

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Лановий О.Т., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Кисельов В.Б., доктор технічних наук, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, Україна, kvbglush1953@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3437-2825

Кошарний О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5969-4858

METHODOLOGICAL FUNDAMENTALS OF SYNTHESIS OF MODELS FOR FORECASTING RATIONAL FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF ROAD NETWORK

Lanovyi O.T., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Kiselyov V.B., Doctor of Technical Sciences, Tavriya National University named after V.I. Vernadsky, Kyiv, Ukraine, kvbglush1953@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3437-2825

Kosharnyi O.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-5969-4858

Постановка проблеми.

Функціонування та розвиток мережі автомобільних доріг – велика справа, управління якою має відбуватися відповідно до економічних закономірностей розвитку суспільства. Автомобільні дороги мусять працювати у ринкових умовах – транспортно-дорожній комплекс має бути самоокупним. Метою функціонування мережі автомобільних доріг загального користування є забезпечення рівномірного наземного доступу в усі регіони країни, а також безпечного і надійного переміщення людей та транспортування вантажів із належною ефективністю. Автомобільні дороги є однією з підсистем транспортної системи України, яка, у свою чергу, є елементом економічної системи країни. Вони є суспільним продуктом, мають важливе значення, надаючи суспільству послугу, яка приносить йому суттєву вигоду. Постійне недофінансування призводить до так названих «недоремонтів» доріг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням функціонування мережі автомобільних доріг на економічну систему суспільства приділяли увагу вчена спільнота, зокрема в таких роботах [1 - 10]. У роботі [1] визначено чинники, які визначають втрати транзитних вантажопотоків та потребують вирішення на загальнодержавному рівні та корінного реформування транспортної сфери в цілому. Наведено потенційні можливості до залучення додаткових транзитних потоків. Розроблена методика до залучення додаткових транзитних потоків. У роботі [2] розроблено комплексний показник оцінки якості, який включає агреговані, блочні та одиничні критерії, дає змогу оцінити якість транспортного обслуговування. У роботі [3] запропоновано використання нових моделей, методів та алгоритмів для безперервного підвищення якості проектів, розроблених на основі міжнародних стандартів. У роботі [4] розроблена методика розміщення транзитного терміналу, яка забезпечує зниження транспортної роботи і підвищення ефективності при транзитних перевезеннях. Запропонована оцінка ресурсного забезпечення функціонування та необхідності розвитку мережі автомобільних доріг у транспортній системі регіону «Автомобільні дороги державного та місцевого значення – Національні та міжнародні транспортні потоки». У роботі [5] наведено методику проектного аналізу вибору проектів перевезення вантажів на проектно-орієнтованих підприємствах, основна діяльність яких зосереджена в галузі міжнародних перевезень, розроблена з урахуванням якості за критеріями. У роботі [6] розроблені рекомендації по подальшому розвитку інтеграції національних транспортно-логістичних кластерів в міжнародну транспортну систему з використанням міжнародних транспортних коридорів.

Розроблено модель прогнозування необхідних обсягів ресурсного забезпечення виконання дорожніх робіт на підставі визначеного попиту з боку користувачів автомобільних міжнародних транспортних коридорів. У роботі [7] розроблена модель N-критеріальних оцінок прийняття оптимального рішення розроблена з урахуванням важливості набору критеріїв, якими визначається

якість транспортного обслуговування як продукту проекту. Удосконалено N-модель прийняття оптимального рішення щодо важливості критеріїв з урахуванням експертної інформації. У роботі [8] запропоновані методи математичного програмування для проектування транзитних транспортних мереж. Розроблено метод формування системи управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних міжнародних транспортних коридорів на основі суспільно-економічного прогнозування у вигляді ієрархічної структури елементів та їх взаємозв'язків. У роботі [9] наведені різноманітні методи вирішення проблем побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень. Розроблено методологію визначення ефективності функціонування мережі автомобільних міжнародних транспортних коридорів. У роботі [10] надана характеристика різних видів транспортних систем, наведені основні напрями оптимізації транспортних систем без врахування проміжних транспортних пунктів.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. У літературі є велика кількість теоретичного матеріалу присвячених цій проблемі, але не розглянуті всі аспекти вирішення поставлених задач. У статті розглядаються моделі прогнозування роботи дорожнього господарства, які дозволяють визначати необхідні загальні суспільні витрати на удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг на підставі урахування попиту на рух автомобільними дорогами з боку їх користувачів, а також розробити принципи та критерії оптимізації ефективності функціонування мережі автомобільних доріг; доведено, що існує єдність і взаємозумовленість матеріально-речовинного і ціннісного (цінового, вартісного) аспектів розвитку мережі автомобільних доріг. Отримані моделі демонструють принцип суспільно-економічної ефективності – спільно враховуються рівноваги матеріальних і вартісних (ціннісних, цінових) потоків при функціонуванні мережі автомобільних доріг.

Метою роботи є дослідження впливу функціонування мережі автомобільних доріг на економічну систему суспільства, визначення напрямків ефективності макrorівня функціонування мережі автомобільних доріг, синтезі моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг, а також прогнозування роботи дорожнього господарства.

Для досягнення цієї мети, були сформульовані наступні **задачі**:

1) задача поточного розподілу заданої програми дорожнього господарства на рівні її підприємств, що утримують автомобільні дороги;

2) задача перспективного розвитку, що охоплює, зокрема, будівництво нових і реконструкцію існуючих автомобільних доріг та допоміжних виробництв (асфальтобетонні заводи, асфальтобетонні заводи, кар'єри).

