

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Н. У. Гюлєв

ПРОГНОЗУВАННЯ В ЛОГІСТИЦІ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 073 – Менеджмент)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Гюлев Н. У. Прогнозування в логістиці : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 073 – Менеджмент / Н. У. Гюлев ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 42 с.

Автор

д-р техн. наук, проф. Н. У. Гюлев

Рецензент

Є. І. Куш, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних систем і логістики (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою транспортних систем і логістики, протокол № 1 від 29 серпня 2023 р.

© Н. У. Гюлев, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лекція 1 Формалізовані методи прогнозування.....	5
Лекція 2 Методи прогнозування характеристик транспортних потоків	10
Лекція 3 Методи прогнозування еволюції системи.....	14
Лекція 4 Математична модель довгострокового прогнозування.....	17
Лекція 5 Оцінка параметрів моделі прогнозування.....	19
Лекція 6 Довгостроковий прогноз швидкостей руху	23
Лекція 7 Довгостроковий прогноз вагових характеристик.....	29
Лекція 8 Довгострокове прогнозування обсягів перевезень пасажирів	33
Список рекомендованих джерел.....	41

ВСТУП

Прогноз – ймовірне уявлення про появу подій у майбутньому, засноване на спостереженнях та теоретичних положеннях, обґрунтоване судження про ймовірність настання однієї чи кількох подій або про можливі стани процесу, судження про майбутній період часу.

Процедура прогнозування полягає у визначенні об'єктів прогнозу, вибору об'єктів, які прогнозуються, визначенні тимчасових горизонтів прогнозу, вибору прогнозування, збору даних, обґрунтуванні моделі прогнозування, складанні прогнозу, відстеженні результатів.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Прогнозування в логістиці» є одержання теоретичних знань і практичних навичок у сфері прогнозування в логістиці.

Предметом вивчення дисципліни є моделі прогнозу, принципи їх побудови та методи прогнозування.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен вміти розробляти статистичні моделі прогнозу параметрів матеріальних потоків, застосувати статичні лінійні балансові моделі для прогнозування обсягів перевезень між секторами економіки, прогнозувати параметри матеріальних потоків на основі ймовірнісного характеру елементів перевізного процесу.

ЛЕКЦІЯ 1 ФОРМАЛІЗОВАНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ

У процесі розвитку методології прогнозування значну роль відігравали закони, сутність і функції прогнозування, його роль та місце в системі планування. Розвиток робіт щодо прогнозування відбувається за такими основними напрямками: поглиблення теоретичних і прикладних розробок декількох груп методик, які відповідають вимогам різних об'єктів і різних видів робіт, для прогнозування; розробка та реалізація на практиці спеціальних засобів та процедур використання різних методичних прийомів під час конкретного прогнозного дослідження; пошук шляхів та засобів алгоритмізації методик прогнозування.

Прогнозування визначається як імовірнісне обґрунтоване судження про перспективи, можливості стану того чи іншого явища в майбутньому, про альтернативні шляхи й терміни його існування.

За оцінками вчених, на сьогодні існує понад 150 методів прогнозування. Багато з цих методів належать до окремих груп, які враховують особливості об'єкта прогнозування. Інші становлять набір окремих елементів, які відрізняються від базових або один від одного послідовністю їх використання.

Оскільки прогноз – це науково обґрунтоване уявлення про можливі стани об'єкта в майбутньому й про альтернативні шляхи й строки їх здійснення, він розглядається як частина системи управління, основне завдання якого визначається випереджувальною орієнтацією управління на можливі зміни стану розвитку об'єктів управління, середовища їх функціонування в майбутньому. Загальна схема процесу прогнозування наведена на рисунку 1.1.

На сьогодні сформувалися два підходи до розробки прогнозів – пошуковий і нормативний .

Пошуковий (дослідницький) прогноз – визначення тенденцій розвитку, що об'єктивно існують, шляхом аналізу історичних тенденцій. Цей вид

прогнозування заснований на використанні принципу інерційності розвитку, при якому орієнтація прогнозу відбувається від нинішнього до майбутнього. Такий прогноз дає відповідь на питання: «Що найімовірніше відбудеться за умови збереження сучасних тенденцій?»

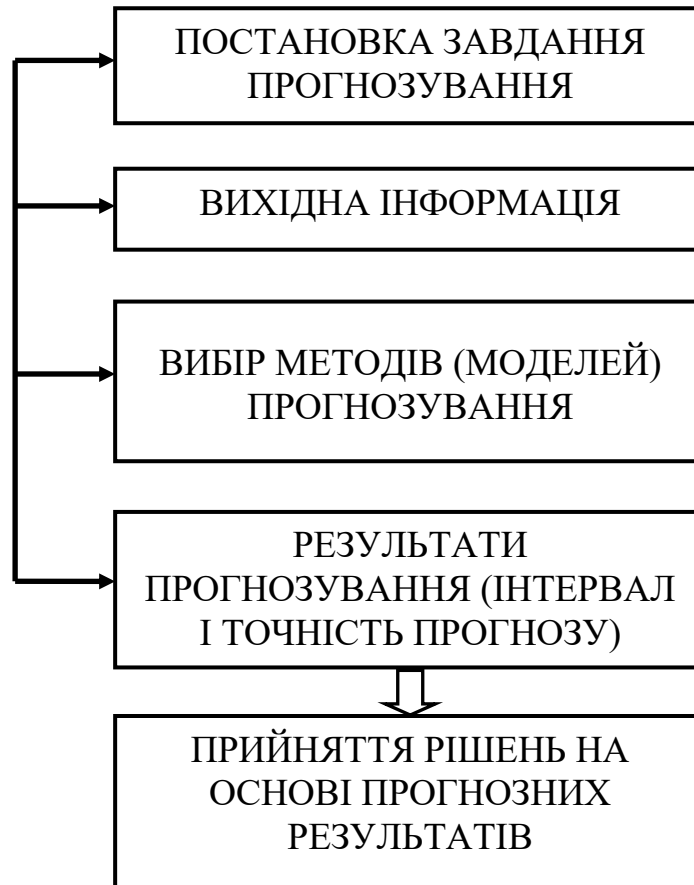


Рисунок 1.1 – Загальна схема процесу прогнозування

Нормативний прогноз – визначення шляхів і термінів здійснення можливих станів явища, що приймаються за мету. У такому випадку орієнтація прогнозу в часі відбувається від майбутнього до сьогодення.

При цьому вибір методу прогнозування залежить від багатьох факторів. На практиці експерт має велику свободу вибору не тільки типу моделі, а й кількості параметрів. Як критерії вибору конкретного методу прогнозування, можна використовувати такі:

- 1) мінімізація кількості параметрів моделі;
- 2) кількість зусиль, що витрачаються на побудову моделі, і наявність готових машинних програм;
- 3) швидкість, з якою метод сприймає суттєві зміни в поведінці ряду, наприклад, зсув математичного очікування або збільшення кута нахилу лінії тренду;
- 4) існування серійних кореляцій у похибках (у більшості випадків вказує на те, що модель дуже спрощена);
- 5) незмінність первинних даних;
- 6) повний обсяг роботи – у деяких сферах діяльності, де тисячі рядів щомісяця потребують оновлення, невеликі витрати й швидкість мають істотне значення;
- 7) оперативність – у таких завданнях, як управління транспортом. Щоб прогноз був корисним, необхідно мати можливість отримувати його протягом годин, хвилин або навіть секунд.

Але головною ознакою для кожного з методів прогнозування є строк прогнозу. Для визначення строку прогнозу запропоновано безрозмірний показник глибини (дальності) прогнозування:

$$\tau = \frac{t_{\text{прог}}}{t_{\text{евол}}}, \quad (1.1)$$

де $t_{\text{прог}}$ – абсолютний час передбачення, роки;

$t_{\text{евол}}$ – величина еволюційного циклу об'єкта прогнозування, роки.

Залежно від величини цього показника визначаються методи прогнозування, а саме:

- 1) якщо $\tau < 1$, – формалізовані методи;
- 2) якщо $\tau \approx 1$, – інтуїтивні методи, для визначення сили та часу стрибка у розвитку об'єкта; формалізовані методи – для оцінки ділянок до та після стрибка;
- 3) якщо $\tau > 1$ – інтуїтивні методи.

