкових та вантажних автомобілів (N), то частку легкових автомобілів позначаємо через Л, тоді частка вантажних автомобілів (B) дорівнюватиме:

$$B = 1 - \text{Л}. \quad (19)$$

Сформуємо наступні гіпотези (h_i):

1) h_1 — у складі транспортного потоку 100 % Л;
2) h_2 — у складі транспортного потоку 75 % Л + 25 % В;
3) h_3 — у складі транспортного потоку 50 % Л + 50 % В;
4) h_4 — у складі транспортного потоку 25 % Л + 75 % В;
5) h_5 — у складі транспортного потоку 100 % В.

У відповідності сформульованим гіпотезам припускаємо, що склад транспортного потоку має апріорні ймовірності за вектором <0,1; 0,2; 0,4; 0,2; 0,1>. Правдоподібність даних визначається відповідно припущення, що дані незалежні та однаково розподілені.

Тоді апостеріорна ймовірність визначатиметься залежністю:

$$P(n / h_m) = \prod_z P(n_z / h_m), \quad (20)$$

де n — транспортний засіб в потоці, $n \in N$; m — кількість гіпотез; z — кількість транспортних засобів, що досліджується в експерименті.

5. Обговорення результатів аналізу методів прогнозування інтенсивності транспортних потоків, для планування і проектування автомобільних доріг

В подальшому дослідженні, на підставі визначення апостеріорної ймовірності, при появі наступного транспортного засобу, можливо з'ясувати яка гіпотеза правомірна. Такий підхід до визначення загальної кількості вантажних транспортних засобів в транспортному потоці можна здійснити незалежно від обсягу вибірки натурних даних n.

В результаті проведеного аналізу методів прогнозування інтенсивності транспортних потоків, для планування і проектування автомобільних доріг, запропоновано застосовувати балансовий метод, а для прогнозування складу потоків розроблена методика на підставі визначення апостеріорної ймовірності

Отримані результати дослідження можуть бути застосовані в сфері проектування автомобільних доріг та привернути до себе увагу фахівців з організації та регулювання дорожнього руху.

6. Висновки

Проведені дослідження дозволили з'ясувати, що існуючі методи визначення перспективної інтенсивності руху мають ряд обмежень в застосуванні, при проведенні аудиту дорожньої безпеки.

Визначено групи транспортних засобів для врахування впливу складу перспективних транспортних потоків при проведенні аудиту дорожньої безпеки на етапі планування і проектування автомобільних доріг. В даному досліджені виділено шість таких груп. У якості основного критерію визначення груп автомобілів прийнята їх вантажопідйомність.

На підставі виділених груп автомобілів запропоновано підхід до формулювання гіпотез щодо складу транспортних потоків. Запропонований підхід передбачає можливість включення до складу будь-якої групи автомобілів.

Запропоновано методику прогнозування складу транспортного потоку на підставі Бейєсовського передбачення, що дозволяє визначати склад перспективних транспортних потоків на підставі ймовірності появи в потоці автомобілів різних груп.

Література

1. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорого и организации движения [Текст] / В. В. Сильянов. — М.: Транспорт, 1977. — 303 с.
2. Queen, C. M. Intervention and Causality: Forecasting Traffic Flows Using a Dynamic Bayesian Network [Text] / C. M. Queen, C. J. Albers // Journal of the American Statistical Association. — 2009. — Vol. 104, № 486. — P. 669–681. doi:10.1198/jasa.2009.0042
3. Tanner, J. C. Long-Term Forecasting of Vehicle Ownership and Road Traffic [Text] / J. C. Tanner // Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General). — 1978. — Vol. 141, № 1. — P. 14–63. doi:10.2307/2344775
4. Маркуц, В. М. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц [Электронный ресурс] / В. М. Маркуц. — Тюмень, 2011. — Режим доступа: \www/URL: http://www.studmed.ru/docs/document36995
5. Schnaars, S. P. An Evaluation of Rules for Selecting an Extrapolation Model on Yearly Sales Forecasts [Text] / S. P. Schnaars // Interfaces. — 1986. — Vol. 16, № 6. — P. 100–107. doi:10.1287/inte.16.6.100
6. Федотов, Г. А. Справочная энциклопедия дорожника [Текст]. Том V. Проектирование автомобильных дорог / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов, В. К. Апестин и др.; под ред. Г. А. Федотова, П. И. Поспелова. — Москва, 2007. — 668 с.
7. PTV VISUM — программное обеспечение компании PTV VISUM [Электронный ресурс]. — 2015. — Режим доступа: \www/URL: http://ptv-vision.ru/produkty/visum

8. Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах (ОДМ) для опытного применения [Текст]: утверждено распоряжением Росавтодора № ОС-555-р от 19 июня 2003 / Росавтодор. — Москва, 2003. — 87 с.
9. Buckley, D. J. A Semi-Poisson Model of Traffic Flow [Text] / D. J. Buckley // Transportation Science. — 1968. — Vol. 2, № 2. — P. 107–133. doi:10.1287/trsc.2.2.107
10. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA-2) [Текст]: пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. — 2-е изд. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. — 1408 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Проанализированы существующие методы прогнозирования интенсивности транспортных потоков. Для определения перспективной интенсивности транспортных потоков при проведении аудита дорожной безопасности на этапе планирования автомобильных дорог, предложено применять балансовый метод прогнозирования. Предложен подход к прогнозированию состава транспортного потока, который базируется на вероятностных методах прогнозирования и может быть применен при проведении аудита дорожной безопасности.

Ключевые слова: аудит дорожной безопасности, состав транспортного потока, прогнозирование, интенсивность транспортного потока.

Абрамова Людмила Сергіївна, *кандидат технічних наук, доцент, кафедра організації і безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.*
Ширін Валерій Вікторович, *кандидат технічних наук, кафедра організації і безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна,*
e-mail: shirin-valeriy@yandex.ru.

Абрамова Людмила Сергеевна, *кандидат технических наук, доцент, кафедра организации и безопасности дорожного движения, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина.*
Ширин Валерий Викторович, *кандидат технических наук, кафедра организации и безопасности дорожного движения, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина.*

Abramova Lyudmila, *Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine.*
Shirin Valery, *Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine,* ***e-mail: shirin-valeriy@yandex.ru***

УДК 656.078.12
DOI: 10.15587/2312-8372.2015.52010

Огій О. В.,
Рубан Д. П.,
Голубов О. С.,
Підгорний М. В.

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ПИТАННЯ ЩОДО ІНТЕГРАЦІЇ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ТА МІСЬКОГО ПЛАНУВАННЯ

Розвиток міст і приміських територій, обумовлений процесом урбанізації, характеризується небувалим зростанням використання приватних автомобілів і паралельним розвитком транспортної інфраструктури. У статті розглядаються шляхи вирішення проблеми збільшення площі забудови міста і пов'язаного з цим зростанням необхідності збільшення пасажирських перевезень громадським транспортом на прикладі великих міст розвинутих країн світу.

Ключові слова: *транспортна система, громадський транспорт, інтеграція.*

1. Вступ

Як відомо, транспортні системи завжди мали вплив на моделі розвитку міст. Так сторіччя тому громадський транспорт був одним із основних факторів, що впливав на структуру міста — із щільними і компактними центрами і вуличною сіткою, орієнтованою перш за все на громадський транспорт та пішоходів. Міста розвивались в основному вздовж станцій метро і трамвайних ліній. Розростання міст за рахунок сільської місцевості і розрізнені ділянки забудови з низькою щільністю населення, а також будівництво гіпермаркетів і торгових комплексів вздовж шосе збільшили потребу в автомобілях та запустили коло автомобільної залежності по спіралі: автомобільні пробки, забруднення, зростання транспортних витрат для суспільства, втрата цінних рекреаційних зон, деградація ґрунтів, знищення природних екосистем, вплив на клімат, погіршення якості життя, соціальна ізоляція — ось лише деякі з негативних наслідків.

Нова міська забудова характеризувалась низькою щільністю населення і окремо розташованими об'єктами. Житлові будинки на одну сім'ю, промислові зони та торгівельні комплекси будувались без особливого врахування зручності їх розташування, оскільки їх доступність могла б бути забезпечена за рахунок будівництва автодоріг. Громадський транспорт, пішоходи та велосипеди не вважались суттєвими факторами, які потрібно б було враховувати [1–3]. Саме цим обґрунтовується актуальність проведеного дослідження.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Однак з початком XXI століття збільшення викидів шкідливих речовин від автотранспорту стали серйозним приводом для хвилювання. Стандарти якості повітря, що встановлені в Євросоюзі [4–6], виявились несумісними з інтенсивним рухом і пробками, які створюють потоки автомобілів, які щоденно вранці їдуть з приміських