

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**М. М. Осетрін, В. П. Тарасюк, Д. О. Беспалов**

## **ТРАНСПОРТНЕ МАКРОМОДЕЛЮВАННЯ**

Конспект лекцій

для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»,  
які навчаються за освітньою програмою  
«Міське будівництво та господарство»

Київ 2023



УДК 711.1  
О-72

Рецензент Г. Ю. Васильєва, канд. техн. наук, доцент

*Затверджено на засіданні навчально-методичної ради  
Київського національного університету будівництва і архітектури,  
протокол № 1 від 22 вересня 2022 року.*

**Осетрін М.М.**

О-72      Транспортне макромодельовання: конспект лекцій / М. М. Осетрін, В. П. Тарасюк, Д. О. Беспалов. – Київ: КНУБА, 2023. – 48 с.

Розглянуто роль і місце транспортних моделей міст в оцінці ефективності прийняття управлінських рішень і основні етапи їх розробки на прикладі чотирьохкрокової транспортної моделі розрахунку транспортного попиту.

Призначено для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», які навчаються за освітньою програмою «Міське будівництво та господарство».

УДК 711.1

© М. М. Осетрін, В. П. Тарасюк, Д. О. Беспалов, 2023  
© КНУБА, 2023

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ЗМІСТ .....  | 3  |
| ВСТУП .....  | 4  |
| Лекція 1. Вступ. Об'єкт, предмет і мета вивчення дисципліни .....  | 5  |
| Лекція 2. Роль і місце транспортних моделей міст в оцінці ефективності прийняття управлінських рішень .....  | 9  |
| Лекція 3. Граф вулично-дорожньої мережі. Вузли, відрізки, повороти   | 13 |
| Лекція 4. Транспортне районування. Використання містобудівних документів під час визначення меж транспортних районів   | 17 |
| Лекція 5. Зупинки, розклад руху, рухомий склад і маршрути громадського транспорту. Їх введення та редагування .....  | 20 |
| Лекція 6. Соціологічне опитування. Обстеження інтенсивності та пасажиропотоків на громадському транспорті як складова частина розробки транспортної моделі міста. Їх мета і результати ..... | 23 |
| Лекція 7. Модель транспортного попиту. Створення цільових поїздок  | 28 |
| Лекція 8. Розрахунок матриць кореспонденцій. Налаштування процедур розрахунку .....  | 31 |
| Лекція 9. Калібрування транспортної моделі .....   | 36 |
| Лекція 10. Збір і аналіз результатів моделювання. Основні критерії оцінки .....  | 41 |
| Питання для самоконтролю .....   | 45 |
| Список літератури .....  | 46 |

## ВСТУП

Вивчення дисципліни базується на знаннях, отриманих під час вивчення дисциплін «Міські дорожньо-транспортні споруди», «Інформатика», «Планування та благоустрій міст», «Міські вулиці та дороги», «Міський транспорт» та інших. Засвоєння змістовних модулів дисципліни в подальшому сприятиме навчанню в аспірантурі, а також виконанню розрахунково-графічної та магістерської роботи.

За результатами вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

*знати:* роль і місце транспортних моделей міст в оцінці ефективності прийняття управлінських рішень, основні принципи та припущення транспортного моделювання, його цілі та результати, ключові ризики та виклики;

*уміти:* збирати й аналізувати дані для розробки транспортних моделей міст, регіонів, країн із використанням відповідних інженерних, соціологічних і соціально-економічних розрахунків, дотримуючись державних будівельних норм і правил; володіти основними навичками безпосередньої роботи з моделлю, зокрема, відкриття моделі, введення сценаріїв, запуск сценаріїв на розрахунок, отримання даних із розрахованих сценаріїв; візуалізувати результати транспортного аналізу та планування на рівні міста, регіону, країни; коригувати функціонально-планувальне зонування територій, схем організації руху на окремих елементах вулично-дорожньої мережі, керуючись нормативними документами та використовуючи матеріали натурних обстежень.

У рамках вивчення дисципліни виконується розрахунково-графічна робота з використанням інструменту транспортного моделювання для оцінки ефективності прийняття містобудівних рішень.

Під час вивчення навчальної дисципліни використовуються словесний, інформаційно-ілюстративний, наочний і практичний, проблемний і пошуковий методи навчання із застосуванням лекцій, задач, ситуаційних завдань, комплексних розрахункових завдань.

## *Лекція 1*

### ВСТУП. ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ І МЕТА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

#### **План лекції**

1. Місце дисципліни в системі підготовки фахівців інженерів зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОПП «Міське будівництво та господарство».
2. Мета і завдання навчальної дисципліни.
3. Основні терміни.

#### ***1.1. Місце дисципліни в системі підготовки фахівців інженерів зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОПП «Міське будівництво та господарство»***

Сьогодення потребує сучасних підходів до обґрунтування та прийняття ефективних і відповідальних проектних рішень у сфері транспортного планування. У світовій і вітчизняній практиці для цього використовують інструменти стратегічного транспортного макромодельювання, зокрема транспортні моделі. У рамках впровадження сучасних підходів до обґрунтування ефективності містобудівних рішень у Київському національному університеті будівництва і архітектури для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Міське будівництво та господарство» введено дисципліну «Транспортне макромодельювання». Вона спрямована на вдосконалення й адаптацію навчального процесу до сучасних тенденцій розвитку сфери територіального планування міста, зорієнтована на надання практичних і теоретичних знань з оцінки планувальної структури міст із використанням транспортного макромодельювання на основі програмного середовища PTV Visum.

Дисципліна «Транспортне макромодельювання» з поміж інших передбачає вивчення таких питань:

- 1) нормативне регулювання питань транспортного моделювання;
- 2) програмне забезпечення для розробки транспортних моделей;
- 3) збір і аналіз вихідних даних для розробки транспортної моделі;
- 4) структура транспортної моделі, моделі транспортної пропозиції і транспортного попиту;
- 5) транспортне районування, використання містобудівних документів під час визначення меж транспортних районів;

- 6) натурні обстеження інтенсивності руху транспорту і пасажиропотоків на громадському транспорті; основні проблеми та виклики;
- 7) соціологічне опитування як складова частина розробки транспортної моделі міста;
- 8) валідація, верифікація та калібрування транспортної моделі;
- 9) збір і аналіз результатів моделювання, основні критерії оцінки планувальних рішень.

## ***1.2. Мета і завдання навчальної дисципліни***

Мета навчальної дисципліни – вирішення типових задач діяльності у проєктній, організаційній і контрольній виробничих функціях, які сформульовані стандартом освіти спеціальний вид діяльності – «Міське будівництво і господарство»: забезпечити фундаментальну, організаційно-управлінську, проєктну і дослідницьку підготовку майбутніх фахівців на базі встановлення та подальшого аналізу прогностичних змін транспортних, пасажирських і пішохідних потоків для коригування проєктних параметрів планувальної чи дорожньо-транспортної інфраструктури за допомогою програмного комплексу для макромоделювання PTV Visum.