З огляду на це пропонується об'єднати методи прогнозування у дві групи: симплексні та математичні методи, які частково використовуються при прогнозуванні параметрів транспортних систем (рис. 1.2).

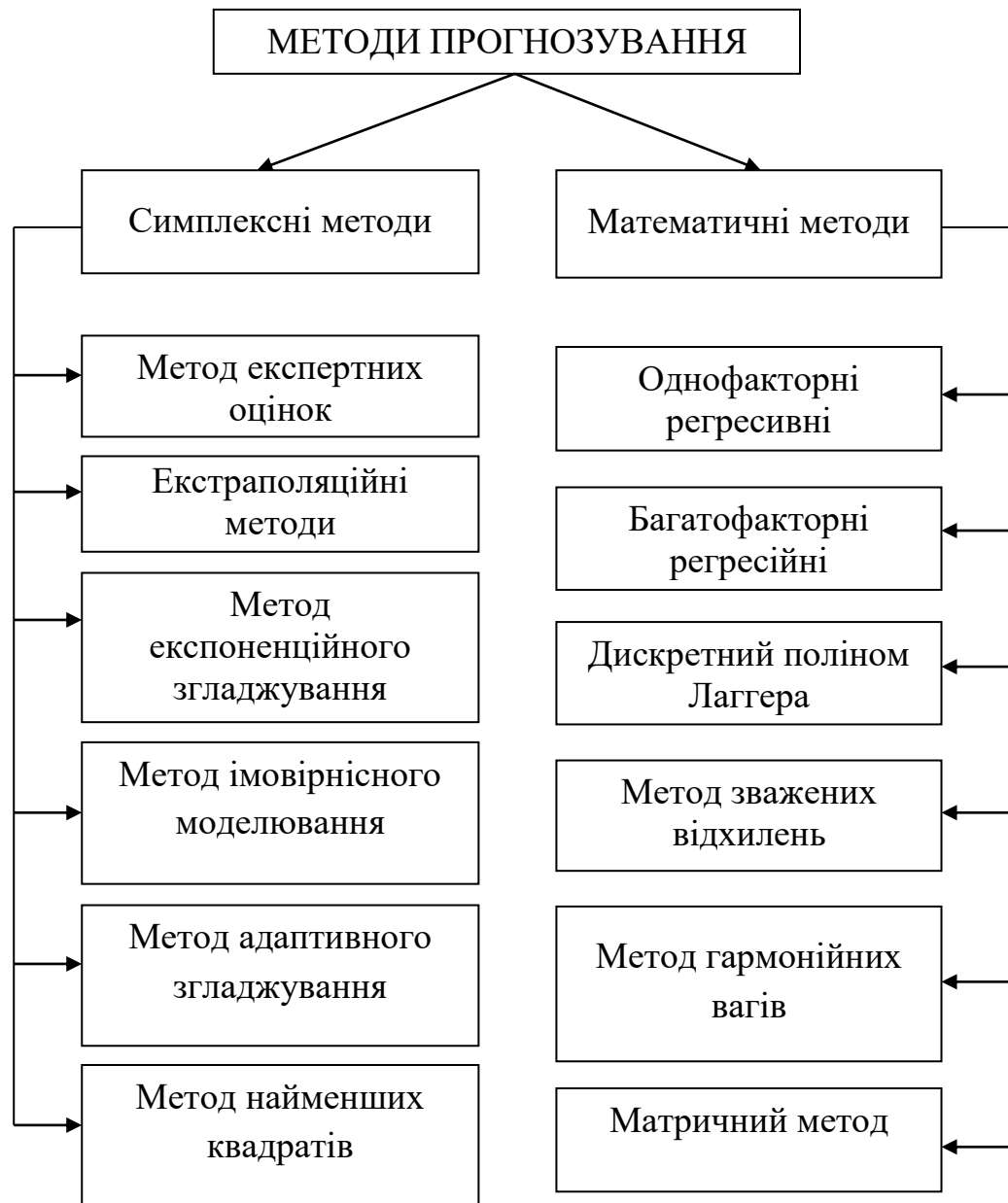


Рисунок 1.2 – Симплексні та математичні методи прогнозування

Основним інструментом прогнозу є схема екстраполяції. Розрізняють формальну і прогнозу екстраполяції. Формальна базується на припущенні про

зберігання в майбутньому попередніх і сучасних тенденцій розвитку об'єкта прогнозу.

Екстраполяційні методи прогнозування базуються на вивченні часових рядів, які становлять впорядковані в часі набори вимірів тих або інших характеристик процесу (об'єкта), що досліджується. Стосовно прогнозування параметрів транспортних систем часовий ряд можна представити у такому вигляді:

$$X(t) = x_t + \varepsilon_t, \quad (1.2)$$

де $X(t)$ – розрахункова характеристика параметра транспортних систем;

x_t – детермінована не випадкова компонента процесу (тренд);

ε_t – стохастична випадкова компонента процесу.

Якщо детермінована компонента характеризує наявну динаміку розвитку процесу в цілому, то стохастична компонента відображає випадкові коливання або шуми процесу. Обидві складові процесу визначаються будь-яким функціональним механізмом, що характеризує їх поведінку в часі. Завданням прогнозу є визначення виду функцій x_t і ε_t на підставі вихідних даних.

Цей метод має низку переваг, таких як незначна трудомісткість обчислювального алгоритму та універсальні розрахункові схеми. Серед недоліків варто назвати такі:

– усі фактичні спостереження є результатом закономірності та випадковості;

– немає можливості оцінити правомірність використання середнього приросту в кожному конкретному випадку;

– такий підхід не дозволяє сформулювати інтервал, у який потрапляє величина, що підлягає прогнозуванню.

Отже, цей метод не дає точного результату, тому екстраполяційні методи найбільш доцільно використовувати при виконанні середньострокових прогнозів на 5–7 років.

ЛЕКЦІЯ 2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

Експертні методи прогнозування вимагають від експерта глибоких теоретичних знань та практичних навичок під час збору та узагальнення всієї доступної інформації про об'єкт прогнозування. Експертні методи прогнозування, як правило, використовуються у таких випадках:

- коли неможливо врахувати вплив багатьох факторів через значну складність об'єкта прогнозування;
- за наявності високого ступеня невизначеності інформації або за відсутності інформації про об'єкт прогнозування.

З огляду на зазначене вище можна зробити висновок, що експертні методи застосовують тоді, коли об'єкт прогнозування або дуже простий, або настільки складний, що аналітично врахувати вплив багатьох факторів практично неможливо.

У свою чергу, індивідуальні експертні оцінки використовують два методи формування прогнозу:

- інтерв'ю;
- аналітичні експертні оцінки.

Недоліком цих методів є обмеженість знань одного експерта про розвиток суміжних областей науки.

До колективних експертних оцінок належать такі методи:

- комісій;
- віднесеної оцінки;
- Делфі.

Недоліком методу комісій є судження групи експертів, які керуються логікою компромісу.

У 1970–1980 рр. були розроблені методи, які дозволяють певною мірою організувати статистичний аналіз думки експертів-спеціалістів. Метод Делфі – один з найбільш розповсюджених методів експертної оцінки майбутнього. Цей метод розроблено американською дослідницькою корпорацією.

Метод Делфі має кілька особливостей: анонімність експертів, використання результатів попереднього опитування, статистична характеристика групової відповіді.

Істотним недоліком цієї групи методів при прогнозуванні є відсутність математичного зв'язку між причиною, що призвела до зміни прогнозованої характеристики, і чисельним поданням прогнозу.

Загалом, значна група методів експертних оцінок має спільний недолік – залежність прогнозів від компетентності та досвіду експертів.

Однак головним недоліком експертних методів є те, що вони не можуть самостійно використовуватися при прогнозуванні, а лише як доповнення до основних методів.

До іншої групи симплексних методів, які зазвичай застосовують при прогнозуванні, можна віднести такі методи: найменших квадратів і його модифікації, експоненціального згладжування, імовірнісного моделювання і адаптивного згладжування.