При синтезі моделей оптимального прогнозування вихідними даними є:

- попит на продукцію дорожнього господарства по регіонах з боку автомобільного транспорту (попит на рух автомобільними дорогами, їх довжина, категорія, щільність мережі доріг та її транспортно-експлуатаційний стан, а також досягнення відповідного рівня безпеки та рівня зручності руху);

- можливі способи утримання автомобільних доріг у належному транспортно-експлуатаційному стані, що відповідає визначеним рівням безпеки руху та рівням зручності руху, а також варіанти поліпшення їх стану з урахуванням виробничих можливостей і спеціалізації організацій, що утримують ці дороги, собівартості виробництва, можливими розмірами ресурсного забезпечення з урахуванням вартості трудових, енергетичних, сировинних і водних ресурсів, наявності або відсутності альтернативної транспортної мережі та інших факторів;

- можливі трасування нових автомобільних доріг і характеристики нових підприємств з їхнього утримання, що охоплюють вищезазначені умови;

- можливі місця розміщення нових допоміжних виробництв.

У якості вихідних виступають інтенсивності режимів забезпечення попиту користувачів на рух у відповідних дорожніх умовах (потреби у перевезеннях вантажів і пасажирів автомобільними дорогами відповідної якості). При цьому, у залежності від конкретних умов завдання, інтенсивність способу (режиму) має виражати необхідність досягнення визначеної продуктивності автомобільної дороги.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Задача синтезу моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг загального користування, що входить до транспортної системи України, може бути описана наступними етапами [11]:

- формулювання вимог до процесу перетворення матеріальних входів у виходи, що реалізуються системою;

- визначення елементів системи та їхніх характеристик;
- визначення структури системи та параметрів управління цією системою.

Сукупність контрольованих показників, що регламентують із деяким ступенем деталізації функціонування мережі автомобільних доріг як системи, визначає прогноз процесів її діяльності. Інформаційне відображення синтезованої транспортної системи зазвичай називають моделлю прогнозування, що охоплює ті чи інші процеси функціонування й розвитку відповідного об'єкта – мережі автомобільних доріг або її окремих доріг [12]. Надалі, через це, мова йде про синтез транспортної системи як про регулярну процедуру формування відповідної математичної моделі, рішення якої надає інформацію для розрахунку прогнозних показників.

Синтез моделей прогнозування функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг конкретні значення показників прогнозування, при застосуванні будь-яких методів і техніки прогнозування, визначаються через інформаційне моделювання матеріальних суспільно-економічних процесів, реалізованих у транспортній системі, а також завдяки моделюванню її майбутньої поведінки як сукупності економічних об'єктів. Взаємодії елементів, компонентів і факторів функціонування в моделі представляють інформаційні зв'язки між відповідними перемінними. Обмеження, що об'єктивно присутні в транспортній системі, відображаються в моделі у вигляді обмежень на область допустимих змін її перемінних. Насамкінець, шляхом синтезу структури та параметрів моделі визначають структуру та параметри транспортної системи, що забезпечать її раціональне функціонування.

При формуванні моделей прогнозування значним стає питання про ступінь деталізації прогнозних розрахунків. В економічній системі, елементом якої є транспортна система України, діють тисячі підприємств, номенклатура виробленої та споживаної продукції нараховує мільйони найменувань. Побудувати єдину модель, що відображає формування та взаємозв'язки цієї великої кількості компонентів, і в централізованому порядку їх розрахувати та збалансувати, неможливо навіть за допомогою найбільш удосконалених програмних засобів. Це обумовлює необхідність багатоступінчастої ієрархічної організації процесу прогнозування. Отже, потрібно побудувати ієрархію моделей прогнозування.

Стосовно до існуючої організації економічного устрою вона охоплює наступні вертикальні рівні ієрархії: макроекономічні моделі, що відображають взаємозв'язки галузей, галузеві моделі, моделі окремих підприємств та організацій. Взаємодія елементів і підсистем подвійним чином відбивається на взаємодії їхніх моделей. З одного боку, входи та виходи моделей різних підсистем охоплюються мережею прямих і зворотних інформаційних зв'язків, з іншого боку – загальною для всіх моделей є первинна інформація, що виникає у процесі виробництва, розподілу й споживання виробленої продукції.

Організаційні та інформаційні сторони прогнозування та управління розглянуті у розділі 5. У цьому розділі подана в спрощеному вигляді типова задача синтезу, що має фундаментальне значення в макроекономічному прогнозуванні, а саме, синтез багатопродуктової моделі виробництва та обміну, у тому числі, здійснення автомобільних перевезень, як сукупності однопродуктових моделей. Кожна з них є при цьому первинним елементом, для якого задані зв'язки між входами, виходами і станами. У залежності від об'єкта прогнозування однопродуктова модель має той чи інший суспільно-економічний сенс. Так, при синтезі міжгалузевого балансу виробництва та споживання продукції (макроекономічного, регіонального) одномірним об'єктом є продукт так названої чистої галузі чи однорідний (агрегований) продукт галузі. Багатопродуктова модель служить для прогнозування виробництва та обміну продукції, споживаної в самій галузі й поставленої до інших галузей. Тут як одномірні об'єкти виступають окремі продукти, вироблені в галузі, чи їхні агрегати. Нарешті, багатомірна балансова модель складає основу матричної схеми бізнес-плану підприємства. В ній одномірними об'єктами є виробничі підрозділи підприємства.

Побудуємо двопродуктову відкриту модель функціонування альтернативних автомобільних доріг, якими можуть рухатися їхні користувачі, що є достатньою для пояснення методів формування моделей. На рис. 1 подана схема зв'язків між однопродуктовими моделями, за допомогою яких формується користування обома дорогами, а також умови їхнього утримання та удосконалення.

Для визначення збалансованих значень показників, що забезпечують необхідні пропорції удосконалення, побудуємо у відповідності зі схемою таку систему рівнянь збалансованості ($i, j = 1, 2$), в якій усі перемінні – функції часу.