Завдання навчальної дисципліни полягає в підготовці фахівців для вирішення таких завдань:

- оцінки різних варіантів розвитку транспортної інфраструктури;
- оцінки роботи транспортної мережі загалом за заданої системи показників якості (транспортна забезпеченість територій, оцінка транспортної доступності територій для різних груп населення тощо);
- підготовки транспортних прогнозів на основі сценаріїв «що буде, якщо...»;
- розрахунку обсягів наявних пасажиропотоків і інтенсивності руху транспорту на окремих елементах вулично-дорожньої мережі міст;
- систематизації і наочного подання даних про транспортну систему міста (для візуальної оцінки та розробки пропозицій);
- техніко-економічного обґрунтування різних інвестиційних проєктів з розвитку транспортної інфраструктури модельованої області;
- оптимізації роботи громадського транспорту;
- аналізу мережі громадського транспорту й оцінки її доступності;

- розроблення комплексних програм (стратегій) розвитку транспортної мережі, що передбачає всі види транспорту;
- обґрунтування наслідків впровадження нових видів громадського транспорту і нових маршрутів для транспортної системи загалом.

### ***1.3. Основні терміни***

Нижче наведено деякі основні терміни, які використовуються в рамках вивчення дисципліни «Транспортне макромодельювання».

Валідація транспортної моделі – процес визначення прогнозної здатності й адекватності транспортної моделі, зокрема для порівняння альтернативних сценаріїв, із використанням набору незалежних параметрів.

Верифікація транспортної моделі – процес перевірки правильності структури (логіки) моделі з погляду відповідності її форми умовам об'єкта, що досліджується.

Калібрування транспортної моделі – процес коригування різних елементів транспортної моделі базового періоду таким чином, щоб вона відповідала спостереженим даним.

Відрізок – елемент графа мережі, який представляє ділянку автомобільної дороги, лінії позавуличного транспорту, водного шляху тощо. Кожен відрізок характеризується рядом геометричних параметрів (довжина, кількість смуг тощо) і динамічних параметрів (швидкість руху, пропускна здатність), а також ознаками дозволу або заборони для руху транспортних засобів різних типів.

Вузол – елемент графа мережі, який представляє перехрещення, транспортну розв'язку, примикання/розгалуження автомобільної дороги/вулиці тощо.

Коефіцієнт завантаженості – показник напруженості руху на відрізку транспортної мережі, який визначається як відношення інтенсивності руху до пропускної здатності. Використовується, зокрема, для визначення часу руху за заданої інтенсивності руху за допомогою функцій взаємозв'язку пропускної здатності – CR-функцій.

Кореспонденція – обмін, що походить від елемента і до елемента транспортної системи в повному циклі закінченого процесу переміщення. Кореспонденція характеризується вектором із координатами початкової та кінцевої точок і величиною навантаження, вираженою в кількості



пасажирів або обсязі вантажу. У разі накладанні на модель транспортної мережі кореспонденція матиме ще одну характеристику, яка називається «протяжність».

Корисність / функція корисності – функція, що оцінює ймовірність вибору способу перевезення (виду транспорту) на етапі модального розподілу (розподілу за видами транспорту), а також ймовірність здійснення поїздки під час розрахунку матриць кореспонденцій (еквівалентна функції тяжіння гравітаційної моделі).

Матриця кореспонденцій – спосіб відображення окремих переміщень між пунктами відправлень та прибуття у транспортній моделі. Сума усіх комірок матриці відповідає загальній кількості переміщень, здійснених у транспортній системі.

Модель формування попиту – початковий етап розрахунку моделі транспортного попиту. Як вихідні дані використовуються дані демографічної та соціально-економічної статистики за транспортними районами. Для кожного шару попиту розраховуються сумарні обсяги відправлень і прибуття. Вони є вихідними даними для етапу розрахунку матриць кореспонденцій.

Транспортний попит – сукупність даних про послідовність рішень, прийнятих учасниками руху з приводу здійснення переміщень, виду транспорту, що використовується, і конкретного маршруту переміщення, а також кореспонденцій і транспортних потоків у мережі, що формуються за результатами цих рішень. Термін «модель попиту» є синонімом терміна «модель прогнозу транспортних потоків».

Транспортне планування – комплекс транспортних, планувальних, будівельних і природоохоронних заходів, спрямованих на забезпечення загальних потреб у переміщеннях населення й економіки відповідного регіону.

Центроїд – спеціальний вузол графа мережі, що є модельним представленням транспортного району. Центроїди з'єднуються з вузлами мережі спеціальними дугами-зв'язками (сполученнями) і відіграють роль початкових і кінцевих вузлів усіх розрахункових шляхів графа.

## *Лекція 2*

# РОЛЬ І МІСЦЕ ТРАНСПОРТНИХ МОДЕЛЕЙ МІСТ В ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

### **План лекції**

1. Історія становлення і розвитку транспортного моделювання.
2. Світовий і вітчизняний досвід розробки та використання транспортних моделей.
3. Транспортна модель як інструмент стратегічного планування.
4. Основні сфери застосування транспортних моделей.
5. Найпоширеніші програмні продукти для транспортного моделювання.
6. PTV Visum як світовий лідер у сфері транспортного макромоделювання.

### ***2.1. Історія становлення і розвитку транспортного моделювання***

Минулого століття для моделювання транспортних потоків використовувалися математичні моделі, що мали здебільшого лише теоретичний характер. Працювати з ними могли тільки математики й висококласні інженери. Сьогодні з огляду на науково-технічний прогрес і використання сучасних технологій майже всі розрахунки моделі бере на себе ядро спеціальних комп'ютерних програм.

Основи математичного моделювання закономірностей дорожнього руху були закладені 1912 року професором Г. Д. Дубеліром. Однак ця модель характеризувалася швидше як імітаційна мікромодель, якщо порівнювати із сучасними підходами до моделювання.

Транспортні моделі, засновані на принципах комп'ютерного моделювання розподілу транспортних потоків, які вивчаються в рамках цієї дисципліни, вперше створені в 1960 р. Однією з перших програм, що реалізують чотирьохступеневу процедуру прогнозування завантаження транспортних мереж, була програма ЕММЕ (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium, що означає «мультимодальна рівновага»), розроблена і застосована для міста Монреаль (Канада).

Бурхливий розвиток обчислювальних потужностей сучасних комп'ютерів сприяв прискоренню останніми роками в десятки разів основних обчислювальних процедур, істотному уточненню і

деталізуванню моделі транспортних мереж міст, урахуванню в розрахунках набагато більшої кількості різних факторів, що визначають поведінку сучасних учасників дорожнього руху.

## ***2.2. Світовий і вітчизняний досвід розробки та використання транспортних моделей***

У світі транспортне моделювання давно і широко використовується. Серед інших, широкого застосування вони набули в таких містах, як Нью-Йорк, Лос-Анджелес, Лондон, Париж, Мілан, Берлін, Ларнака, Мюнхен та інші. Розроблено транспортну модель майже всієї Європи: від кордонів України до Атлантичного океану.

Самою докладною (з найбільшою кількістю елементів) моделлю у світі є транспортна модель Німеччини, виконана в PTV Visum. Крім того, розроблено транспортну модель Швейцарії, що включає також сусідні країни Європи як зовнішні райони. На замовлення Міністерства інфраструктури України та за підтримки Представництва Європейського Союзу в Україні у 2019–2022 роках розроблено транспортну модель для України.