Суть методу найменших квадратів полягає у визначенні параметрів моделі тренду, які мінімізують її відхилення від точок вихідного часового ряду, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де \bar{y}_i – розрахункове значення вихідного ряду;

y_i – фактичне значення вихідного ряду;

n – число спостережень.

На практиці дослідження як модель тренду здебільшого використовуються такі функції:

– лінійна:

$$y = a \cdot x + b, \quad (2.2)$$

де y , x – відповідно, вхідна та вихідна змінні;

a , b – коефіцієнт моделі;

– поліноміальна другого степеня:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c, \quad (2.3)$$

де c – коефіцієнт моделі;

– степенева:

$$y = x^h, \quad (2.4)$$

де h – степінь моделі;

– показникова:

$$y = a^x, \quad (2.5)$$

– експоненціальна:

$$y = a \cdot e^x. \quad (2.6)$$

Використання процедури оцінювання, що базується на методі найменших квадратів, передбачає обов'язкове задоволення низки передумов, невиконання яких може призвести до значних помилок:

1) випадкові помилки мають нульову середню, кінцеві дисперсії та коваріації;

2) кожне вимірювання випадкової помилки характеризується нульовим середнім, яке не залежить від значень конкретних змінних;

3) дисперсії кожної випадкової помилки однакові, їх величини не залежать від значень змінних;

4) відсутність автокорекції помилок;

5) випадкові помилки мають нормальний розподіл.

Метод найменших квадратів належить до методів короткострокового прогнозування та широко використовується для отримання конкретних прогнозів, що пояснює простоту й легкість його використання. Недоліком

цього методу є те, що модель тренду жорстко фіксується, і за його допомогою можна отримати надійний прогноз на невеликий період часу.

Метод експоненціального згладжування – ефективний і надійний метод прогнозування. З-поміж його основних переваг можна назвати такі: можливість врахування важелів вихідної інформації; простота розрахункових операцій; гнучкість опису різноманітних динамік процесу. Метод дає змогу оцінити параметри тренду, що склалися до моменту останнього спостереження. Здебільшого його застосовують для реалізації середньострокових прогнозів.

Математичні методи прогнозування дають змогу застосовувати велику кількість функцій для прогнозування змін того чи іншого показника у часі.

Великій кількості методів дослідницького прогнозування на транспорті властивий механістичний підхід. Лінійні функції відображають зміни в арифметичній прогресії, показникові функції відображають зміни в геометричній прогресії.

У складніших випадках використовують криволінійні залежності, серед яких слід виокремити логістичну криву. Цю криву в більшості випадків треба застосовувати для аналітичного вирівнювання різних економічних та соціальних явищ, які характеризуються тим, що при прямуванні незалежної змінної до нескінченності залежна наближується до деякого максимального рівня.

Рівняння логістичної кривої виглядає так:

$$y = \frac{1}{a + b \cdot c^x}. \quad (2.7)$$

Рівняння кривої Гомперца має такий вигляд:

$$y = a \cdot b^{c^x}, \quad (2.8)$$

де a, b, c – постійні коефіцієнти;

x – незалежна змінна, що набуває цілочисельних значень.

Прикладом застосування залежності (2.8) є використання S-подібної кривої Гомперца для опису динаміки змінювання рівня спеціалізації рухомим складом автомобільного парку:

$$Y = P_{pc} \cdot e^{-a \cdot e^{-b \cdot e^t}}, \quad (2.9)$$

де P_{pc} – верхня межа насичення вантажного автомобільного парку спеціалізованим рухомим складом, %;

a, b – константи кривої, що характеризує її підйом a і нахил b ;

t – час, протягом якого розглядається насичення, років.

Але для довгострокового прогнозування ця модель не може бути використана у зв'язку з тим, що вірогідність її результатів мала. Вона може бути використана при складанні прогнозів у середньому на 6 років.

ЛЕКЦІЯ 3 МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕВОЛЮЦІЇ СИСТЕМИ

Методи прогнозування інтенсивності руху включають такі групи:

- засновані на використанні даних щодо зміни інтенсивності руху протягом минулих років (методи екстраполяції);
- засновані на аналізі транспортних зв'язків у розглядуваному районі;
- засновані на багатофакторному аналізі господарської діяльності;
- експертних оцінок.

Методи екстраполяції використовують такі моделі динаміки інтенсивності руху: лінійний закон зростання інтенсивності; рівняння складних відсотків; експоненціальні й степеневі рівняння; логістичні криві.

Лінійна модель базується на застосуванні рівняння

$$N_t = N_0 \cdot (1 - \frac{p}{100} \cdot t), \quad (3.1)$$

де N_0 – інтенсивність руху у вихідному році, авт./рік;

N_t – інтенсивність руху в розрахунковому році, авт./рік;

p – середні темпи зростання інтенсивності за останні 10–15 років, %;

t – розрахунковий період.

Максимальний припустимий строк прогнозування за допомогою лінійної моделі не перевищує 5-ти років. Сферою застосування є організація руху на дорогах нижчих категорій.

Модель, що використовує рівняння складних відсотків, заснована на застосуванні формули

$$N_t = N_0 \left(1 + \frac{P}{100} \right)^{t-1}. \quad (3.2)$$

Ця модель також використовується для вирішення проектних завдань організації дорожнього руху на дорогах нижчих категорій. Період прогнозування при цьому досягає 7 років. У випадку вирішення завдань капітального ремонту й реконструкції доріг цей період може досягати 10 років.

Модифікацією зазначеного вище методу є метод ДерждорНДІ, у якому застосовується така залежність:

$$N_t = N_0 \prod_1^{t-1} \left(1 + \frac{\Delta N_t}{100} \right), \quad (3.3)$$

де ΔN_t – темпи відносного приросту, описаного формулою

$$\Delta N_t = b_0 + \frac{b_1}{\sqrt[3]{t-1}}, \quad (3.4)$$

де b_0 й b_1 – емпіричні коефіцієнти, обумовлені залежністю від первісного темпу відносного приросту.

Метод ДерждорНДІ використовується для середньострокових прогнозів при вирішенні завдань організації руху, капітального ремонту й реконструкції доріг всіх категорій на період 10–15 років.

Експоненціальні й степеневі моделі засновані на застосуванні таких рівнянь:

$$N_t = N_0 \cdot e^{\frac{P}{100} \cdot t}, \quad (3.5)$$

$$N_t = N_0 \cdot \left(\frac{P}{100} \right)^t, \quad (3.6)$$

$$N_t = N_0 \cdot t^\alpha, \quad (3.7)$$

$$N_t = (at^3 + a_1t^2 + a_2t + a_0)^{1/t_{прог}}, \quad (3.8)$$

де α – показник ступеня;

a_0, a, a_1, a_2 – емпіричні коефіцієнти.

Експоненціальні й степеневі моделі використовуються для короткострокових прогнозів для організації руху строком на 5 років.

Моделі прогнозування інтенсивності руху, які використовують логістичну криву, базуються на припущенні, що динаміка інтенсивності руху описується диференціальним рівнянням такого виду:

$$\frac{dN_{пyx}}{dt} = c \cdot N_{пyx} (P_{з\partial} - N_{пyx}), \quad (3.9)$$

де $N_{пyx}$ – інтенсивність руху, авт./год;

$P_{з\partial}$ – пропускна здатність дороги, авт./год;

Розв’язок цього рівняння має такий вигляд:

$$N = \frac{P_{з\partial}}{1 + b_2 \cdot e^{k \cdot c \cdot t}}. \quad (3.10)$$

Рівняння (1.21) становить S-подібну логістичну криву з асимптотами $N = 0$ при $t \rightarrow -\infty$ й $N = P_{з\partial}$ при $t \rightarrow +\infty$.