Рівняння збалансованості в точках A_i :

$$Z_i - X_i - V_i = Z_i - X_i - G_i - C_i = 0. \quad (1)$$

Рівняння збалансованості в точках B_i :

$$X_i - \sum X_{ij} = 0. \quad (2)$$

Рівняння збалансованості в точках M_i :

$$G_i - \sum G_{ij} = 0. \quad (3)$$

Підставляючи (2) і (3) у (1), отримаємо наступну систему рівнянь:

$$Z_i - \sum X_{ij} - \sum G_{ij} = C(i, j = 1, 2). \quad (4)$$

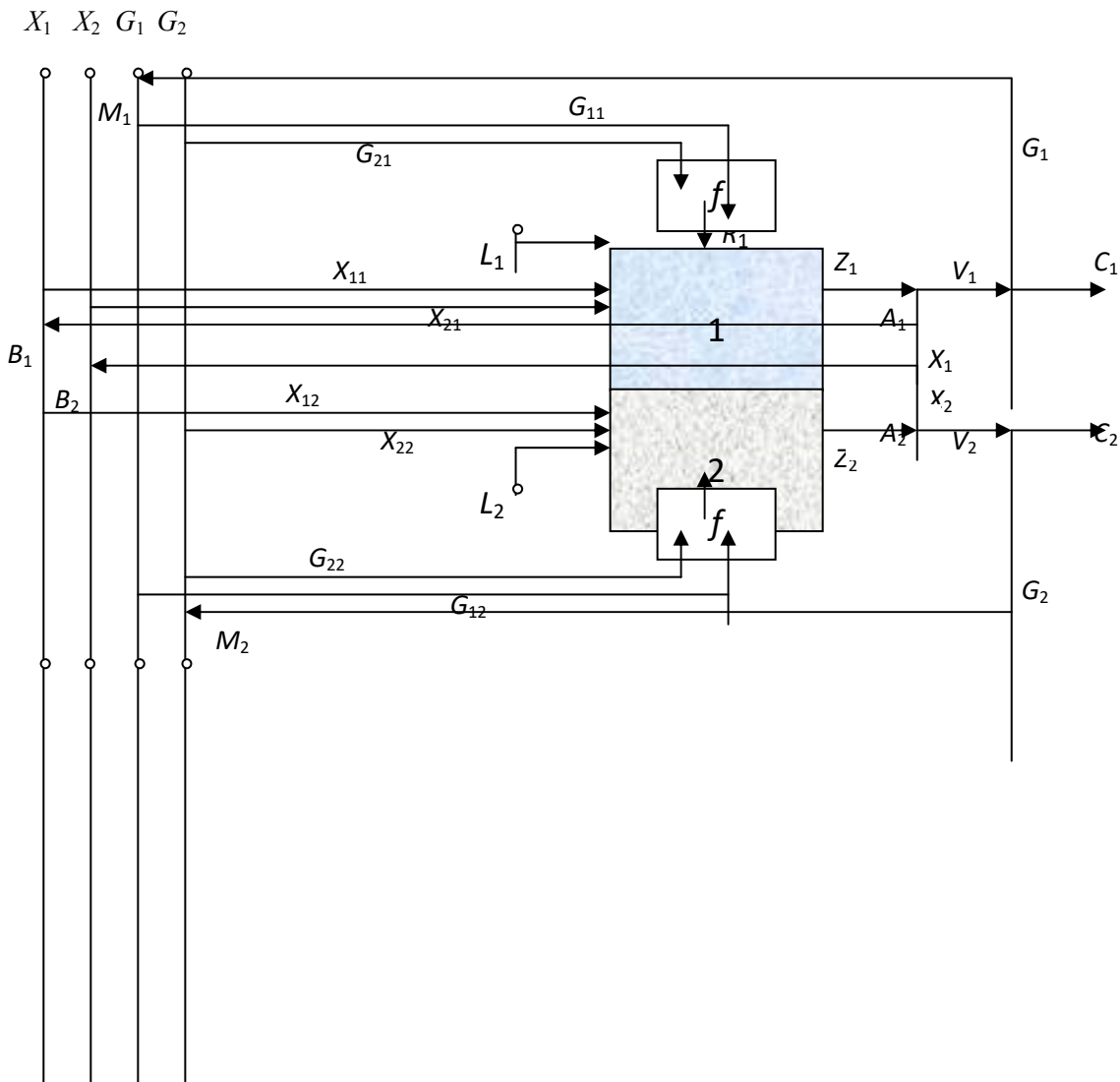


Рисунок 1 – Схема зв'язків між однопродуктовими моделями функціонування автомобільних доріг
Figure 1 – Diagram of connections between single-product models of road operation

Візьмемо до уваги, що

$$X_{ij} = a_{ij}Z_{ij} \text{ та } G_{ij} = k_{ij} \frac{dZ_j}{dt},$$

де a_{ij} та k_{ij} – норми поточних витрат та коефіцієнти інвестиційної складової відповідно, які приймаються постійними, та отримуємо наступну систему диференціальних рівнянь, що описують умови збалансованості у двопродуктовій моделі:

$$(1 - a_{11})Z_1(t) - a_{12}Z_2(t) - k_{12} \frac{dZ_2(t)}{dt} = C_1(t); \quad (5)$$

$$a_{21}Z_1(t) + (1 - a_{22})Z_2(t) - k_{21} \frac{dZ_1(t)}{dt} - k_{22} \frac{dZ_2(t)}{dt} = C_2(t).$$

Рівняння (5) при інтенсивностях складової користування, заданих функціями $C_1(t)$, $C_2(t)$, містять дві невідомі функції $Z_1(t)$, $Z_2(t)$. Поведінка системи буде цілком визначена за фіксованих початкових значень $Z_1(0)$ і $Z_2(0)$, вважаючи, що на початку прогнозного періоду вона знаходилася у збалансованому стані. У результаті рішення (5) за зазначених початкових умов буде визначена траєкторія розвитку розглянутої двопродуктової системи:

$$Z(t) = \varphi[C(t), a, k, Z(0), t] \quad (6)$$

Зміна використання ресурсів автомобільного транспорту, необхідних для забезпечення перевезень обома автомобільними дорогами визначиться балансовим співвідношенням:

$$L(t) = b_1Z_1(t) + b_2Z_2(t),$$

де b_i – витрати автомобільного транспорту.