За останні роки кілька українських міст розробили транспортні моделі з використанням програмного забезпечення PTV Visum і зараз успішно їх експлуатують. Серед них Львів, Івано-Франківськ, Київ, Дніпро, Маріуполь, Миколаїв, Полтава, Житомир, Вінниця, Чернівці, Кривий Ріг тощо.

## ***2.3. Транспортна модель як інструмент стратегічного планування***

Транспортна модель – математичний інструмент для кількісної та якісної оцінки наслідків і підтримки прийняття управлінських містобудівних рішень для транспортного планування територій. Інструмент моделювання висуває підвищені вимоги до якості вихідних даних, допускає відносно широкий набір альтернатив у виборі технологій моделювання, надає значну кількість параметрів і коефіцієнтів, що налаштовуються. У таких умовах побудова транспортної моделі стає наукомістким і багато в чому творчим процесом. Від якості розробки та компетентності у використанні цього інструменту залежить ефективність капіталовкладень у транспортну інфраструктуру. Усе це накладає величезну відповідальність на спеціаліста з моделювання і висуває високі

вимоги до рівня його кваліфікації. Некваліфіковане застосування інструментів моделювання транспортних потоків не тільки зводить нанівець усі їхні переваги, але й може привести до прийняття неправильних рішень, що, крім фінансових втрат, дискредитує сам метод моделювання і знижує рівень довіри до нього.

Транспортна модель покликана підвищити обґрунтованість управлінських рішень на стратегічному, тактичному й оперативному рівнях управління дорожнім рухом. «Правильне» стратегічне управління транспортною системою міста, крім усього іншого, безпосередньо впливає на якість транспортного обслуговування населення і безпеку дорожнього руху.

#### ***2.4. Основні сфери застосування транспортних моделей***

Транспортна модель дає змогу органам місцевої влади, проєктним організаціям та інститутам розробляти відповідно до чинних нормативних містобудівних документів комплексні схеми транспорту, комплексні схеми організації дорожнього руху, плани сталої міської мобільності та виконувати техніко-економічні обґрунтування проєктів розвитку транспортної інфраструктури.

Транспортна модель дає можливість:

- підготовки транспортних прогнозів на основі сценаріїв «що буде, якщо...»;
- зберігання даних транспортних і соціально-економічних показників;
- розрахунку обсягів наявних пасажиро- і вантажопотоків;
- оцінки роботи транспортної мережі загалом за заданої системи показників якості (транспортна забезпеченість територій, оцінка транспортної доступності територій для різних груп населення тощо);
- систематизації і наочного подання даних щодо транспортної системи міста (для візуальної оцінки та розробки пропозицій тощо);
- техніко-економічного обґрунтування інвестиційних проєктів з розвитку транспортної інфраструктури області моделювання;
- оптимізації роботи громадського транспорту, у тому числі аналізу маршрутної мережі, доступності, розкладу руху тощо;

- обґрунтування наслідків впровадження нових видів громадського транспорту і нових маршрутів для транспортної системи загалом;
- розроблення комплексних програм, планів, стратегій розвитку транспортної мережі, що включає всі види транспорту;

### ***2.5. Найпоширеніші програмні продукти для транспортного моделювання***

На сьогодні у світі існують десятки програмних продуктів для макромодельювання транспортних потоків, наприклад Tmodel2, Cube, Emme/4, Transcad, Transnet, PTV Visum. За допомогою цих програмних комплексів побудовані транспортні моделі в таких містах, як Нью-Йорк, Лос-Анджелес, Лондон, Париж, Мілан та інші.

Для розробки транспортних моделей використовується сучасне програмне забезпечення PTV Visum. Користувачами PTV Visum є понад 2000 організацій у США, Англії, Німеччині, Нідерландах, Італії, Іспанії, Польщі, Австрії, Австралії, Китаї, Індії, країнах Близького Сходу і понад 50 організацій в країнах пострадянського простору.

### ***2.6. PTV Visum як світовий лідер у сфері транспортного макромодельювання***

Компанія PTV (Planung Transport Verkehr) уже понад 25 років є одним із лідерів на світовому ринку транспортного планування і моделювання. PTV Visum – промисловий стандарт транспортного планування в 75 країнах світу. Основні сфери застосування: транспортне планування міст і регіонів, оптимізація роботи громадського транспорту, обґрунтування інвестицій, прогнозування інтенсивності руху на платних автодорогах. PTV Visum має понад 10 000 користувачів у США, Англії, Нідерландах, Німеччині, Китаї, Польщі, Індії, Австралії, Україні та інших країнах.

PTV Visum являє собою сучасну інформаційно-аналітичну систему підтримки прийняття рішень, яка дає змогу здійснювати стратегічне і оперативне транспортне планування, прогнозування інтенсивностей руху, обґрунтування інвестицій у розвиток транспортної інфраструктури, оптимізацію транспортних систем міст і регіонів, а також систематизацію, зберігання та візуалізацію транспортних даних.

Програмний комплекс PTV Visum інтегрує всіх учасників руху (автомобілі, пасажирів, вантажівки, автобуси, трамваї, пішоходи, велосипедисти та ін.) у єдину математичну модель і об'єднує дані геоінформаційних систем і дані про транспортне забезпечення в єдину багаторівневу базу даних.

Особливостями розвитку PTV Visum є великі зв'язки з фундаментальними дослідженнями (три центри розробки продукту – США, Німеччина і Японія) і як наслідок, найширший пул наукових досліджень у галузі методології транспортного моделювання, який дає змогу постійно підвищувати якість алгоритмів і можливостей системи.

### *Лекція 3*

## ГРАФ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ. ВУЗЛИ, ВІДРІЗКИ, ПОВОРОТИ

### **План лекції**

1. Структура транспортної моделі.
2. Модель транспортної пропозиції. Основні структурні елементи графу вулично-дорожньої мережі.
3. Типи відрізків. Їх основні характеристик.
4. Системи транспорту, режими та сегменти попиту.

### **3.1. Структура транспортної моделі**

Перед початком робіт з розробки транспортної моделі потрібно розуміти й чітко визначити вимоги та функції цієї моделі. Це стане гарантією того, що модель забезпечуватиме результат, потрібний для виконання проєкту, і його якісну оцінку. Важливість чіткого визначення, оцінювання і постановки задач для транспортного моделювання є важливою умовою розроблення якісної транспортної моделі. Водночас має бути враховано всі потенційні напрями її застосування.

Транспортна модель являє собою програмний комплекс, що складається з інформаційних і розрахункових блоків. Інформаційні блоки складають єдину базу даних, призначену для зберігання й обробки інформації, потрібної для розрахунку транспортних потоків. Розрахункові блоки реалізують алгоритми розв'язання задач математичного

програмування, орієнтованих на розрахунок потреби в пересуваннях і транспортних потоків.

З огляду на це створення основи моделі й наповнення її вихідними даними можна поділити на два незалежних один від одного етапи – створення моделі транспортної пропозиції та створення (розрахунок) транспортного попиту (рис. 1).



Рис. 1. Структура транспортної моделі

Транспортна пропозиція складається з елементів транспортної системи (міста або регіону), що обслуговує транспортний попит. Транспортний попит якісно і кількісно визначає попит жителів на переміщення.