Рівняння (1.21) може набути такого вигляду :

$$N_t = \frac{P_{з\partial} \cdot N_0}{N_0 + (P_{з\partial} - N_0) e^{-P_{з\partial} \cdot m \cdot t / (P_{з\partial} - N_0)}}, \quad (3.11)$$

$$m = c(P_{з\partial} - N_0). \quad (3.12)$$

ЛЕКЦІЯ 4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

Аналіз рівняння (3.11) показує, що існує критичний момент часу t_k , коли темп зростання інтенсивності руху починає зменшуватися:

$$t_k = \ln \frac{1}{N_0} \left(\frac{P_{зд} - N_0}{P_{зд} \cdot m} \right). \quad (4.1)$$

Логістична крива застосовується переважно для довгострокових прогнозів при вирішенні завдань реконструкції та проектування доріг. Логістичну криву зазвичай використовують для прогнозування загальних показників розвитку автомобільного транспорту, наприклад, кількості автомобілів на душу населення як в окремих районах, так й у середньому по країні. Період попередження – 15–25 років.

Методи, засновані на аналізі транспортних зв'язків у розглянутому районі, базуються на обліку вантажних і пасажирських перевезень, які передбачається здійснювати дорогами, що планують прокласти. Розрахунковий обсяг перевезень на піковий місяць визначається для кожного вантажоутворювального пункту, що обслуговується цією дорогою або її ділянкою. До того ж обсяг перевезень для окремих ділянок дороги визначають за допомогою послідовного сумування обсягів вантажних і пасажирських перевезень, що надходять із попередніх ділянок дороги.

Перспективний обсяг перевезень вантажів $Q_i^{вант}$ обчислюють за формулою

$$Q_i^{вант} = \rho_{вант} \cdot k_n^{вант} \cdot k_{невр}^{вант} \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^{вант} \cdot k_i^{вант}, \quad (4.2)$$

де $Q_i^{вант}$ – середньомісячний обсяг перевезень вантажів i -того типу, т;

$\rho_{вант}$ – коефіцієнт збільшення обсягу вантажних перевезень на перспективу;

$k_n^{вант}$ – коефіцієнт, що враховує багаторічну нерівномірність перевезень;

$k_{невр}^{вант}$ – коефіцієнт неврахованих перевезень;

$k_i^{вант}$ – коефіцієнт повторності перевезень вантажів i -того типу.

Обсяги перевезень $Q_i^{вант}$ визначають відповідно до звітних даних господарств за останні 5–8 років або розраховують на підставі усереднених нормативів.

Значення коефіцієнта збільшення обсягу вантажних перевезень на перспективу $\rho_{вант}$ визначається за формулою

$$\rho_{вант} = \left(1 + \frac{\Delta q_{вант}}{100} \right)^{t_{прог}}, \quad (4.3)$$

де $\Delta q_{вант}$ – щорічний приріст обсягу перевезень вантажів, %.

На підставі даних про перспективний обсяг перевезень вантажів розраховується перспективна інтенсивність руху за формулою

$$N_t = \frac{Q_t^{вант} \cdot k_{доод}}{t_{дн} \cdot \gamma \cdot \beta_a \cdot \bar{q}_a}, \quad (4.4)$$

де $t_{дн}$ – кількість днів протягом розрахункового періоду перевезень, днів ($t_{дн} = 22$ дні);

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобілів ($\gamma = 0,8 - 0,9$);

β_a – коефіцієнт використання пробігу автомобілів ($\beta_a = 0,5 - 0,6$);

\bar{q}_a – середня вантажопідйомність автомобілів, т;

$k_{доод}$ – поправочний коефіцієнт для обліку дрібнопартійних і пасажирських перевезень ($k_{доод} = 1,1 - 1,2$).

Методи, засновані на аналізі вантажних і пасажирських перевезень у районі прокладання проекрованої дороги, використовуються для довгострокового прогнозування на період до 20-ти років.

Методи, засновані на багатофакторному аналізі господарської діяльності, базуються на кореляційному й регресійному аналізах. Для прогнозування

інтенсивності руху використовують рівняння множинної регресії у такому вигляді:

$$N_t = A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + \dots + A_nx_n + B, \quad (4.5)$$

де $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – коефіцієнти регресії;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – фактори руху, що впливають на інтенсивність.

До чинників включають обсяг валової продукції сільськогосподарського виробництва; обсяг валової продукції промислового виробництва; чисельність населення; кількість автомобілів; щільність мережі автомобільних доріг із твердим покриттям; обсяг будівельно-монтажних робіт.

Основним недоліком багатofакторних моделей є неможливість використання отриманих залежностей у різних районах країни. Ці залежності доцільні тільки для районів, де були зібрані дані про їхній економічний розвиток.

ЛЕКЦІЯ 5 ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ

Метод експертних оцінок застосовується, як доповнення до інших методів довгострокового прогнозування, строком на 25 років. Методики експертних оцінок, що застосовуються в прогнозуванні, розподіляють на індивідуальні й колективні.

Індивідуальні експертні методики засновані на використанні думок експертів-фахівців відповідного профілю незалежно один від одного. У структурі цих методик виокремлюють дві групи – інтерв'ю й аналітичні експертні оцінки.

Методика інтерв'ю передбачає бесіду прогнозіста з експертом, під час якої прогнозіст, відповідно до заздалегідь розробленої програми, ставить перед експертом питання щодо перспективної інтенсивності руху. Успіх такої оцінки

значною мірою залежить від здатності експерта експромтом робити висновки щодо різноманітних питань.

Аналітичні експертні оцінки передбачають тривалу самостійну роботу експерта над аналізом тенденцій, оцінкою станів і шляхів розвитку прогнозованого об'єкта. Свої міркування експерт оформлює у вигляді доповідної записки.

Методики колективних експертних оцінок ґрунтуються на принципах виявлення колективної думки експертів про перспективи розвитку об'єкта прогнозування. Експертні оцінки отримують у результаті роботи спеціальних комісій, коли групи експертів за «круглим столом» обговорюють ту або іншу проблему з метою узгодження думок і пошуку одностайного рішення. Недоліком «круглого столу» є той факт, що група експертів у своїх судженнях здебільшого керується логікою компромісу.

На відміну від методики «круглого столу», у методиці Делфі замість колективного обговорення тієї або іншої проблеми проводиться індивідуальне опитування експертів, як правило, у формі анкет, для з'ясування відносної важливості й строків здійснення гіпотетичних подій. Потім проводиться статистична обробка анкет і формується колективна думка групи. Учасників експертизи просять переглянути оцінки й пояснити причини своєї незгоди з колективним судженням. Ця процедура повторюється 3-4 рази, унаслідок чого відбувається звуження діапазону оцінок.

Оптимальна кількість експертів встановлюється шляхом визначення максимальної й мінімальної меж чисельності групи.

Максимальна кількість учасників експертної групи встановлюється на підставі нерівності

$$N_{\max}^{\text{експертів}} \leq \frac{3 \cdot \sum_{i=1}^N k_i^{\text{комп}}}{2 \cdot k_{\max}^{\text{комп}}}, \quad (5.1)$$

де $k_i^{\text{комп}}$ – компетентність i -того експерта;

$k_{\max}^{\text{комн}}$ – максимально можлива компетентність за шкалою компетентності;

N – кількість експертів.

Компетентність експерта оцінюється за формулою

$$k_i^{\text{комн}} = 0,5 \left(\frac{\sum_{j=3}^m \gamma_j}{\sum_{j=1}^m \gamma_{j_{\max}}} + \frac{\upsilon}{\varpi} \right), \quad (5.2)$$

де γ_j – вага градації, перекресленої експертом за j -ою характеристикою в анкеті у балах;

$\gamma_{j_{\max}}$ – максимальна вага (межа шкали) j -ої характеристики в балах;

υ – вага оцінки, перекресленої експертом у шкалі самооцінки в балах;

ϖ – межа шкали самооцінки експерта в балах.

Мінімальна чисельність експертної групи визначається за формулою

$$N_{\min}^{\text{експертів}} = 0,5 \left(\frac{3}{g} + 5 \right), \quad (5.3)$$

де g – задана величина зміни середньої похибки при включенні або виключенні експерта.

Остаточно чисельність експертної групи формується на підставі послідовного виключення некомпетентних експертів. При цьому використовується умова $(k_{\max}^{\text{комн}} - k_i^{\text{комн}}) \leq \eta$, де η – величина, що задає межі припустимого відхилення компетентності i -того експерта від максимальної. Одночасно можуть включатися в групу нові експерти. Чисельність групи встановлюється в межах $N_{\min}^{\text{експертів}} \leq N \leq N_{\max}^{\text{експертів}}$.