Неважко узагальнити отримані результати стосовно до n -продуктової схеми забезпечення функціонування мережі доріг. Рівняння багатодуктової динамічної балансової моделі запишуться так:

$$Z_i - \sum a_{ij}Z_{ij} - \sum k_{ij} \frac{dZ_j}{dt} = C_i; \quad (7)$$

$$L(t) = \sum b_i Z_i(t) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n).$$

Система балансових рівнянь для статичної моделі може бути отримана із (7), якщо покласти $\frac{dZ_j}{dt} = 0$. При цьому система прийме наступний вигляд:

$$Z_i(t) - \sum a_{ij}Z_{ij} = C_i \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (8)$$

У загальному випадку статичну багатодуктову балансову модель можна подати у матричній формі:

$$AZ + Y = Z, \quad (9)$$

де A – матриця коефіцієнтів a_{ij} ;

Z та Y – вектори ВВП та вихідної перемінної (чистий національний продукт, національний доход) відповідно.

Розглянемо докладніше двопродуктову статичну модель:

$$\begin{aligned}(1 - a_{11})Z_1 - a_{12}Z_2 &= C_1; \\ a_{21}Z_1 + (1 - a_{22})Z_2 &= C_2,\end{aligned}\tag{10}$$

яка має чотири показники Z_1, Z_2, C_1, C_2 . При заданих інтенсивностях користування автомобільними дорогами, у випадку, коли визначник матриці:

$$\begin{vmatrix} 1 - a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & 1 - a_{22} \end{vmatrix}\tag{11}$$

не дорівнює нулю, система має єдине рішення:

$$\begin{aligned}Z_1 &= \frac{[(1 - a_{22})C_1 + a_{12}C_2]}{D}, \\ Z_2 &= \frac{[a_{21}C_1 + (1 - a_{11})C_2]}{D},\end{aligned}\tag{12}$$

$$D = (1 - a_{11}) + (1 - a_{22}) - a_{12}a_{21}.$$

Зазвичай для матриць, що описують лінійні міжпродуктові зв'язки, ця умова дотримується, тому $D > 0$. Неважко також обчислити необхідні об'єми руху транспортних потоків і вплив функціонування автомобільних доріг:

$$L = L_1 + L_2 = b_1Z_1 + b_2Z_2;\tag{13}$$

$$R = R_1 + R_2 = h_1Z_1 + h_2Z_2,$$

де h_i – коефіцієнти впливу автомобільних доріг як складових її мережі.

Подамо тепер формули (12) у наступному вигляді:

$$Z_1 = \bar{a}_{11}C_1 + \bar{a}_{12}C_2;\tag{14}$$

$$Z_2 = \bar{a}_{21}C_1 + \bar{a}_{22}C_2.$$

Тут коефіцієнти \bar{a}_{ij} – повні поточні витрати, необхідні для забезпечення об'ємів руху як одиниці чистого національного продукту, що враховують не тільки прямі, але й непрямі витрати, обумовлені зв'язками між забезпеченням функціонування всіх ланок мережі автомобільних доріг, охоплюваних багатопродуктовою моделлю. Коефіцієнти повних витрат уявляють собою суму прямих і непрямих витрат. У цьому випадку непрямі витрати функціонування, наприклад, першої автомобільної дороги на об'єми руху C_1 обумовлені його витратами на функціонування другої дороги, що також приймають участь у функціонуванні мережі автомобільних доріг загалом.

Коефіцієнти повних матеріальних витрат є елементами матриці

$$\begin{vmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{21} \\ \bar{a}_{12} & \bar{a}_{22} \end{vmatrix},\tag{15}$$

що є зворотною матриці (11).

За допомогою коефіцієнтів повних поточних витрат можуть бути визначені коефіцієнти повних витрат інших факторів функціонування, необхідні для забезпечення об'ємів руху в сенсі випуску ЧНП з одиничною інтенсивністю. Так, враховуючи (14), одержимо із (13) такі вирази для витрат автотранспорту:

$$L = \bar{b}_1 C_1 + \bar{b}_2 C_2,$$

де $\bar{b}_1 = b_1 \bar{a}_{11} + b_2 \bar{a}_{21}$; $\bar{b}_2 = b_1 \bar{a}_{12} + b_2 \bar{a}_{22}$. Інші витрати визначаються аналогічно.

У математичному моделюванні фундаментальну роль відіграє задача синтезу моделей оптимального прогнозування. Така модель описує умови суспільно-економічної збалансованості між перемінними в області, допустимій накладеними обмеженнями, й конкретно у тій її точці, якій відповідає екстремум цільової функції.

Оптимальна модель принципово відрізняється від балансових моделей, розглянутих вище. Перемінні, прийняті в якості незалежних, задаються не ззовні моделі, а визначаються з умови екстремуму цільової функції. Техніку синтезу оптимальних моделей та виникаючі при цьому поняття, що відносяться до теорії оптимального прогнозування, проілюструємо на прикладі лінійної статичної моделі.

