



УДК 656.078.1

**FORECASTING OF OPERATIONAL OF AUTO ROADS
CHARACTERISTICS****ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЬНИХ
ДОРІГ****Yareshchenko N.V. / Ярещенко Н.В.***s.t.c., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-0778-1474

*Kharkiv National Automobile Road University,**Kharkiv, Yaroslava Mudrogo 25, 61002**Харківський національний автомобільно дорожній університет,**Харків, Ярослава Мудрого 25, 61002*

Анотація. В роботі розглядаються проблеми та прогнози щодо розвитку транспортної системи України з точки зору націленості України на міжнародне співтовариство та інтеграцію до Європейської спільноти. Найважливішою метою проектування автомобільних доріг є обґрунтування розрахункових характеристик: інтенсивності, швидкості руху та навантажень на дорожній одяг. Запропонована модель прогнозування розрахункових характеристик, модель розвитку транспортної системи на організаційному рівні дозволить використовувати інформаційну мову моделювання.

Ключові слова: транспортна система, прогнозування, автомобільна дорога, математична модель, еволюція, автомобіль.

Вступ.

Найважливішою метою проектування автомобільних доріг є обґрунтування розрахункових характеристик: інтенсивності, швидкості руху та навантажень на дорожній одяг. Помилки в призначенні цих характеристик залишаються на десятиріччя, викликаючи неусуненні втрати автомобільного транспорту.

На протязі декількох десятиріч науковці і практичні працівники займалися питаннями визначення перспективного обсягу вантажоперевезень та інтенсивності дорожнього руху.

Запропоновані різними авторами прямі методи прогнозування розрахункових характеристик ґрунтуються на схемі екстраполяції, котра включає вивчення рядів у часі, створених з упорядкованих у часі наборів змін розрахункових характеристик.

Характеристики транспортної системи безперервно змінюються. Тому зі збільшенням періоду упорядження прогнозу різко падає його надійність. Внаслідок цього існуючі методи стають практично непридатними і стає потреба в розробці моделей довгострокового прогнозування розрахункових характеристик транспортної системи.

Основний текст

В практиці прогнозування експлуатаційних характеристик автомобільних доріг широко використовуються екстраполяційні, системно-структурні та асоціативні методи.

До групи екстраполяційних методів входять методи найменших квадратів, експоненційного згладжування, імовірнісного моделювання та адаптивного згладжування. До групи системно-структурних методів відносяться методи



функціонально - ієрархічного моделювання, матричний метод, мережевого моделювання. Асоціативні методи включають методи імітаційного моделювання

Основним інструментом усіх методів прогнозування є схема екстраполяції, яка включає вивчення тимчасових рядів, складених із упорядкованих в часі наборів вимірювань експлуатаційних характеристик. Стосовно до прогнозування, наприклад, швидкостей руху тимчасовий ряд може бути представлений в такому вигляді:

$$V_t = x_t \pm e_t, \quad (1.1)$$

де V_t – швидкість руху;

x_t - детермінована не випадкова компонента процесу (тренд);

e_t - стохастична випадкова компонента процесу.

В практиці прогнозування в якості моделі тренда використовують лінійну, квадратичну, ступеневу, показну, експоненційну, логістичну функції, кубічні сплайни і т.і. Вибір функції в кожному конкретному випадку здійснюється по ряду критеріїв, наприклад по дисперсії, кореляційному співвідношенню та інше. Оцінка постійних коефіцієнтів моделі здійснюється по методу найменших квадратів. В результаті виходить жорстко фіксована модель тренда, яка не дозволяє отримувати надійний прогноз на великий період попередження.

Тому дані моделі використовуються головним чином для короткострокового прогнозування на конкретних дорогах чи в конкретних умовах.

Прикладом таких моделей можуть бути моделі Бареля, який аналізував ступень кореляції часу зі швидкостями переможців у гонках “Індіана поліс 500”. Для опису зв’язку швидкості з часом Барель використовує напів логарифмічну функцію.