При обробці результатів експертних оцінок обчислюється коефіцієнт конкордації, що показує ступінь однотайності думок експертів за важливістю кожного оцінюваного напрямку, і коефіцієнти парної рангової кореляції, які визначають ступінь погодженості експертів один з одним.

Для цього проводиться ранжування оцінок важливості даних експертами.

Коефіцієнт конкордації розраховується за формулою

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^m d_j^2}{n^2(m^3 - m) - n \sum_{i=1}^n T_i}, \quad (5.4)$$

$$\text{де } T_i = \sum_{i=1}^n t_i^3 - t_i; \quad d_j = S_j - \bar{S}; \quad S_j = \sum_{i=1}^n R_{ij}; \quad \bar{S} = \sum_{j=1}^m S_j / m;$$

R_{ij} – ранги оцінки, наданої i -им експертом j -му напрямку;

m – кількість досліджуваних напрямів (кількість оцінюваних факторів);

n – кількість експертів;

t_i – j -е число однакових рангів у i -ому ранжуванні.

Коефіцієнт конкордації змінюється в межах від 0 до 1. При значенні $W = 1$ означає одностайність думок експертів, при $W = 0$ – цілковиту незгоду.

Коефіцієнт парної рангової кореляції між оцінками двох будь-яких експертів визначається за формулою

$$\rho_{\alpha\beta} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n \phi_j^2}{\frac{1}{6}(n^3 - n) - \frac{1}{12}(T_\alpha + T_\beta)}, \quad (5.5)$$

де $\rho_{\alpha\beta}$ – коефіцієнт рангової кореляції;

ϕ_j – різниця рангів (за модулем) оцінок j -го напрямку досліджень, призначених експертами α й β ;

n – кількість оцінюваних напрямів (факторів) у ряді;

T_α і T_β – показники зв'язаних рангових оцінок експертів α й β .

Коефіцієнт парної рангової кореляції може змінюватися від -1 до +1. Значення $\rho_{\alpha\beta} = +1$ свідчить про те, що обидва експерти дійшли обопільної згоди, а значення $\rho_{\alpha\beta} = -1$ показує, що думка одного експерта суперечить думці іншого.

Розглянуті методи прогнозування інтенсивності руху можуть застосовуватися для розробки прогнозу зростання інтенсивності руху

автомобілів різних типів, а отже, для прогнозування складу транспортних потоків.

Вимоги до точності прогнозу інтенсивності руху визначаються цілями прогнозування. Оцінки інтенсивності руху можуть бути такими: при виборі категорії доріг – до 30 %; при визначенні кількості смуг руху – до 30 %; при конструюванні дорожнього одягу – 15–27 %; при виборі методів і засобів регулювання дорожнього руху – до 20 %. Для забезпечення розглянутої точності прогнозів необхідно мати дані обліку фактичної інтенсивності руху за 10–15 років.

Аналіз існуючих методів прогнозування показує, що період для складання вірогідних кількісних оцінок інтенсивності руху не перевищує 15 років. Кількісні методи довгострокового прогнозування інтенсивності руху (із попередженням на 20–30 років) відсутні. Пропозиція використовувати з цією метою логістичну криву виявляється неприйнятною у випадку відсутності прогнозу строків якісного перетворення транспортної системи в цілому.

ЛЕКЦІЯ 6 ДОВГОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ

Основним інструментом більшості методів прогнозування швидкостей руху є схема екстраполяції, що включає вивчення тимчасових рядів, складених з упорядкованих у часі наборів вимірів фактичних швидкостей.

Як модель тренду, використовують лінійну, степеневу, показникову, експоненціальну й логістичну функції. Іноді використовують квадратичну функцію й кубічні сплайни. Вибір функції в кожному конкретному випадку здійснюється за низкою критеріїв, наприклад, за дисперсією, кореляційним співвідношенням тощо. Оцінка постійних коефіцієнтів моделі тренду здійснюється за методом найменших квадратів.

Прикладом таких моделей може бути модель Бареля, який аналізував швидкості переможців у перегонах «Індіанаполіс 500». Для опису зв'язку швидкості Барель згодом використав напівлогарифмічну функцію.

Аналогічною є модель В. Фельнера, що обрав для опису того самого зв'язку логарифмічну модель. До екстраполяційних належить і модель Д. Пуар'є, що запропонував для опису тих самих процесів використовувати кубічні сплайни. У цій моделі тренд представлений у такому вигляді:

$$V_t = \begin{cases} 74,09 + 1,994t - 0,05058t^2 + 0,001204t^3, & \text{при } 1 \leq t \leq 7,5 \\ 74,41 + 1,867t - 0,03356t^2 + 0,0004480t^3, & \text{при } 7,5 \leq t \leq 33,5 \\ 86,03 + 0,8260t - 0,002501t^2 + 0,0001389t^3, & \text{при } 33,5 \leq t \leq 61, \end{cases} \quad (6.1)$$

де t – номер року, в якому відбувалися перегони, дорівнює календарному року мінус 1910 рік.

Варто зауважити, що екстраполяція, загалом, придатна для процесів, що мають високий ступінь інерційності. Змінювання швидкостей руху не є таким процесом, і тому використання екстраполяції призводить до значніших похибок у практиці довгострокового прогнозування.

Пошук факторів, що впливають на змінювання швидкостей руху в часі, дозволив встановити, що найважливішим серед них є інтенсивність руху, тому перші математичні моделі, що описують зв'язок швидкості з інтенсивністю руху, представлені у вигляді однофакторних регресій:

$$V_{сер} = k_{дор} \cdot V_{св} - k_{пр.ч.} \cdot k_{тр.н.} \cdot N_{рух}, \quad (6.2)$$

$$V_{сер} = k_c \cdot V_p - 3\sigma_v - \chi_{вант} \cdot k_{инт} \cdot N_{рух}, \quad (6.3)$$

де $V_{сер}$ – середня швидкість руху транспортного потоку, км/год;

$V_{св}$ – швидкість вільного руху в еталонних умовах, км/год;

V_p – розрахункова швидкість руху, км/год;

$k_{дор}$ – коефіцієнт впливу елементів дороги;

$k_{тр.н.}$ – коефіцієнт впливу складу транспортного потоку;

$k_{пр.ч.}$ – коефіцієнт впливу розмітки проїзної частини дороги, кривих у плані й поздовжніх ухилів;

σ_v – середнє квадратичне відхилення швидкості руху;

$\chi_{вант}$ – частка вантажних автомобілів у транспортному потоці;

$k_{инт}$ – коефіцієнт впливу інтенсивності руху;

k_c – коефіцієнт впливу погодно-кліматичних умов.

Аналогічною є модель визначення суспільно необхідної швидкості руху:

$$V_{он} = 5N_{пyx}^{0,294}, \quad (6.4)$$

де $V_{он}$ – суспільно необхідна швидкість руху, км/год.

Застосування формул (6.2) – (6.4) для прогнозування швидкостей руху передбачає визначення прогнозних оцінок інтенсивності руху для того, щоб знайти майбутні значення швидкості руху.

Формули (6.2) – (6.4) описують «жорсткі», раз і назавжди задані структури. До того ж характер розглянутих функціональних залежностей може бути складнішим, тому при прогнозуванні доцільно використовувати так звані функції із гнучкою структурою (далі – ФГС), форма якої може змінюватися й автоматично пристосовуватися до досліджуваного процесу. Функція із гнучкою структурою вказує не тільки на залежність одного фактора від іншого, але й на власну тенденцію розвитку кожного фактора. Прогнозування швидкостей руху за методами екстраполяції тенденцій і за методом однофакторної регресії має характерні недоліки. Зокрема, при прогнозуванні методом екстраполяції тенденцій відсутній облік причинності, а при однофакторній регресії – недооблік власних тенденцій розвитку фактора-функції і фактора-аргументу, тому іноді ці два методи поєднують і використовують так звані факторно-часові функції. У них, як фактор функції, використовується швидкість руху і, як аргументи, – час та інтенсивність руху або обсяг перевезень:

$$V_{пyx} = a_0 + a_1 \cdot N_{пyx} + a_2 \cdot t, \quad (6.5)$$

де a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти моделі, які визначаються за методом найменших квадратів.