Розглянемо спочатку модель, що максимізує об'єми руху як одиниці ЧНП при заданих обмеженнях у витратах автомобільного транспорту та ресурсному забезпеченні утримання та розвитку мережі автомобільних доріг. Skorистаємося рівняннями збалансованості (14) і подамо систему обмежень наступними нерівностями:

$$\begin{aligned} b_1 C_1 + b_2 C_2 &\leq L_M; \\ h_1 C_1 + h_2 C_2 &\leq R_M; \\ C_1 &\geq 0; C_2 &\geq 0 \end{aligned} \quad (16)$$

та лінійною цільовою функцією:

$$U(C_1, C_2) = p_1 C_1 + p_2 C_2 \rightarrow \max. \quad (17)$$

Тут L_M і R_M – верхні обмеження на витрати автомобільного транспорту й ресурсне забезпечення функціонування та розвитку мережі доріг, а p_1 і p_2 – задані коефіцієнти (ваги) компонентів користування, що характеризують транспортну цінність руху (розділ 3) кожного з них. Функція $U(C_1, C_2)$ побудована в припущенні їх взаємозамінності та є комбінацією двох способів користування. Задача синтезу моделі полягає у пошуку значень перемінних C_1 та C_2 , при яких $U(C_1, C_2) = \max$, і визначенні збалансованих значень об'ємів руху обома автомобільними дорогами.

Рішення задач такого типу здійснюється методами лінійного програмування. Обмежимося описом змістовної частини вирішення та зосередимо увагу на його аналізі. Skorистаємося графічною інтерпретацією рішення. Виберемо прямокутну систему координат (рис. 2) і побудуємо в ній прямі, обумовлені рівностями:

$$\begin{aligned} C_1 = 0; C_2 = 0 &\text{ – осі координат;} \\ b_1 C_1 + b_2 C_2 = L_M &\text{ – пряма I—I;} \\ h_1 C_1 + h_2 C_2 = R_M &\text{ – пряма II—II.} \end{aligned} \quad (18)$$

Усі точки, розташовані усередині та на границях заштрихованої області, задовольняють нерівностям (16). Побудуємо тепер сімейство рівнобіжних прямих, що залежить від параметра (уздовж прямої $U = \text{const}$). Покладемо, що p_1 та p_2 є такими, що прямі розташовані саме так, як показано на рис. 2.

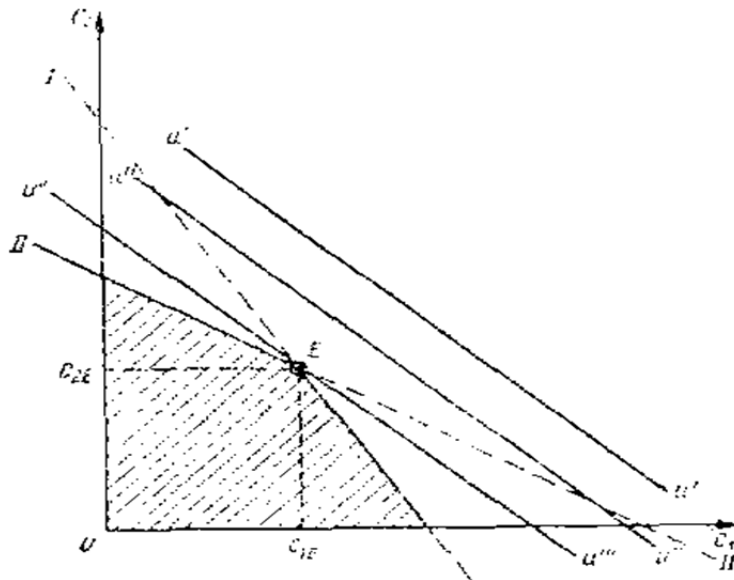


Рисунок 2 – Синтез двопродуктової моделі користування мережею автомобільних доріг
 Figure 2 – Synthesis of the two-product model of road network use

Тоді координати точки E , через яку проходить пряма U''' , визначається як координати точки перетинання прямих $I-I$ і $II-II$:

$$\begin{aligned} C_{1E} &= \bar{h}_2 L_M - \bar{b}_2 R_M; \\ C_{2E} &= \frac{(b_1 R_M - \bar{h}_1 R_M)}{D}; \\ D &= \bar{b}_1 \bar{h}_2 - \bar{b}_2 \bar{h}_1. \end{aligned} \quad (19)$$

Отже, максимум цільової функції виражається наступним чином:

$$\max U(C_1, C_2) = \frac{\left[(p_1 \bar{h}_2 - p_2 \bar{h}_1) L_M - (p_1 \bar{b}_2 - p_2 \bar{b}_1) R_M \right]}{D}. \quad (20)$$

За знайденими значеннями C_{1E} та C_{2E} можна обчислити значення показників Z_1 і Z_2 в оптимальному балансі. Припустимо, що значення обмежувачих факторів функціонування змінилися на малі величини ΔL_M і ΔR_M . Тоді цільова функція одержить малий приріст біля точки E , що обумовлений співвідношенням:

$$\Delta U_E = \left(\frac{\partial U}{\partial Z_M} \right)_E \Delta L_M + \left(\frac{\partial U}{\partial R_M} \right)_E \Delta R_M = \eta_L \cdot \Delta L_M + \eta_R \cdot \Delta R_M. \quad (21)$$

Часткові похідні η_L та η_R – граничні оцінки ефективності факторів функціонування в точці оптимуму, або, як їх прийнято називати, оцінки оптимального прогнозу. Вони показують, наскільки зміняться значення екстремуму цільової функції при малих змінах обмежень на обмежувачі фактори функціонування. Очевидно, що оцінки факторів, які не обмежують функціонування, тобто, такі, що є наявними у надлишку порівняно з потребами оптимального прогнозу, дорівнюють нулю. У нашому випадку:

$$\eta_L = \frac{(p_1 \bar{h}_2 - p_2 \bar{h}_1)}{D};$$

$$\eta_R = \frac{(p_1 b_2 - p_2 b_1)}{D}, \quad (22)$$

причому їх розмірність визначається розмірністю параметрів p_1 і p_2 у цільовій функції, кожний з яких відіграє роль оцінки відповідного компонента в наборі альтернатив користування автомобільними дорогами.