Аналогічна модель Фелнера В., який використовував для опису ті ж зв’язки подвійної логарифмічної моделі.

До числа екстраполяційних можна віднести і модель Д.Пуарье, який запропонував для опису тих же процесів використовувати кубічні сплайни у формі

$$V_i = S(n) + \varepsilon_i, \quad (1.2)$$

де ε_i - незалежні та нормально розподілені члени обурення з нульовим математичним очікуванням і постійною дисперсією;

n - номер року, в якому проходили гонки, рівний календарному року мінус 1910 рік;

$$S(n) = \begin{cases} 74,09 + 1,994n - 0,05058n^2 + 0,001204n^3, & 1 \leq n \leq 7,5 \\ 74,41 + 1,867n - 0,03356n^2 + 0,0004480n^3, & 7,5 \leq n \leq 33,5 \\ 86,03 + 0,8260n - 0,002501n^2 + 0,0001389n^3, & 33,5 \leq n \leq 61 \end{cases} \quad (1.3)$$

Варто зауважити, що екстраполяція в принципі придатна для процесів, які мають високу ступень інерційності, для високо агрегатованих показників. Швидкість руху не є таким показником, що може призвести до великих похибок.



Тому використання метода екстраполяції для прогнозування швидкостей руху не отримало широкого поширення.

Складності з аналізом причин зміни швидкостей руху змусили дослідників використовувати математичні методи прогнозування.

Пошук факторів, які впливають на швидкість руху, дозволили встановити, що найважливішим з них є інтенсивність руху. Тому перші математичні моделі - це однофакторні регресійні моделі зв'язку швидкості з інтенсивністю руху [1].

$$\bar{V} = tV_B - k_a \alpha N, \quad (1.4)$$

де \bar{V} - середня швидкість руху транспортного потоку;

V_B - швидкість вільного руху в еталонних умовах;

N - інтенсивність руху;

t - коефіцієнт впливу елементів дороги;

α - коефіцієнт впливу складу потоку;

k_a - коефіцієнт впливу розмітки, кривих у плані, поздовжніх уклонів та інтенсивності руху.

Аналогічна модель І.А.Романенко, який запропонував для визначення суспільно необхідну швидкість руху.

$$V_{CH} = 5N^{0,294}, \quad (1.5)$$

де V_{CH} - суспільно необхідна швидкість.

І.А.Романенко припускав, що середня швидкість розрахункового автомобіля в сучасних дорожніх умовах може змінюватися в межах від 5 до 150 км/год. Ці межі і обумовили граничні величини вихідних даних для розрахунку необхідної швидкості сполучення. Іншими словами, надана формула справедлива лише для умов, де середня конструктивна швидкість руху автомобілів не перевищує 150 км/год. Зі зміною цих швидкостей формула (1.5) буде непридатною.

Використання формул (1.4) та (1.5) для прогнозування швидкостей руху потребує попереднього знаходження прогнозних оцінок інтенсивності руху. Тому спочатку прогнозується інтенсивність руху (наприклад, методом екстраполяції), а потім знаходиться прогнозна оцінка швидкості при прогнозній оцінці інтенсивності руху.

З урахуванням залежностей, виявлених у ході дослідження, прогнозування розподілу "пікових" періодів в умовах високої інтенсивності дорожнього руху була розроблена субмодель UTPS ROAD, яка дозволяла прогнозувати для кожної ланки дорожньо - вуличної мережі пікову інтенсивність руху.

Подальші дослідження призвели до побудови багатофакторних регресійних моделей, які враховують вплив не тільки інтенсивності руху, а й всю різноманітність факторів, які формують дорожні умови. Однак, метод прогнозування швидкостей руху залишився незмінним. Спочатку прогнозувалася інтенсивність руху, а потім для цієї інтенсивності розраховувалася швидкість на основі рівнянь багатофакторної регресії.