### **3.2. Модель транспортної пропозиції. Основні структурні елементи графу вулично-дорожньої мережі**

Транспортна пропозиція визначає, який попит існує і наскільки добре може його задовольнити транспортна система. Модель пропозиції складається з транспортних районів і вулично-дорожньої мережі, яка

робить переміщення доступними для учасників транспортного руху й описує затрати на такі переміщення.

Вулично-дорожня мережа формується на основі геоінформаційних даних, а також натурних обстежень. Вона представлена у вигляді орієнтованого графа з такими геометричними і технічними параметрами:

- геометрія вулично-дорожньої мережі (просторове положення та конфігурація вулиць і доріг, максимально наближені до реального просторового положення і характеристик);
- розташування перехресть, перетинів, примикань у вигляді точкових об'єктів;
- конфігурація з'їздів транспортних розв'язок;
- довжина елемента мережі;
- категорія вулиць і доріг;
- кількість смуг руху в кожному напрямку;
- розрахункова і дозволена швидкість руху по ділянці мережі;
- пропускна здатність кожного напрямку перегону вулиці чи дороги;
- заборони руху по елементах мережі;
- дозволені напрямку руху на перехрестях, примиканнях;
- ранг магістралі (привабливість для користувача) тощо.

### **3.3. Типи відрізків. Їх основні характеристики**

Для покращення точності відображення мережі всі вулиці та дороги поділяються на типи. Типи відрізків – одна з найважливіших характеристик відрізків. Для кожного типу відрізків вводиться інформація про категорію вулиць і доріг, кількість смуг руху, пропускну здатність, дозволена швидкість руху, а також види транспортних засобів, яким дозволений рух у вигляді атрибутів.

Відрізок – об'єкт транспортної пропозиції, що є модельним зразком елементарної ділянки вулиці, дороги, залізниці, водного шляху тощо. Кожен відрізок характеризується низкою геометричних (довжина, кількість смуг для руху автотransпортних засобів, кривизна тощо) і динамічних параметрів (максимальна дозволена швидкість, пропускна здатність), а також переліком видів транспорту, для яких відкритий рух на цьому відрізку. Відрізки в транспортній моделі завжди починаються і закінчуються у вузлах.



Вузол – об'єкт транспортної пропозиції, що є модельним зразком перехрестя, розв'язки, стикування залізниці, водного шляху тощо. Для кожного перехрестя, яке представлено у вигляді вузла на графі вулично-дорожньої мережі міста, встановлюються такі параметри:

- дозволені/заборонені маневри;
- пропускна здатність в кожному напрямку з урахуванням кількості смуг;
- дозволені для руху види транспорту;
- тип регулювання перехрестя (світлофорне регулювання, нерегульоване перехрестя);
- затримки на виконання маневру.

#### ***3.4. Системи транспорту, режими та сегменти попиту.***

У моделі різні види транспорту представляються за допомогою систем транспорту. Режим об'єднує кілька систем транспорту. Зазвичай громадський транспорт, між якими можлива пересадка в рамках однієї поїздки, є сполучною ланкою між попитом і пропозицією на рівні матриць кореспонденцій. Сегменти попиту описують переміщення різних груп людей з використанням однієї або декількох систем транспорту. Вони є сполучною ланкою між попитом і пропозицією на рівні шляхів, розподілених по мережі матриць кореспонденцій. Для кожної з цих систем транспорту визначається закономірності розподілу поїздок, на базі яких здійснюються обчислення в моделі. На рис. 2 зображено приклад взаємодії систем транспорту, режимів, сегментів попиту і матриць кореспонденцій в моделі.

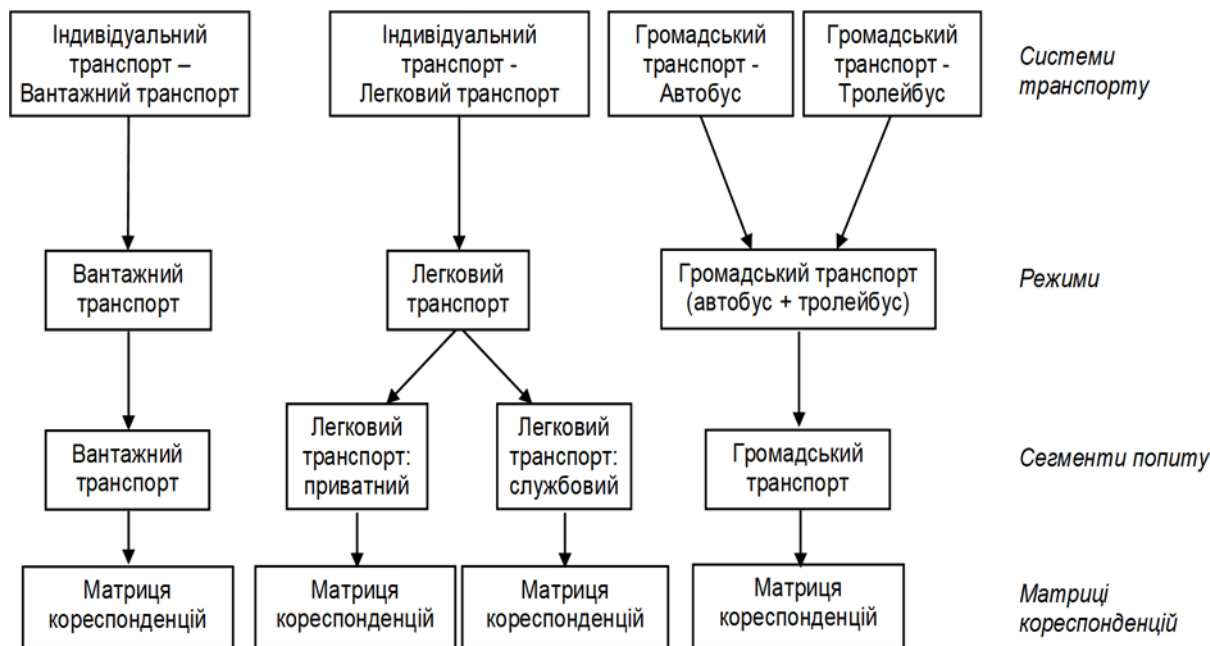


Рис. 2 Приклад зв'язків між системами транспорту, режимами попиту і матрицями кореспонденцій

#### Лекція 4

### ТРАНСПОРТНЕ РАЙОНУВАННЯ. ВИКОРИСТАННЯ МІСТОБУДІВНИХ ДОКУМЕНТІВ ПІД ЧАС ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ТРАНСПОРТНИХ РАЙОНІВ

#### План лекції

1. Принцип транспортного районування.
2. Соціально-економічна статистика як елемент транспортної моделі.
3. Сполучення (конектори).

#### 4.1. Принцип транспортного районування

Транспортне районування – це спосіб агрегування індивідуальних потреб користувачів під час використання транспортної мережі, спільно за певними параметрами (пункти відправлення або прибуття, маршрут, вид транспорту тощо) для цілей моделювання.

Структура просторового розвитку сфери дослідження описується за допомогою таких даних:

- транспортне районування: межі транспортних районів, положення центрів тяжіння транспортних районів;

- дані соціально-економічної статистики транспортних районів: чисельність населення, середньооблікова чисельність працівників, чисельність зайнятого населення та ін.