Оцінки оптимального прогнозу можуть бути отримані також із двоїстої задачі лінійного програмування, що у розглянутому випадку запишеться так:

$$\begin{aligned} \bar{b}_1 \eta_L + \bar{h}_1 \eta_R &= p_1; \\ \bar{b}_2 \eta_L + \bar{h}_2 \eta_R &= p_2; \\ \eta_L &\geq 0; \eta_R &\geq 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Цільова функція тут має наступний вигляд:

$$W(\eta_L, \eta_R) = L_M \eta_L + R_M \eta_R \rightarrow \min. \quad (24)$$

Тепер припустимо, що вектор користування (C_1, C_2) може будуватися декількома, наприклад, двома, способами. Їм відповідають приведені нижче матриці дорожніх і автомобільних витрат (заради спрощення, опустимо обмеження і прийемо, що $a_{ii} = 0$).

Побудуємо оптимальний прогноз функціонування з інтенсивностями, обмеженими знизу значеннями C_{1M} і C_{2M} , при мінімумі витрат автомобільного транспорту. Запишемо пряму задачу:

$$\begin{aligned} Z_1^{(1)} - a_{12}^{(1)} Z_2^{(1)} &= C_1^{(1)}; \\ -a_{21}^{(1)} Z_1^{(1)} + Z_2^{(1)} &= C_2^{(1)}; \\ Z_1^{(2)} - a_{12}^{(2)} Z_2^{(2)} &= C_1^{(2)}; \\ -a_{21}^{(2)} Z_1^{(2)} + Z_2^{(2)} &= C_2^{(2)}; \\ C_1^{(1)} + C_1^{(2)} &\geq C_{1M}; \\ C_2^{(1)} + C_2^{(2)} &\geq C_{2M}; \\ Z_i^{(S)} &\geq 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Цільова функція:

$$L(Z) = b_1^{(1)} Z_1^{(1)} + b_2^{(1)} Z_2^{(1)} + b_1^{(2)} Z_1^{(2)} + b_2^{(2)} Z_2^{(2)} \rightarrow \min. \quad (26)$$

З рішення цієї задачі знайдемо інтенсивності кожного зі способів функціонування, тобто компоненти $Z_i^{(S)}$ та екстремальне значення цільової функції, виражене через параметри моделі й обмеження. Оцінки оптимального прогнозу – у даному випадку оцінки компонентів користування автомобільними дорогами – визначаються з двозначної задачі, що описується наступною системою нерівностей:

$$\begin{aligned} \eta_1 - a_{21}^{(1)} \eta_2 &\leq b_1^{(1)}; \\ \eta_1 - a_{21}^{(2)} \eta_2 &\leq b_1^{(2)}; \\ -a_{12}^{(1)} \eta_1 + \eta_2 &\leq b_2^{(1)}; \\ -a_{12}^{(2)} \eta_1 + \eta_2 &\leq b_2^{(2)}; \\ \eta_1 &\geq 0; \eta_2 &\geq 0; \end{aligned} \quad (27)$$

та цільовою функцією

$$U(\eta_1, \eta_2) = C_{1M} \eta_1 + C_{2M} \eta_2 \rightarrow \max.$$

Дві шукані оцінки компонентів користування автомобільними дорогами η_1 та η_2 , що мають у даному випадку розмірність витрат власників транспортних засобів – користувачів автомобільних доріг, пов'язані чотирма нерівностями (27). Одночасно в строгі рівності можуть бути звернені тільки дві з них – одна з першої пари нерівностей, інша – із другої. Строгі рівності матимуть місце для

гіршого зі способів функціонування, що потрапили в оптимальний прогноз. Його називають замикаючим. Способи функціонування, що потрапили в оптимальний прогноз, трактують як ефективні.

Зроблений синтез моделей прогнозування роботи дорожнього господарства дозволяє підтвердити гіпотезу про методологічну відповідність моделей функціонування мережі автомобільних доріг як на мікрорівні, так і на макрорівні функціонування, що надає можливість побудувати відповідну до вимог часу систему управління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1.Мазуренко О.О. Перспективи подальшого розвитку міжнародних транспортних коридорів України / Мазуренко О.О. , Кудряшов А.В. // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – 2. – С.25-30.

2.Концева В.В. До питання вибору магістралей для аналізу транспортних потоків // В.В. Концева, Т.В. Макарова // Зб. наук. праць ДААТ. – 2015. – № 4. – С. 8–12.

3.Прейгер Д. К., Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку // Д. К. Прейгер, О. В. Собкевич, О. Ю. Ємельянова – К.: НІСД. – 2014. – С. 37-40.

4.Чернявська Т. А. Стратегічні напрями розвитку транспортно-комунікативної системи України в контексті забезпечення національної безпеки і самодостатності / Т. Чернявська // Вісн. Нац. гірн. ун-ту. — 2015. — № 3. — С. 68–76

5.Брагінський В. В. Розвиток транспортно-логістичної системи як форма реалізації транзитного потенціалу України / В. В. Брагінський // Державне управління: теорія і практика. — 2014. — № 2 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.htm>.

6.Михайличенко К. М. Відновлення транзитного потенціалу як чинник підвищення конкурентоспроможності України / К. Михайличенко // Стратегічні пріоритети. — 2015. — № 4. — С. 59–65.

7.Механізми ефективного використання та розвитку потенціалу транспортно-дорожнього комплексу України: аналіт. доп./ О.В. Собкевич, К.М. Михайличенко, О.Ю. Ємельянова. – К.: НІСД, 2014. – 60 с.