Необхідність обліку впливу на швидкість руху різноманітних факторів (у тому числі й погодно-кліматичних) привів до розробки багатофакторних регресійних моделей:

– модель А. В. Каца, Д. І. Раснянського:

$$V_{сер} = \log K_{деф} + 3,16 \cdot B_{н.ч.} - 0,21 \cdot i_n - 0,023 \cdot N_{рух} - 0,13 \cdot \chi_{лег} - 71, \quad (6.6)$$

де $K_{деф}$ – кількість деформацій дорожнього покриття, %;

i_n – поздовжній ухил, %;

$\chi_{лег}$ – частка легкових автомобілів у транспортному потоці;

$B_{н.ч.}$ – ширина проїзної частини дороги, м;

– модель В. М. Сегеркранца:

$$V_{сер i} = b_0 + \sum_{i=1}^9 b_i \cdot \psi_i, \quad (6.7)$$

де $V_{сер i}$ – середня швидкість руху i -го автомобіля, км/год;

b_0, b_i – коефіцієнти регресії;

ψ_i – фактори;

ψ_1 – інтенсивність руху, авт./год;

ψ_2 – частка легкових автомобілів у транспортному потоці, %;

ψ_3 – індекс погодно-кліматичних умов;

ψ_4 – частка автомобілів, що їдуть у колоні, %;

ψ_5 – сумарна кривизна дороги;

ψ_6 – частка ділянок дороги з видимістю зустрічного автомобіля менш ніж 400 м, %;

ψ_7 – мінімальна видимість поверхні проїзної частини, м;

ψ_8 – частка довжини траси, що проходить через населені пункти, %;

ψ_9 – кількість перехресть.

Аналогічні моделі запропоновані В. У. Ренкіним і П. Клафі (США):

– для двосмугових доріг, розташованих у сільській місцевості:

$$V_{сер}^M = 39,34 - 0,0267 \cdot \partial_1 - 0,1396 \cdot \partial_2 - 0,8125 \cdot \partial_3 - 0,1126 \cdot \partial_4 - 0,0007 \cdot \partial_5 + 0,6444 \cdot \partial_6 - 0,5451 \cdot \partial_7 - 0,0082 \cdot \partial_8, \quad (6.8)$$

де $V_{сер}^M$ – середня миттєва швидкість, км/год;

∂_1 – кількість несправних легкових автомобілів, %;

∂_2 – комбінації вантажних автомобілів з одним і більше причепами, %;

∂_3 – ступінь кривизни дороги, градусів;

∂_4 – величина поздовжнього ухилу, %;

∂_5 – мінімальна відстань видимості, м;

∂_6 – ширина смуги, м;

∂_7 – споруди уздовж дороги (кількість на милю по обидві сторони дороги);

∂_8 – інтенсивність руху, авт./год;

– для чотирисмугових доріг, розташованих у сільській місцевості:

$$V_{сер}^M = 20,51 - 0,1147 \cdot \partial_1 - 0,0005 \cdot \partial_5 - 0,4333 \cdot \partial_9 - 0,4072 \cdot \partial_{10}, \quad (6.9)$$

де ∂_9 – установлена межа швидкості, км/год;

∂_{10} – кількість пришляхових споруд на кілометр уздовж дороги по обидві сторони.

Застосування багатофакторних моделей підвищило надійність короткострокових і середньострокових прогнозів швидкостей руху. Найменш вірогідним у цьому випадку виявляється довгостроковий прогноз. Це пов'язано з тим, що в цих моделях передбачається рівноцінність вихідної інформації, тобто початкових значень факторів. На практиці перебіг процесу значною мірою визначається пізніми спостереженнями. Усвідомлення цієї обставини спричинило так зване дисконтування при визначенні коефіцієнтів моделі. Під терміном «дисконтування» розуміють зменшення цінності тієї інформації, що надійшла раніше.

У разі визначення коефіцієнтів моделі за методом найменших квадратів дисконтування здійснюється шляхом уведення деяких вагових коефіцієнтів $\beta_i < 1$ у модель тренду.

Вагові коефіцієнти β_i задаються заздалегідь у числовій формі або у вигляді функціональної залежності. Ця залежність обирається дослідником довільно. Зазвичай передбачається, що ваги β_i спадають відповідно до «віку» спостережень. Зважування спостережень дозволяє корегувати коефіцієнти моделі у процесі надходження нових даних. При цьому дані спостереження поступово «забуваються», тому що їхній внесок у корекцію пропорційний до їхньої ваги, яка зменшується з часом. У випадку, коли ваги спостережень спадають по експоненті, то одержання оцінок тренду називають експонентним згладжуванням.

Іншим способом обліку зміни коефіцієнтів багатofакторної моделі є побудова динамічних моделей вигляду

$$V_t = f[a_0(t), a_1(t), \dots, x_1(t), x_2(t)\dots]. \quad (6.10)$$

Передбачається, що вплив основних факторів на досліджуваний показник не залишається постійним у часі. Для визначення параметрів моделі будується рівняння регресії на момент часу $t=1$ (перший рік аналізованого періоду). Потім будуються аналогічні моделі для другого, третього року і т. д. ($t=2, t=3, \dots, t=m$), де m – кількість років у періоді, за який аналізується часовий ряд. У результаті отримуємо таку систему з m рівнянь:

$$V_1 = f_1(a_0^1, a_1^1, a_2^1, \dots, a_n^1; x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1), \quad (6.11)$$

$$V_2 = f_2(a_0^2, a_1^2, a_2^2, \dots, a_n^2; x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2), \quad (6.12)$$

$$V_m = f_m(a_0^m, a_1^m, \dots, a_n^m; x_1^m, x_2^m, \dots, x_n^m), \quad (6.13)$$

$$V_t = f_t(a_0^t, a_1^t, \dots, a_n^t; x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t). \quad (6.14)$$

Для кожного вхідного основного фактора x_i існує m коефіцієнтів регресії a_i^t , які надалі виражаються у вигляді деякої функції від часу $a_i^t = F(t)$.

Основні переваги методики полягають у розширенні меж і вдосконалюванні глибини аналізу головної тенденції. Однак коефіцієнти регресії у вигляді функцій часу не мають стосунку до змісту тих причин, які призводять до цих змін. Іншим недоліком пропонованої методики є те, що за її допомогою неможливо оцінити випадкові й імовірнісні компоненти досліджуваного процесу.

Способи врахування впливу різних факторів середовища на швидкість руху автомобіля підвищують точність прогнозування швидкостей руху на етапі проектування доріг. Проте й у цьому випадку не беруть до уваги той чинник, що за період будівництва дороги й усього строку її служби може змінитися склад руху, характеристики дороги й психологічні характеристики людини. У результаті прогноз швидкостей руху здійснюється для даних автомобілів, даної дороги й даної людини без їхньої еволюції. Це можливо при розробці короткострокових і середньострокових прогнозів, але призводить до істотних похибок при вирішенні завдань довгострокового прогнозування. Отже, проблема довгострокового прогнозування швидкостей руху дотепер залишається актуальною.

ЛЕКЦІЯ 7 ДОВГОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ВАГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Перші прогнози розрахункових навантажень були експертними. На початку 30-х років ХХ сторіччя А. І. Анохін, на підставі аналітичного аналізу передбачив збільшення навантаження на дорожні покриття найближчим часом приблизно в 10–15 разів. Даючи таку оцінку, автор обґрунтовував свої висновки аналізом популярного на той час виду візків із навантаженням на вісь 500 кг і міської платформи з навантаженням на вісь 800–900 кг. Однак такий

прогноз виявився заниженим, оскільки вже під час складання прогнозу почали випускатися автобуси й вантажні автомобілі з навантаженням на вісь 11 т.

Варто зазначити, що прогнози навантажень на дорожні покриття до 40-х років ХХ століття не мали практичного значення, оскільки розрахунок дорожніх покриттів на міцність не проводився. Дотримуючись ідей Мак-Адама, вважали, що функцією дорожнього покриття є, насамперед, запобігання розмоканню ґрунту. Мак-Адам помилково вважав, що товщина дорожнього покриття не має істотного значення для міцності.