Прикладом багатофакторних регресійних моделей є моделі І.С.Садикова, А.В.Кацаї, Д.І.Раснянського.

$$\bar{V} = \log K + 3,16B - 0,21i - 0,023N - 0,13p - 71, \quad (1.6)$$



де \bar{V} - середня швидкість руху, км/год;
 K - кількість деформацій дорожнього покриття, %;
 B - ширина проїзної частини, м;
 i - повздовжній ухил, %;
 N - інтенсивність руху, авт/год;
 p - відсоток легкових автомобілів.

Аналогічна модель була отримана у США [2]

$$\bar{V} = 39,34 + 0,0267x_1 + 0,1396x_2 + 0,8125x_3 + 0,1126x_4 + 0,0007x_5 + 0,6444x_6 - 0,5451x_7 - 0,0082x_8, \quad (1.7)$$

де \bar{V} - середня швидкість, миль/г;
 x_1 - кількість автомобілів інших штатів, %;
 x_2 - кількість вантажних автомобілів з причепом, %;
 x_3 - кривизна траси, градуси;
 x_4 - ухил, %;
 x_5 - мінімальна відстань, видимості;
 x_6 - ширина проїзної частини, фути;
 x_7 - кількість пунктів обслуговування на одну милю;
 x_8 - сумарна інтенсивність руху, авт/год.

Використання багатofакторної моделі дозволило аналітично оцінити потреби забезпечення в перевезенні по магістральним та по місцевим дорогам. При цьому планування дорожніх робіт виконується на основі даних як короткострокових, так і перспективних планів економічного розвитку.

Подальше вдосконалення регресійних моделей відбувалося з урахуванням погодно-кліматичних факторів. Так, одна з перших регресивних моделей, яка ураховує погодно-кліматичні фактори, надана у вигляді:

$$\bar{V}_i = b_0 + \sum_{i=1}^9 b_i x_i, \quad (1.8)$$

де \bar{V}_i - середня швидкість руху i -того автомобіля;
 b_0 - постійна;
 b_1, \dots, b_9 - множники факторів;
 x_1 - інтенсивність руху, авт/год;
 x_2 - доля легкових автомобілів у потоці, % ;
 x_3 - індекс погодно-кліматичних умов;
 x_4 - доля автомобілів, які їдуть у колоні, % ;
 x_5 - сумарна кривизна дороги;
 x_6 - доля ділянок з видимістю зустрічного автомобіля < 460 м, % ;
 x_7 - мінімальна довжина видимості на ділянці, м;
 x_8 - доля довжини траси в населених пунктах, % ;
 x_9 - кількість перехресть.

В подальшому дослідженні В.А.Суспіцина, А.П.Васильєва, В.П.Раснікова та інших дозволили повернутися до однофакторної регресійної моделі зв'язку швидкості з інтенсивністю руху у формі

$$V = k_{cr} V_p - 3\sigma_v - \beta\gamma N, \quad (1.9)$$

де k_{cr} - середньо сезонний коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості,



який ураховує тривалість дій і наслідки метеорологічних явищ та їх поєднань на стан поверхні дороги і режим руху транспортного потоку;

V_p - розрахункова швидкість руху;

σ_v - середньоквадратичне відхилення швидкості вільного транспортного потоку;

β - доля вантажних автомобілів в транспортному потоці, долі од.;

γ - коефіцієнт впливу інтенсивності руху

Коефіцієнт впливу погодно-кліматичних умов розраховується по формулі

$$k_{cr} = \int_X k_{pc}(x) A_T P(x) dx, \quad (1.10)$$

де $k_{pc}(x)$ - приватні коефіцієнти забезпечення розрахункової швидкості при дії різних метеорологічних факторів x_i ;

A_T - лінійний оператор тривалості дії та наслідків (T) метеорологічних факторів, дорівнює

$$T = t_1 + t_2,$$

де t_1 - тривалість дії;

t_2 - тривалість наслідків;

$P(x)$ - ймовірність дії фактора.

В однофакторних та багатфакторних регресійних моделях прогноз інтенсивності руху здійснюється за допомогою екстраполяційних моделей.