Транспортні райони – елементарні одиниці просторової структури області планування. Оптимальним є районування за функціональною ознакою (наприклад, на основі функціонального зонування згідно з Генеральним планом розвитку міста). У разі неможливості отримання статистичної інформації для районування за функціональною ознакою, допустимим є районування на основі адміністративно-територіального поділу.

Транспортні райони повинні ділити територію на однорідні з функціонального і транспортного погляду ділянки. Розмір транспортних районів потрібно вибирати за критерієм генеруючих транспортних потоків. Транспортні райони можуть мати кілька точних підключень до вулично-дорожньої мережі – сполучень, які мають приєднуватися до ділянок мережі навіть найнижчого класу. Категорично не допускається підключення сполучень до перехресть.

Транспортні райони відіграють роль центрів генерації і тяжіння транспортних кореспонденцій. У моделі вони описані за допомогою центроїді. У моделі вони виконують дві основні функції:

- відображають структуру розподілу функціонально-просторового потенціалу сфери моделювання;
- формують основу агрегованого опису стану транспортної системи сфери моделювання.

Для врахування транзитних і «зовнішніх» кореспонденцій у транспортному моделюванні використовують кордонні райони. Кордонними називаються кореспонденції, що в'їжджають в зону моделювання або виїжджають з неї через кордони зони. До них належать транзитні потоки, замиські поїздки й інші переміщення, які починаються або закінчуються поза зоною моделювання.

#### ***4.2. Соціально-економічна статистика як елемент транспортної моделі***

Для розрахунку попиту на переміщення до атрибутів кожного транспортного району із максимально можливою точністю визначається і вводиться у модель така інформація:

- чисельність населення;
- кількість робочих місць;
- кількість робочих місць у промисловості;
- кількість робочих місць у сфері послуг;
- кількість працездатного населення;
- кількість дітей дошкільного віку;
- кількість школярів;
- кількість студентів;
- кількість місць у дитячих садках;
- кількість навчальних місць у школах;
- кількість навчальних місць в університетах;
- кількість дачних ділянок.

Соціально-економічна статистика також може містити інформацію про зареєстровані робочі місця з розподілом на різні сектори економічної діяльності.

Найпоширенішим способом отримання потрібних даних є запити до різних комунальних та інших підприємств, наприклад міськводоканалу, відділів статистики, освіти тощо. Однак дуже часто інформації не вистачає. У таких випадках дані доповнюють і уточнюють непрямим способом з використанням наявної статистичної інформації про кількість зайнятих у секторах економіки з інших джерел (наприклад, з використанням даних OpenStreetMap). У загальному вигляді формула для розрахунків має такий вигляд:

$$e_{ij} = k_{ij}E_j,$$

де  $e_{ij}$  – кількість зайнятих у транспортному районі  $i$  в секторі  $j$ ;

$k_{ij}$  – частка зайнятих у секторі  $j$  транспортного району  $i$ ;

$E_j$  - сукупна кількість зайнятих у секторі  $j$ .

У такому разі завдання зводиться до оцінки коефіцієнтів розподілу зайнятості по транспортних районах.

### **4.3. Сполучення (конектори)**

Для об'єднання і взаємозв'язку графа вулично-дорожньої мережі транспортними районами використовуються сполучення (конектори).

Сполучення (конектор) – спеціальна дуга транспортного графа, яка пов'язує умовний центр району з вузлом транспортної мережі (рис. 3).

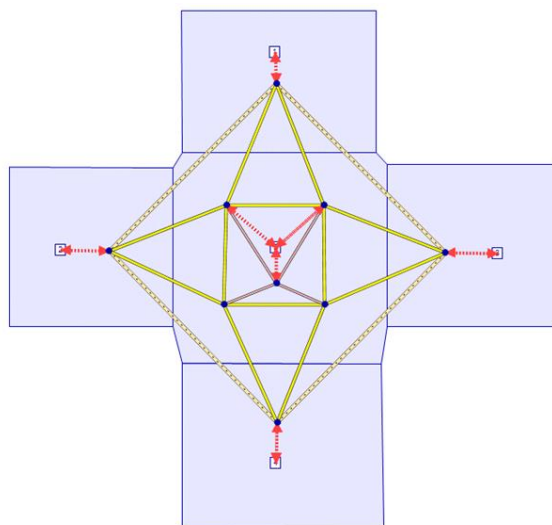


Рис. 3. Сполучення (конектори)

Для цього кожний центроїд транспортного району з'єднується щонайменше з одним вузлом графа мережі за допомогою сполучення так, що учасник дорожнього руху/вантаж міг виїхати та в'їхати у відповідний район. Сполучення являють собою вхід і вихід маршрутів, для яких розраховуються час і довжина переміщення. Райони є пунктом призначення та відправлення поїздок, тому сполучення завжди є першим і останнім елементом поїздки. Для кожного сполучення важливо встановити дозволені системи транспорту для розрахунку часу поїздки.

## **Лекція 5**

### **ЗУПИНКИ, РОЗКЛАД РУХУ, РУХОМИЙ СКЛАД І МАРШРУТИ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ. ЇХ ВВЕДЕННЯ ТА РЕДАГУВАННЯ**

#### **План лекції**

1. Зупинки, розклад руху і рухомий склад маршрутів громадського транспорту.
2. Створення і редагування маршрутів громадського транспорту.
3. Автоматична перевірка графа вулично-дорожньої мережі.

### 5.1. Зупинки, розклад руху і рухомий склад маршрутів громадського транспорту

Для точного і детального моделювання громадського транспорту в програмному середовищі PTV Visum створюється модель зупинок. Під час створення моделі зупинок дотримується така ієрархічна структура: «зупинка» – «зона зупинки» – пункт зупинки (рис. 4).