Подальше прогнозування розрахункових навантажень пов'язане з використанням методу прогнозних сценаріїв. Написання сценаріїв – це метод, за допомогою якого встановлюється логічна послідовність подій із метою показати, як, виходячи з існуючої ситуації, може крок за кроком формуватися майбутній стан об'єкта дослідження. Опис зазвичай відбувається в явно виражених тимчасових координатах.

Такий прогноз був розроблений в 1975 році Стенфордським інститутом на замовлення Міністерства транспорту США. Проводилося дослідження на тему «Транспорт в Америці майбутнього: перспективи на наступне п'ятдесятиліття». За результатами дослідження зроблений прогноз на 2000–2025 роки (на 25 і 50 років). У процесі прогнозування було написано 4 різні сценарії розвитку американського суспільства, які одержали такі назви:

- 1) «успіх» – оптимальний варіант;
- 2) «поганий клімат» – несприятливі умови розвитку;
- 3) «дисципліноване суспільство» – жорстке регулювання розвитку;
- 4) «трансформація» – варіант зі зміною потреб і критеріїв оцінки цілей.

За сценарієм «успіх» було передбачено, що в 2000-му році розрахункове навантаження на задню вісь вантажного автомобіля складе 9,6 т, навантаження на здвоєну вісь – 16,4 т і повна вага транспортного засобу – 40 т. Зіставлення прогнозу із сучасними нормативами (ДБН В.2.3-4-2000) показало, що прогноз

навантажень на вісь явно занижений, а прогноз повної ваги транспортного засобу збігається з чинними нормативами .

Розглянуті прогнози є унікальними в практиці прогнозування розрахункових навантажень, оскільки тільки в 40-х роках ХХ сторіччя були створені методи розрахунку дорожнього покриття на міцність. Якщо й висловлювали які-небудь міркування із приводу розрахункових навантажень, то тільки у зв'язку із завантаженням мостів і штучних споруд на дорогах або розвитком спеціалізації вантажного парку країни. У 1970-ті рр. була виконана робота щодо визначення передбачуваного насичення транспортного парку спеціалізованим рухомими складом. У процесі досліджень використовувалися екстраполяція тимчасових рядів і метод прямого розрахунку.

При проектуванні автомобільних доріг застосовували кореляційні залежності між розрахунковою швидкістю, або розрахунковим навантаженням, та інтенсивністю руху. Облік змінювання параметрів і характеристик у часі здійснюється в два етапи:

- на першому етапі прогнозується інтенсивність руху;
- на другому етапі до цього прогнозу прив'язується характеристика, що відображає зростання розрахункових навантажень.

Теоретичні й експериментальні дослідження дозволяють отримати залежності, що характеризують процес зміни міцності дорожнього покриття залежно від змінювання інтенсивності руху. Для зміни загального модуля пружності дорожнього одягу $E_{загт}$ залежність виглядає так:

$$E_{загт} = A + B \cdot (\lg a_t \cdot N_{доб} - 1), \quad (7.1)$$

де A, B – параметри, що залежать від типу дорожнього покриття та розрахункового навантаження, МПа;

a_t – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує вплив часу на $E_{загт}$;

$N_{доб}$ – добова інтенсивність руху, приведена до розрахункового навантаження, на яку розраховане це дорожнє покриття, авт./добу.

Модуль пружності E_{np} визначають залежно від сумарного за термін служби дорожнього покриття згідно з формулою

$$E_{np} = 98,65 \cdot K_c \cdot (\lg N_{доб.сум} - 3,5537), \quad (7.2)$$

де K_c – коефіцієнт стану дорожнього покриття за міцністю, приймається залежно від категорії дороги, рельєфу місцевості та виду робіт;

$N_{доб.сум}$ – добова сумарна інтенсивність руху, приведена до розрахункового навантаження, на яку розрахований це дорожнє покриття, авт./добу.

Визначається за формулою

$$N_{доб.сум} = f_{смуг} \cdot t_{деф} \cdot \frac{\lambda^{T_{дор}} - 1}{\lambda - 1} \cdot \sum_{i=1}^w k_{наві} \cdot N_{1i}, \quad (7.3)$$

де $f_{смуг}$ – питома частка автомобілів, які проходять певною смугою руху, що призначається залежно від кількості смуг руху на проїзній частині дороги;

$t_{деф}$ – кількість днів у році, коли в дорожній конструкції відбувається накопичення залишкових деформацій;

λ – знаменник геометричної прогресії, що описує змінювання інтенсивності руху від одного року до іншого;

$T_{дор}$ – термін експлуатації дорожнього покриття в роках;

$k_{наві}$ – коефіцієнт, що залежить від навантажень.

$$k_{наві} = \left(\frac{H_i}{H} \right)^{4,4}, \quad (7.4)$$

де H_i – навантаження на вісь транспортного засобу i -го типу, кН;

H – розрахункове навантаження на вісь, кН;

w – загальна кількість типів транспортних засобів за величиною осьового навантаження;

N_{1i} – інтенсивність руху транспортних засобів i -го типу протягом першого року експлуатації дорожнього покриття, авт./год.

ЛЕКЦІЯ 8 ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ

Визначальним показником роботи будь-якого виду пасажирського транспорту є обсяг перевезень. На всіх стадіях перевізного процесу (планування, організація та управління) відбувається процедура визначення потенційного (можливого) обсягу перевезень, а саме прогнозування – на короткострокову, середньострокову та довгострокову перспективу.

Законодавчо визначено, що проектування системи пасажирського транспорту відбувається на основі прогнозу пасажиропотоків на різні строки. Також визначено, що завдання організації пасажирського транспорту для міст з населенням 250 тис. осіб і більше потрібно вирішувати на основі комплексних схем розвитку всіх видів міського пасажирського транспорту .

Для розробки комплексних схем видів міського пасажирського транспорту необхідно брати до уваги прогнози розвитку міста (тобто з урахуванням проробок генплану), де головним завданням є визначення очікуваного обсягу перевезень (річних, середньодобових) і розподіл його між різними видами транспорту. У свою чергу, генеральний план населеного пункту розробляється на довгостроковий період – 15–20 років, де визначено, з-поміж інших заходів, розвиток транспорту, а саме: вдосконалення та підвищення ефективності використання сформованої транспортної інфраструктури. Також для різних видів міського пасажирського транспорту розробляються програми розвитку на державному та місцевому рівнях, зокрема електричного, де визначальною є розробка або уточнення комплексних схем розвитку міського пасажирського транспорту і схем організації руху з метою збільшення обсягу перевезень. Ці програми розробляються на середньострокову перспективу .

Таким чином, перед розробниками та виконавцями програм розвитку видів пасажирського транспорту постало питання вибору методу прогнозування обсягів перевезень, адже від точності прогнозу залежить майбутній розвиток виду пасажирського транспорту. Для цього необхідно визначити, які методи на сьогодні існують, які використовуються та на які строки вони прогнозують.

На перспективні обсяги перевезень впливають дві групи змінних:

- 1) ті, що впливають на потенційне зростання обсягів перевезень;
- 2) ті, що обмежують потенційне зростання обсягів перевезень.

До першої групи належать такі змінні:

- чисельність населення міста;
- щільність забудови міста;
- ступінь автомобілізації;
- соціальний склад;
- рівень добробуту населення;

До другої групи входять такі змінні:

- витрати часу на пересування;
- дальність пересування;
- вартість поїздок;
- ступінь мобільності.

У свою чергу, противагою цим змінним є транспортна ситуація, а саме:

- транспортна забезпеченість міста;
- щільність транспортної мережі;
- інтенсивність руху транспортних засобів;
- маршрутна система;
- види пропонованого транспорту.

Було розроблено схему розрахунку прогнозованого обсягу перевезень (рис. 8.1), де визначено основні етапи та показники, що впливають на перспективний обсяг перевезень.