При цьому для короткострокового прогнозування використовуються три моделі:

- при прогнозуванні до 5 років

$$N_t = N_0(1+Pt), \quad (1.11)$$

де N_0 - річна середньодобова інтенсивність руху за початковий рік, яка визначається за даними обліку руху, авт/доб.;

P - середні темпи росту інтенсивності руху за останні 10-15 років;

t - порядковий номер розрахункового року;

- при прогнозуванні на термін більш 3 років

$$N_t = N_0 (1 + P/100)^{n-1}, \quad (1.12)$$

де n - число років, на які прогнозується інтенсивність;

- при прогнозуванні до 5 років

$$N_t = N_0 q^{n-1}, \quad (1.13)$$

де q - коефіцієнт щорічного росту інтенсивності руху, який визначається за даними обліку її за останні 10 - 15 років

При середньостроковому прогнозуванні до 15 років використовується екстраполяційна модель виду

$$N_t = at^2/(b+t^2), \quad (1.14)$$

де a, b - коефіцієнти, встановлювані по даним обліку інтенсивності за останні 10 - 15 років;

t - порядковий номер року, на який прогнозують N_t .

При довгостроковому прогнозуванні > 15 років використовуються:

- екстраполяційна модель виду (1.12) з перевіркою по рівнянню (1.14);

- метод експертних оцінок;

- методи, які засновані на аналізі вантажних та пасажирських перевозок у



районі пролягання дороги.

Найменш надійним є довгостроковий прогноз, що зв'язано з кількома причинами.

По-перше, моделі типа (1.14) мають жорстку задану структуру. Характер моделі в довгострокових відрізках часу може змінюватися.

По-друге, в регресійних моделях недостатньо ураховуються особисті тенденції розвитку фактора-функції факторів-аргументів.

По - третє, в цих моделях передбачається рівноцінність вихідної інформації, початкових значень інтенсивності руху N_0 .

В реальній же практиці поведінка процесу в більшій ступені визначається пізніми спостереженнями (дисконтування при визначенні коефіцієнтів моделі). Під дисконтуванням розуміють зменшення цінності більш ранньої інформації.

В випадку визначення коефіцієнтів моделі по методу найменших квадратів дисконтування здійснюється шляхом введення деяких вагових коефіцієнтів $b_i < 1$ в модель тренда. Постійні коефіцієнти моделі (її параметри) визначаються з умови

$$S = \sum_{i=1}^n \beta_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min \quad (1.15)$$

Вагові коефіцієнти b_i задаються раніше в числовій формі чи в виді функціональної залежності. Ця залежність вибирається дослідником довільно.

В випадку вирівнювання даних які спостерігаються по методу ковзної середньої передбачається, що вага спостережень по глибині минулого зменшується відповідно до експоненти.

Зважування схожої інформації дає позитивні результати при середньострокових прогнозах. Для довгострокових прогнозів цього виявляється недостатньо.

Прогнозування швидкостей руху, засновано на розробці математичних моделей руху окремих автомобілів і транспортного потоку (Безбородова Г.Б., Гаврилов Е.В., Гредескул А.Б., Ренте А., Сильянов В.В., Філіпов В.В. є недостатнім для довгострокового прогнозування. Дані моделі є моделями функціонування, а не розвитку транспортної системи.

Підвищити точність довгострокових прогнозів можливо, якщо використовувати так звані функції з гнучкою структурою, форма якої може змінюватися і автоматично пристосовуватися до досліджуваного процесу. Функція з гнучкою структурою вказує не тільки залежність одного фактора від другого, а й особисту тенденцію розвитку кожного фактора. Функція з гнучкою структурою була запропонована Н.К.Куликовим і має вигляд

$$F(x) = A_0 + \sum_{j=1}^n a_j \delta_j (x-x_0) / D, \quad (1.16)$$

де n - деякі фіксовані натуральні числа;

x_0 - початкове значення фактора-аргументу на розглянутому інтервалі часу;

A_0, A_1, \dots, A_n - постійні дійсні параметри;

D - визначник Ван-дер-Мора k -го порядку;