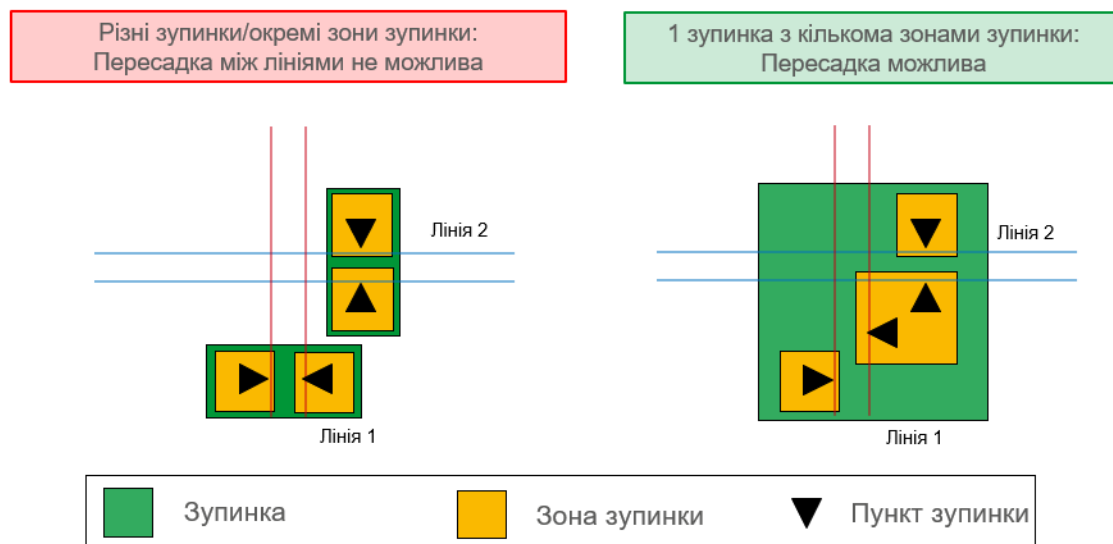


Рис. 4. Приклад ієрархічної структури зупинок у середовищі PTV Visum

Конкретне місце посадки/висадки пасажирів називається «Пункт зупинки». Зона, усередині якої відбувається пересадка між конкретними пунктами зупинок без затрат часу, називається «Зона зупинки». Транспортно-пересадковий вузол, усередині якого відбувається пересадка пасажирів з одного виду транспорту на інший з певними затратами часу, називається «Зупинка». Кожен «Пункт зупинки» прив'язаний до визначеної «Зони зупинки», а кожна «Зона зупинки» прив'язана до «Зупинки». Кожна зона зупинки може містити один або декілька пунктів зупинок. Кожна зупинка, зі свого боку, може містити декілька зон зупинок.

Усім пунктам, зонам та власне зупинкам може бути присвоєна відповідна назва. Для кожного з елементів також можна відслідковувати кількість маршрутів, що проходять через відповідний елемент моделі зупинки. Для маршруту також можна вводити характерний для нього тип рухомого складу з відповідною місткістю та присвоювати перевізника.

### 5.2. Створення і редагування маршрутів громадського транспорту

У моделі існує ієрархічна структура для відтворення маршрутів громадського транспорту: маршрути та варіанти маршруту. Кожний маршрут має один або декілька варіантів маршруту з різними напрямками – прямим і зворотній. Кожний маршрут характеризується такою інформацією:

- геометрія проходження маршруту;
- номер маршруту;
- довжина маршруту;
- пункти зупинок (зокрема час зупинки) на маршруті;
- розклад;
- рухомий склад.

Одним із способів внесення даних про громадський транспорт у програмне середовище PTV Visum є імпорт файлу General Transit Feed Specification (GTFS), що дає змогу вводити маршрутну мережу, зупинки і розклад руху громадського транспорту. GTFS – загальнодоступний формат опису розкладів руху громадського транспорту і супутньої географічної інформації, завдяки якому можна використовувати ці дані на картах, у додатках з планування маршрутів та інших подібних сервісах. Однак імпорт даних GTFS передбачає потребу в додатковій «ручній» перевірці коректності внесених даних.

Після створення маршрутів громадського транспорту в транспортну модель у редакторі розкладу вводимо «розклад руху». Розклад руху складається з «обслуговувальних поїздок». Поїздку можна задати для кожного маршруту і транспортного засобу окремо, вказуючи час його відправлення. Також можна задати початковий і кінцевий моменти відправлення й інтервал руху громадського транспорту для певного маршруту. Приклад вікна редактора розкладу міського пасажирського транспорту загального користування в транспортній моделі наведено на рис. 5.

| 11 поездов по расписанию             |                 |                       |                 |                 |                 |               |               |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| №                                    | 77535           | 77536                 | 77537           | 77538           | 77539           |               |               |
| Имя                                  |                 |                       |                 |                 |                 |               |               |
| ИмяМарш                              | Автобус№100     | Автобус№100           | Автобус№100     | Автобус№100     | Автобус№100     |               |               |
| КодНапр                              | >               | >                     | >               | >               | >               |               |               |
| Прив:УчасткиОбслПоездки\ДеньДвиж\Код | Ежедн.          | Ежедн.                | Ежедн.          | Ежедн.          | Ежедн.          |               |               |
| ОбознИзЭлПрофВрДвиж                  | 1: 3532         | 1: 3532               | 1: 3532         | 1: 3532         | 1: 3532         |               |               |
| Отпр                                 | 366             | 428                   | 491             | 553             | 722             |               |               |
| Приб                                 | 07:09:15        | 08:11:15              | 09:14:15        | 10:16:15        | 13:05:15        |               |               |
| ОбознВЭлПрофВрДвиж                   | 38: 114366      | 38: 114366            | 38: 114366      | 38: 114366      | 38: 114366      |               |               |
| ОбознПеревозчика                     | 1 КП Кийвастрас | 1 КП Кийвастрас       | 1 КП Кийвастрас | 1 КП Кийвастрас | 1 КП Кийвастрас |               |               |
| Кол:УчасткиОбслПоездки               | 1               | 1                     | 1               | 1               | 1               |               |               |
| Состыковано                          | ■               | ■                     | ■               | ■               | ■               |               |               |
| ИмяПрофВрДвиж                        | 1               | 1                     | 1               | 1               | 1               |               |               |
| IDПрофВрДвиж                         | 797             | 797                   | 797             | 797             | 797             |               |               |
| №ГриИнтервалПоездок                  | 0               | 0                     | 0               | 0               | 0               |               |               |
| 11 участков поездки по расписанию    |                 |                       |                 |                 |                 |               |               |
| ОбознСекцТС                          | 8 A 83D1        | 8 A 83D1              | 8 A 83D1        | 8 A 83D1        | 8 A 83D1        |               |               |
| ОбознДняДвиж                         | 1 Ежедн.        | 1 Ежедн.              | 1 Ежедн.        | 1 Ежедн.        | 1 Ежедн.        |               |               |
| ОбознИзЭлПрофВрДвиж                  | 1: 3532         | 1: 3532               | 1: 3532         | 1: 3532         | 1: 3532         |               |               |
| Отпр                                 | 06:06:00        | 07:08:00              | 08:11:00        | 09:13:00        | 12:02:00        |               |               |
| Приб                                 | 07:09:15        | 08:11:15              | 09:14:15        | 10:16:15        | 13:05:15        |               |               |
| ОбознВЭлПрофВрДвиж                   | 38: 114366      | 38: 114366            | 38: 114366      | 38: 114366      | 38: 114366      |               |               |
| ПодготовПериод                       | Omin            | Omin                  | Omin            | Omin            | Omin            |               |               |
| №Ост                                 | КодОст          | ИмяОст                | 06:06           | 07:08           | 08:11           | 09:13         | 12:02         |
| 3532                                 |                 | вул. Сошенка          | 06:06 / 06:06   | 07:08 / 07:08   | 08:11 / 08:11   | 09:13 / 09:13 | 12:02 / 12:02 |
| 3543                                 |                 | пл. Тараса Шевченка   | 06:07 / 06:07   | 07:09 / 07:09   | 08:12 / 08:12   | 09:14 / 09:14 | 12:03 / 12:03 |
| 114365                               |                 | пр. Мінський (на вимо |                 |                 |                 |               |               |

Рис. 5. Вікно редактора розкладу міського пасажирського транспорту загального користування в транспортній моделі

### 5.3. Автоматична перевірка графа вулично-дорожньої мережі

Через велику кількість вхідної інформації можливі помилки в побудові мережі: щось упустили, забули. Для усунення подібних проблем RTV Visum дає змогу здійснювати автоматизовану перевірку моделі пропозиції, яка потім стане основою для подальшого моделювання і досліджень (рис. 6).