8.Cancela, H. Mathematical programming formulations for transit network design [Text] / H. Cancela, M. Mauttone, E. María // Transportation Research. – Part B: Methodological. –V.77. – 2015. – P. 17–37.

9.Sungs, S. Various Method to Solve the Optimality for the Transportation Problem [Text] / S. Sung, G. C. Dubey, R. Shrivastava // Statistical Mechanics and its Applications. – V.12. – 2016. – P. 161-169.

10. Teodorovic, D. (2016). Transportation Systems. [Text] / D. Teodorovic, M. Janic // Transportation Engineering. – 2016. – N2. – P. 5–62.

11. Лановий О. Т. Модель функціонування дорожнього комплексу з удосконалення дорожніх умов, що відповідають вимогам безпечного руху транспортних потоків : Зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції [«Безпека дорожнього руху: сучасність і майбутнє»] / Лановий О.Т. – Київ : НДЦ БДР МВС України, 2004. – С. 62-65.

12. Лановий, О. Т. Моделювання розвитку функціонування мережі автомобільних доріг загального користування в єдиній транспортній системі держави / Лановий О.Т. // Науково-виробн. зб. АДІ ДонНТУ. – Горлівка : 2008. – №1(6). – С. 88-95.

REFERENCES

1. Mazurenko, O.O., Kudryashov, A.V. (2016). Perspektivy podalshoho rozvytku mizhnarodnykh transportnykh korydoriv Ukrainy (Prospects for further development of international transport corridors of Ukraine) Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2. 2016. 25-30. [in Ukrainian].

2. Kontseva, V.V., Makarova, T.V. (2015). Do pytannia vyboru mahistralei dlia analizu transportnykh potokiv (On the choice of highways for the analysis of traffic flows). Coll. Science. against the DAAT. 2015. № 4. 8–12. [in Ukrainian].

3. Preiger, D.K., Sobkevich, O.V., Emelyanova, O.Yu. (2014). Realizatsiia potentsialu transportnoi infrastruktury Ukrainy v stratehii postkryzovoho ekonomichnoho rozvytku (Realization of the potential of transport infrastructure of Ukraine in the strategy of post-crisis economic development). K. : NISS. 2014. 37-40. [in Ukrainian].

4. Chernyavska, T.A. (2015). Stratehichni napriamy rozvytku transportno-komunikatyvnoi systemy Ukrainy v konteksti zabezpechennia natsionalnoi bezpeky i samodostatnosti (Strategic directions of

development of transport and communication system of Ukraine in the context of ensuring national security and self-sufficiency). *Visn. Nat. horn. un-tu.* 2015. № 3. 68–76. [in Ukrainian].

5. Braginsky, V.V. (2014). Rozvytok transportno-lohistychnoi systemy yak forma realizatsii tranzynoho potentsialu Ukrainy (Development of transport and logistics system as a form of realization of transit potential of Ukraine). *Public administration: theory and practice.* - 2014. - № 2 [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.htm>. [in Ukrainian].

6. Mykhailychenko, K.M.(2015). Vidnovlennia tranzynoho potentsialu yak chynnyk pidvyshchennia konkurentospromozhnosti Ukrainy (Restoration of transit potential as a factor in increasing the competitiveness of Ukraine). *Strategic priorities.* 2015. № 4. 59–65. [in Ukrainian].

7. Sobkevich, O.V., Mikhaylichenko, K.M., Yemelyanova, K.M. (2014). Mekhanizmy efektyvnoho vykorystannia ta rozvytku potentsialu transportno-dorozhnoho kompleksu Ukrainy (Mechanisms of effective use and development of the potential of the transport and road complex of Ukraine). *analyst.dop. K. : НІСД,* 2014. 60. [in Ukrainian].

8. Cancela, H., Mauttone, M., María E. (2015). Mathematical programming formulations for transit network design // *Transportation Research. Part B: Methodological.* V.77. 2015. 17–37. [in English].

9. Sung, S. , Dubey, C. , Shrivastava R. (2016). Various Method to Solve the Optimality for the Transportation Problem / S. Sung, G. // *Statistical Mechanics and its Applications.* V.12. 2016.161-169. [in English].

10. Teodorovic, D. (2016). *Transportation Systems / D. Teodorovic, M. Janic // Transportation Engineering.* 2016. N2. 5–62. [in English].

11. Lanovyi, O.T. (2004). Model funktsionuvannya dorozhnoho kompleksu z udoskonalennya dorozhnih umov, scho vIdpovIdayut vimogam bezpechnogo ruhu transportnih potokiv (Model of functioning of the road complex to improve road conditions that meet the requirements of safe traffic flow). *Coll. materials of the International scientific-practical conference "Road safety: present and future". Kyiv: NDC BDR MIA of Ukraine,* 2004. 62-65. [in Ukrainian].

12. Lanovyi, O.T.(2008). Modelyuvannya rozvitku funktsionuvannya merezhl avtomobilnih dorlg zagalnoho koristuvannya v Edinly transportny sisteml derzhavi (Modeling the development of the functioning of the network of public roads in a single transport system of the state). *Research and production. coll. ADI DonNTU.* 2008. №1 (6). 88-95. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Лановий О.Т. Методологічні основи синтезу моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг / О.Т.Лановий, В.Б.Кисельов, О.М. Кошарний // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал.* – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Мережа автомобільних доріг є однією з підсистем транспортної системи України. Вона має задовольняти потреби населення та економіки у пасажирських і вантажних перевезеннях.

Об'єкт дослідження – підвищення ефективності функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України через забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків..

Метод дослідження - теорія складних систем; морфологічний, функціональний та інформаційний описи функціонування мережі автомобільних доріг як підсистеми складної транспортної системи; математичне моделювання; імітаційне моделювання, а також теорії: транспортних потоків, автомобільних перевезень, інформації, управління, транспортно-експлуатаційних властивостей автомобільних доріг.