$\delta_j(x-x_0)$ - функція, яка отримана із визначника шляхом заміни строки j на



відповідні функції.

$$\varphi(x_1-x_0) = [\exp r_v(x-x_0) - 1]/r_v, v = 1, 2, \dots, n. \quad (1.17)$$

Вихід із цієї ситуації був запропонований А.А.Френкелем. В його роботі був розглянутий метод розкладання головної тенденції показника, що досліджується на його складники, які зв'язані зі зміною впливу в часі визначальних факторів. Основний сенс його методики зводиться до наступного. Передбачається, що вплив основних факторів на досліджуваний показник не залишається постійним у часі, а якимось чином змінюється. Таким чином, задача зводиться до визначення значень, які змінюються коефіцієнтів регресії багатofакторної моделі, тож замість статичної залежності $V=f(x_i)$ пропонується знайти динамічну модель.

$$V_t = f[a_0(t), a_1(t), \dots, x_1(t), x_2(t), \dots]. \quad (1.18)$$

Найбільш продуктивним виявився так званий метод еволюційно-ймовірнісного прогнозування, запропонований Е.В.Гавриловим. Згідно з цим методом формується ймовірнісна модель еволюції системи людина - технічний засіб - дорожнє середовище. Потім на основі цієї моделі оцінюються не показники стану компонентів системи, а ймовірності переходів стану компонентів із фактичного стану в заданий.

При достатній кількості інформації ймовірнісна модель дає надійний довгостроковий прогноз. Крім цього, ця модель відрізняється простотою та наочністю [3].

$$\delta m(d^2x_i/dt^2) = P_{ei} + \lambda_i \gamma_i (V_i - V_{ni}), \quad (1.19)$$

де V_{ni} - норма швидкості руху для i -того мотиву діяльності людини;
 γ_i - жорсткість цільової установки людини на рух зі швидкістю V_{ni} .

Висновки.

На основі аналізу історії розвитку автомобільного транспорту описано існуючі методи прогнозування експлуатаційних характеристик. Основне місце займають екстраполяційні. У практиці прогнозування як моделі тренду використовують лінійну, квадратичну, ступеневу, показникову, експоненційну, логічну функцію та кубічні сплайни. Прикладами таких моделей можуть бути моделі У.Барзеля, В.Фелнера, Д.Пуарьє. Дані моделі мають жорстко фіксовані тренди, не дозволяють аналізувати причини зміни швидкостей руху, мають низьку надійність прогнозу зі збільшенням періоду упередження.

Дані моделі є моделями функціонування, а не розвитку транспортної системи і тому не можуть використовуватися для довгострокового прогнозування. Запропонована модель прогнозування розрахункових характеристик, модель розвитку системи "людина - автомобіль - середовище руху" на організаційному рівні дозволить використовувати інформаційну мову моделювання.

Література:

1. Тридід О.М., Азаренкова Г.М., Мішина С.В., Борисенко І.І. Логістика. Навч. посіб. — К.: Знання, 2008. — 566 с.
2. Ukrlogist. [Електронний ресурс]: Проблеми транспортної логістики: Практический опыт украинских предприятий / Савченко Л. — Режим доступу: <http://www.ukrlogist.com/article/transport-i-jekspedirovanie/452>.



3. Ярещенко Н.В. Еволюція конструктивних швидкостей автомобілів. Вестник. ХГАДТУ. Сб. научных трудов. В. 15-16. Харьков 2001, с. 18-21.

Abstract. *In the article determines the problems and projections concerning the development of transport logistics from the point of view of Ukraine's aim to international collaboration and integration into the European community. The article describes the necessity of the prognosis and mathematical model of system "man-automobile-outer world" evolution is suggested.*

This article suggests to model the evolution system at the organizational stage that allows to use the language the models. For give a qualitative estimation of system "man-automobile-outer world" when they are "closed" it is offered to use the law of preservation of entropy.

The work describes the prognostication of social necessary velocity of the system "man-automobile-outer world".

Key words: *transport system, forecasting, highways, mathematical model, evolution, automobile.*