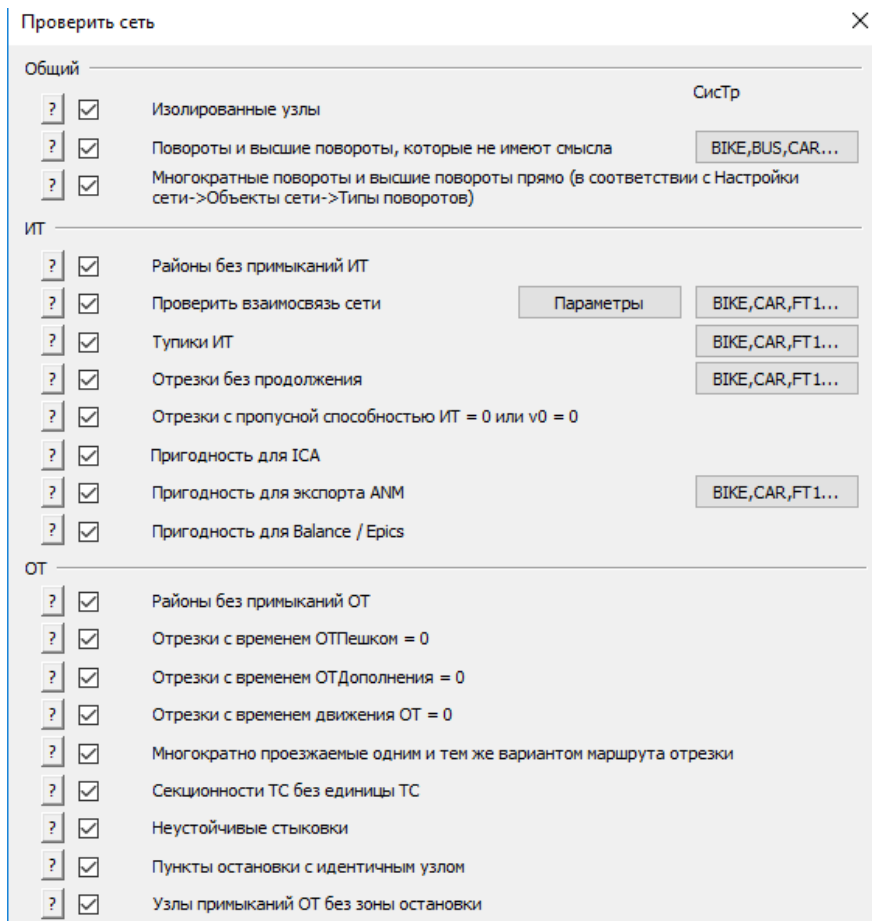


Рис. 6. Перевірка графу мережі

## Лекція 6

### СОЦІОЛОГІЧНЕ ОПИТУВАННЯ. ОБСТЕЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТА ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА РОЗРОБКИ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ МІСТА. ЇХ МЕТА ТА РЕЗУЛЬТАТИ

#### План лекції

1. Мета і основні завдання соціологічного опитування.
2. Обстеження інтенсивності руху транспорту.
3. Обстеження пасажиропотоків на громадському транспорті.

#### 6.1. Мета і основні завдання соціологічного опитування

Оскільки протягом розвитку міста в ньому постійно відбуваються зміни, потрібно проводити моніторинг міської мобільності населення, що дає змогу кількісно і якісно оцінювати переміщення мешканців міста. Як

правило, опитування проводиться за квотною вибіркою за статтю, днем тижня, районом проживання і віковими категоріями.

За методом реалізації таких досліджень можна виділити 3 основні:

- особисте опитування (face-to-face інтерв'ю) з використанням паперової анкети або планшетів;
- телефонне опитування (САТІ);
- інтернет-опитування.

Особисте опитування проводиться наживо в квартирах чи будинках мешканців, з використанням багатоступеневої стратифікованої вибірки вулиць і покрокової вибірки локацій. Опитування проводиться віч-на-віч, і запитання ставляться або випадково обраній людині з домогосподарства, або ж використовуються довші й більш розгорнуті опитувальники, щоб дізнатися про переміщення кожного члена домогосподарства (це дає змогу більш імовірно охопити різні типи переміщень різних категорій населення). Раніше подібні опитування проводилися за допомогою паперових анкет, коли інтерв'юер читав питання й отримані відповіді записував у спеціальний бланк. Після опитування всі бланки оброблялись операторами та вносились до загальної бази даних дослідження. Наразі цей тип опитувань часто проводиться за допомогою спеціально запрограмованих анкет на планшетах, що дає змогу уникнути логічних помилок у переходах між питаннями, помилок вводу під час перенесення інформації з паперу в електронну форму, а також додатково записувати геоточку проведення опитування. Крім цього, планшетне опитування пришвидшує заповнення анкети, адже інтерв'юєру не потрібно самостійно контролювати логічні переходи між питаннями.

Метод телефонного опитування (САТІ) реалізується з використанням засобів телефонного зв'язку. Для цього програма генерує випадкові номери або ж обирає випадковий номер із наявних баз, а для забезпечення репрезентативності вибірки на початку опитування фігурують питання, що контролюють вікові, статеві та районні квоти. Інтерв'юер читає запитання та фіксує отримані відповіді в середовищі спеціалізованого програмного забезпечення, що, як і в випадку планшетних досліджень, дає змогу контролювати логічні переходи, автоматично надсилати дані до електронної бази даних і значно пришвидшити обробку й отримання результатів дослідження.

Метод інтернет-опитування ґрунтується на самостійному заповненні респондентами за допомогою мережі інтернет відповідей на запитання спеціально запрограмованої онлайн-анкети. Відповіді відразу потрапляють на загальний сервер до електронної бази даних і обробляються. Проблема цього методу полягає в тому, що ним складно забезпечити репрезентативність вибірки, хоча наразі соціологи випробовують різні варіанти подолання цієї проблеми.

За результатами соціологічного дослідження виконується аналіз поведінки мешканців міста щодо їх переміщень за різними показниками. Також на цьому етапі визначаються розподіл режимів переміщень за статтю, віком і середня тривалість поїздки.

Останнім часом все ширшого застосування в розробці транспортних моделей набуває використання даних мобільних операторів як джерела даних про мобільність населення.

## **6.2. *Обстеження інтенсивності руху транспорту***

Дослідження інтенсивності руху транспорту на вулично-дорожній мережі міста потрібне для визначення інтенсивності та складу транспортного потоку за визначений проміжок часу з деталізацією до напрямків руху. Значення інтенсивності потрібні для обчислення техніко-економічних показників і калібрування транспортної моделі.

На практиці застосовуються різні методи збору даних інтенсивності транспортних потоків. Серед них можна виділити три основні: натурний, напівавтоматичний і автоматичний.

За натурним методом обстеження збір даних проводиться обліковцями транспортних потоків. За технологією проведення такого обстеження перед його початком обліковці проходять інструктаж, отримують комплект спеціально розроблених бланків обліку (рис. 7) і дізнаються про місце на встановлених ділянках мережі, на якому вони будуть проводити обстеження (пост).