Рисунок 8.1 – Принципова схема розрахунку прогнозованого обсягу пасажирських перевезень

На цій схемі видно, що розрахунок очікуваних обсягів перевезень є складовою загального проекту організації транспортного обслуговування та принципово невідокремлюваний від нього.

Основою для визначення обсягів пасажирських перевезень у заданих планувальних і транспортних умовах є імітаційні моделі, де головним є розрахунок кореспонденцій між транспортними районами.

У загальному вигляді кореспонденції визначають за залежністю

$$h_{ij} = k_{\sigma} \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot f_{Tij}, \quad (8.1)$$

де h_{ij} – кореспонденція між транспортними районами i та j , пас./год;

k_{σ} – балансовий коефіцієнт;

HO_i – обсяг відправлення з i -го району, пас./год;

HP_j – обсяг прибуття в j -ий район, пас./год;

f_{Tij} – функція тяжіння між i -м та j -м районами.

Модель визначення кореспонденцій у математичному вигляді реалізується так:

$$h_{ij} = \frac{HO_i \cdot HP_j \cdot k_j \cdot d_{ij}}{\sum_{j=1}^n (HP_j \cdot k_j \cdot d_{ij})}, \quad (8.2)$$

де k_j – вирівнювальний коефіцієнт тяжіння поїздок із району i в j ;

d_{ij} – функція тяжіння між районами i та j .

Функція тяжіння характеризує умови та тривалість поїздки. Найбільш адекватною моделлю функції тяжіння є нормально-ймовірнісна, яка визначається так:

$$d_{ij} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-t_{ij}^2/(2\sigma^2)}, \quad (8.3)$$

де t_{ij} – витрати часу на пересування до розглянутого центру тяжіння j , год;

σ – параметр закону розподілу, визначений у функції прийнятої граничної важкості сполучення.

Але такий підхід врахує лише витрати часу на пересування. Інші дослідники пропонують врахувати функцію привабливості, яка визначається інтенсивністю руху маршрутних транспортних засобів, кількістю пересадок, рівнем заповнення салону та вартістю проїзду.

У результаті було отримано функцію привабливості, що враховувала час пересування транспортного засобу на ділянці маршруту, рівень наявності вільного місця в салоні транспортного засобу і тариф:

$$f_n = \left(\frac{t_{cp}}{t_m} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{q_m}{q_{cp}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cp}}{T_m} \right)^{1,69}, \quad (8.4)$$

де f_n – функція привабливості;

t_m – час поїздки ділянкою маршруту, год;

t_{cp} – середня тривалість перебування транспортного засобу на ділянці маршруту, год;

q_m – рівень наявності вільного місця в салоні транспортного засобу на маршруті, пас./м²;

q_{cp} – середній рівень наявності вільного місця в салоні транспортного засобу на маршрутах, що проходять спільною ділянкою, пас./м²;

T_m – тариф на маршруті, грн;

T_{cp} – тариф на маршрутах, що проходять спільною ділянкою, грн.

Таким чином, можна отримати інші моделі, які будуть враховувати окремі фактори системи пасажирського транспорту. Однією з таких є модель розподілу кореспонденцій між автобусами, які працюють у звичайному та експресному режимах, що загалом виглядає так:

$$h_{ij}^{(z)} = \frac{h_{ij} \cdot a \cdot A_e}{100}, \quad (8.5)$$

$$h_{ij}^{(e)} = \frac{h_{ij} \cdot b \cdot A_e}{100}, \quad (8.6)$$

де $h_{ij}^{(z)}$ – кореспонденції пасажирів, які користуються автобусами, що працюють у звичайному режимі, %;

$h_{ij}^{(e)}$ – кореспонденції пасажирів, які користуються автобусами, що працюють в експресному режимі, %;

h_{ij} – кореспонденція між транспортними районами i та j , пас.;

a, b – коефіцієнти моделі;

A_e – кількість засобів, що працюють в експресному режимі, од.

Головними перевагами застосування моделей визначення кореспонденцій при прогнозуванні обсягів перевезень є врахування заміни одного виду транспорту іншим; уведення в експлуатацію нових і закриття старих маршрутів і змін у вулично-дорожній мережі; соціальні фактори перевізного процесу та ін. При цьому головним недоліком є неврахування стану системи пасажирського транспорту і тих соціально-економічних наслідків (стан і кількість транспортних засобів, стан і довжина мережі, стан допоміжного забезпечення та ін.), що характеризують його.

На відміну від моделей розрахунку кореспонденцій, В. К. Доля запропонував визначення обсягу перевезень з урахуванням рухомості та чисельності населення міста:

$$Q_t^{nac} = P_o \cdot k_{mp} \cdot k_{mnm} \cdot k_n \cdot (N_m + \zeta \cdot N_{np}), \quad (8.7)$$

де Q_t^{nac} – обсяг перевезень пасажирів, пас.;

P_o – загальна рухомість населення, поїздок одного мешканця за рік;

k_{mp}, k_{mnm}, k_n – коефіцієнти користування індивідуальним транспортом, масовим пасажирським транспортом і пересадочності відповідно;

N_m – кількість мешканців у місті, осіб;

ζ – коефіцієнт приведення рухомості приїжджого населення до рухомості основного населення міста;

N_{np} – кількість приїжджих до міста людей із приміської зони чи інших міст, осіб.

Такий підхід не враховує показників транспортної мережі та їх змінювання в часі, що при $N_m = const$, $N_{np} = const$ і $P_o = const$ будуть також постійними.

Для визначення перспективного обсягу перевезень запропоновано такий критерій, як середньорічний приріст, а залежність має такий вигляд :

$$Q_t^{nac} = Q_0^{nac} \cdot \left(1 + \frac{q_{nac}}{100} \right)^t, \quad (8.8)$$

де Q_0^{nac} – обсяг перевезень у початковому році, пас.;

q_{nac} – середньорічний приріст обсягу перевезень у перспективі, %.

Зроблено припущення, що тенденції до зростання (спаду) в минулому зберігаються в майбутньому і не дозволяють використовувати цю модель для прогнозування обсягу перевезень на термін більш ніж 3–5 років.

У такому випадку можливе застосування математичної моделі з періодичним коливанням такого вигляду:

$$Q(t)_{nac} = Q_0^{nac} + \sum_{k=0}^{\infty} (A_k \cdot \cos(\omega_k \cdot t) + B_k \cdot \sin(\omega_k \cdot t)), \quad (8.9)$$

де $Q(t)_{nac}$ – обсяг перевезень пасажирів у момент часу t , пас.;

A_k, B_k – коефіцієнти моделі;

ω_k – кутова частота.

Залежність (8.9) актуальна лише для сезонних і добових коливань змінювання обсягів перевезень пасажирів.

Запитання для самоконтролю:

1. Що таке прогноз?
2. Які існують підходи до розробки прогнозів?
3. Які існують методи прогнозування?

4. Які існують методи прогнозування інтенсивності руху?
5. Що таке коефіцієнт конкордації?
6. Як визначається коефіцієнт парної рангової кореляції?
7. Які існують методи прогнозування швидкостей руху?
8. Які існують методи прогнозування навантажень на дорожні покриття?
9. Які існують методи прогнозування обсягів перевезень пасажирського транспорту?
10. Що розуміють під взаємодією системи та середовища?
11. Що таке верифікація?
12. Які існують методи верифікації прогнозів?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доля В. К. Прогнозування параметрів транспортних систем : підручник / В. К. Доля, Я. В. Санько, Т. О. Самісько ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 312 с.
2. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування : підручник / А. М. Єріна, Д. Л. Єрін. – Київ : КНЕУ, 2014. – 348 с.
3. Кулаковська І. В. Логістика та методи логістичного аналізу : [методичні рекомендації до виконання практичних робіт] / В. Кулаковська. – Миколаїв : Видавництво ЧДУ імені Петра Могили, 2016. – 88 с.

Електронне навчальне видання

ГЮЛЄВ Нізамі Уруджевич

ПРОГНОЗУВАННЯ В ЛОГІСТИЦІ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 073 – Менеджмент)*

Відповідальний за випуск *Г. О. Самчук*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *Н. У. Гюлев*

План 2022 , поз. 100Л

Підп. до друку 29.08.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 2,4.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Черноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.