Мета роботи - дослідженні впливу функціонування мережі автомобільних доріг на економічну систему суспільства, визначення напрямків ефективності макrorівня функціонування мережі автомобільних доріг, синтезі моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг, а також прогнозування роботи дорожнього господарства.

Ефективність функціонування мережі автомобільних доріг загального користування як складової економічної системи суспільства визначається на наступних засадах.

Оцінка ефективності функціонування мережі автомобільних доріг загального користування як складової економічної системи суспільства надає можливість регулювання державою процесів необхідного рівня ресурсного забезпечення дорожніх робіт і формування транспортного попиту на користування автомобільними дорогами. Ці послуги є суспільно необхідними й надаються на умовах обмеженої (регульованої) монополії.

Визначення ефективності макрорівня функціонування мережі автомобільних доріг моделюється з позиції суспільства, коли уявлення базуються із суспільної точки зору (на макрорівні функціонування), на відміну від визначення, яке практикувалося дотепер, коли ці уявлення базувалися з позицій індивідуальної точки зору (на мікрорівні функціонування).

Зроблений синтез моделей прогнозування роботи дорожнього господарства дозволяє підтвердити гіпотезу про методологічну відповідність моделей функціонування мережі автомобільних доріг як на мікрорівні, так і на макрорівні функціонування, що надає можливість побудувати відповідну до вимог часу систему управління;

Доведено, що існує єдність і взаємозумовленість матеріально-речовинного і ціннісного (цінового, вартісного) аспектів розвитку мережі автомобільних доріг. Отримана модель демонструє принцип суспільно-економічної ефективності – спільно враховує рівноваги матеріальних і вартісних (ціннісних, цінових) потоків при функціонуванні мережі автомобільних доріг. Результати статті можна використовувати при конструюванні автомобілів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕРЕЖА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ, ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА УКРАЇНИ, МАКРОРІВЕНЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ КРАЇНИ, СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ.

ABSTRACT

Lanovyi O.T., Kiselyov V. B., Kosharny O.M., Methodological fundamentals of synthesis of models for forecasting rational functioning and development of road network. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The road network is one of the subsystems of the transport system of Ukraine. It should satisfy the needs of the population and the economy in passenger and cargo transportation.

The object of the study is to increase the efficiency of the functioning of the network of public highways of Ukraine by ensuring the conditions for the continuous, safe and convenient movement of traffic flows.

The research method is the theory of complex systems; morphological, functional and informational description of the functioning of the road network as a subsystem of a complex transport system; mathematical modeling; simulation modeling, as well as theories of: traffic flows, road transport, information, management, transport and operational properties of roads.

The purpose of the work is to study the influence of the functioning of the highway network on the economic system of society, to determine the direction of macro-level efficiency of the functioning of the highway network, to synthesize models for forecasting the rational functioning and development of the highway network, as well as to forecast the work of the road industry.

The effectiveness of the functioning of the network of public highways as a component of the economic system of society is determined on the following basis.

The assessment of the effectiveness of the functioning of the public highway network as a component of the economic system of society provides the opportunity for the state to regulate the processes of the necessary level of resource provision for road works and the formation of transport demand for the use of highways. These services are socially necessary and are provided under the conditions of a limited (regulated) monopoly.

The determination of the efficiency of the macro-level functioning of the road network is modeled from the perspective of society, when perceptions are based on the societal point of view (on the macro-level of functioning), in contrast to the definition that was practiced until now, when these perceptions were based on the individual perspective (on the micro-level of functioning).

The completed synthesis of models for predicting the work of the road industry allows to confirm the hypothesis about the methodological conformity of the models of the functioning of the road network both at the micro-level and at the macro-level of functioning, which makes it possible to build a management system that meets the requirements of the time;

The determination of the efficiency of the macro-level functioning of the road network is modeled from the perspective of society, when perceptions are based on the societal point of view (on the macro-level of functioning), in contrast to the definition that was practiced until now, when these perceptions were based on the individual perspective (on the micro-level of functioning).

The completed synthesis of models for predicting the work of the road industry allows to confirm the hypothesis about the methodological conformity of the models of the functioning of the road network both at the micro-level and at the macro-level of functioning, which makes it possible to build a management system that meets the requirements of the time;

KEY WORDS: NETWORK OF PUBLIC ROADS, TRANSPORT SYSTEM OF UKRAINE, MACRO-LEVEL FUNCTIONING OF THE COUNTRY'S ECONOMIC SYSTEM, SYNTHESIS OF FORECASTING MODELS.

АВТОРИ:

Лановий Олександр Тимофійович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, +38(063)932-03-41.,<https://orcid.org/0000-0002-0717-9870>

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики, Київ, Україна, kvbglush1953@gmail.co, тел. +380674657845, <https://orcid.org/0000-0003-3437-2825>

Кошарний О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5969-4858>

AUTHORS:

Lanovyi Oleksandr Tymofiiiovych, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: al.lanovoy@gmail.com, tel. +380639320341, <https://orcid.org/0000-0002-0717-9870>

Kiselyov Volodymyr Borysovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tavriya National University named after VI Vernadsky, Kyiv, Ukraine, e-mail: al.lanovoy@gmail.com, tel. +380674657845, <https://orcid.org/0000-0003-3437-2825>

Kosharnyi Oleksandr Mykolayovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: o.kosharnyi@gmail.com, tel. +380673771861,<https://orcid.org/0000-0002-5969-4858>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Домніч В.І. кандидат технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики, Київ, Україна

Поліщук В.П. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Domnich V.I. candidate of technical sciences, professor, Tavria National University named after V.I. Vernadskyi, professor of the department of general engineering disciplines and thermal power engineering, Kyiv, Ukraine

Polishchuk V.P. Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Transport Systems and Road Traffic Safety, Kyiv, Ukraine.