За напівавтоматичним методом збір даних проводиться за допомогою мобільних відеокамер, що встановлюються у визначених місцях на мережі. Отримані відеоматеріали в подальшому обробляються вручну або з використанням спеціалізованого програмного забезпечення для проведення обліку транспорту.



Автоматичний спосіб дає змогу проводити збір і обробку даних без участі обліковців. У салоні рухомого складу громадського транспорту встановлюються спеціальні лічильники, які фіксують кількість пасажирів, що заходять і виходять, а також місце зупинки. Далі дані передаються на сервер і отримана інформація систематизується в базі даних.

У разі застосування напівавтоматичного способу, обстеження проводяться за допомогою мобільних додатків (наприклад, TransitWand) і передбачають перебування обліковця безпосередньо в рухомій одиниці. За цим типом обстежень обліковець, знаходячись в салоні транспортного засобу від початку до кінця маршруту, фіксує кількість пасажирів, що заходять і виходять на кожній зупинці, з автоматичною прив'язкою до геоданих. Отримані дані надсилаються на сервер для подальшого аналізу.

За результатами обстеження можна отримати дані про кількість пасажирів, які вийшли або зайшли на кожній зупинці та маршруті руху (рис. 8).

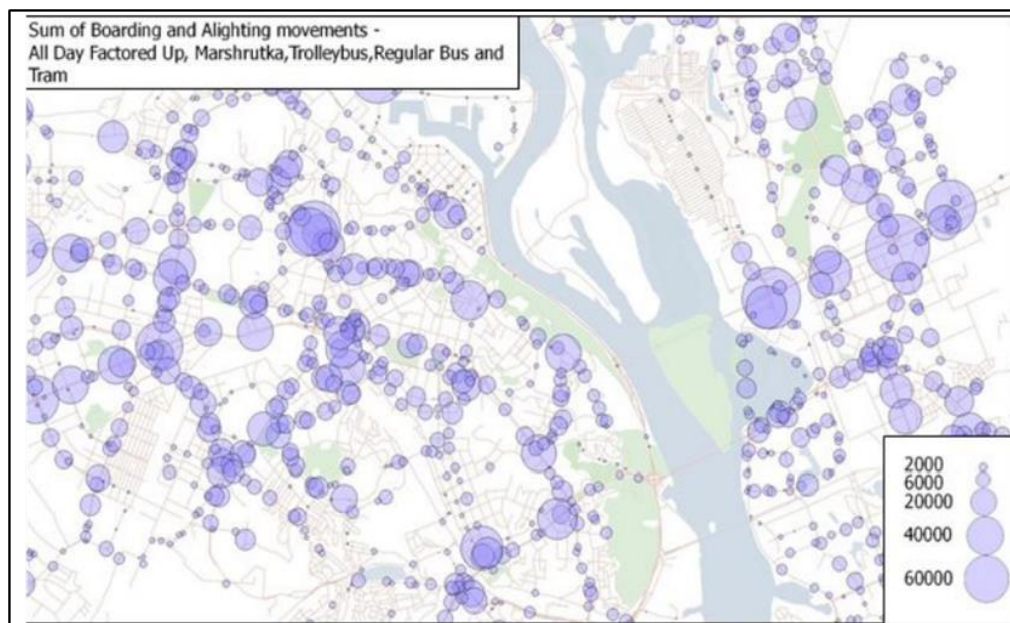


Рис. 8. Приклад представлення даних кількості пасажирів на зупинках транспорту загального користування

Для отримання якісних результатів про пасажиропотоки на маршрутах рекомендується проводити додаткові обстеження із заповненості рухомого складу і частоти руху. Для цього визначаються відповідні місця обстеження протягом заданого часового періоду з урахуванням охоплення маршрутів транспорту загального користування.

## *Лекція 7*

# МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОПИТУ. СТВОРЕННЯ ЦІЛЬОВИХ ПОЇЗДОК

### **План лекції**

1. Чотирьохкрокова модель розрахунку транспортного руху.
2. Шари попиту.
3. Матриці затрат і поняття функцій оцінки.

#### ***7.1. Чотирьохкрокова модель розрахунку транспортного руху***

Модель формування попиту – початковий етап розрахунку моделі транспортного попиту. Як вихідні дані використовуються дані демографічної та соціально-економічної статистики по районах. Для кожного шару попиту розраховуються сумарні обсяги відправлень і прибуттів.

Транспортний попит розраховується на підставі даних про кількість генеруючих і поглинальних потоків, затрат між транспортними районами і показників рухомості (загальна кількість переміщень, кількість переміщень певним видом транспорту, за цілями поїздки). Етапність виконання 4-крокової моделі розрахунку транспортного руху наведено у табл. 1.

Переваги використання саме цієї моделі пов'язані з тим, що вона досить точно описує всі етапи формування попиту на транспорт, надаючи змогу працювати з агрегованими даними без затрат як результатів моделювання. Це, зі свого боку, скорочує час розрахунку і дає змогу оцінювати більшу кількість сценаріїв за одиницю часу.

Обов'язковою умовою розробки 4-крокової моделі є розподіл і класифікація усіх поїздок за так званими шарами попиту, які отримуються за результатами соціологічного опитування.

### Етапність виконання 4-крокової моделі розрахунку транспортного руху

|   |  |
|---|--|
| 1. Утворення (генерація) транспортного руху | На етапі утворення транспортного руху розраховуються обсяги руху з джерела й обсяги руху до цілі для всіх транспортних районів, деталізовані за шарами попиту. Результатами розрахунку є підсумкові рядки і стовпці матриць кореспонденцій                 |
| 2. Розподіл транспортного руху по районах   | На етапі розподілу транспортного руху по районах розраховуються обсяги кореспонденцій між усіма транспортними районами, деталізовані за шарами попиту, але без деталізації за видами транспорту. Результатами розрахунку є елементи матриць кореспонденцій |
| 3. Вибір виду транспорту                    | На етапі вибору транспорту розраховуються матриці кореспонденцій, кожна з яких відповідає поїздом із використанням певного виду транспорту   |
| 4. Перерозподіл (вибір шляху) руху          | Розрахунок перерозподілу, диференційований за видами транспорту, дає змогу отримати модельні значення інтенсивності потоків. Етап перерозподілу є завершальним у циклі розрахунку попиту   |

#### 7.2. Шари попиту

Розрахунок обсягів кореспонденцій у транспортній моделі може проводитися за окремими шарами попиту. Поняття шару попиту тотожне поняттю цілі поїздки (на навчання, додому, поїздки по роботі тощо) і характеризує переміщення, що здійснюються окремою соціальною групою людей (групою однорідної поведінки) з єдиною метою (група кореспонденцій). Наприклад, група транспортного попиту «Дім-ВНЗ» може описувати переміщення, що здійснюються студентами з дому до вищих навчальних закладів. Переміщення різних шарів попиту можуть відрізнятися за дальністю, тривалістю, а також по-різному розподілятися за часом доби, тому для кожного шару попиту може розраховуватися окрема матриця кореспонденцій.

У моделі розраховуються такі показники:

- коефіцієнти утворення і тяжіння за кожним шаром попиту;
- тип функції оцінки затрат на переміщення і їх параметри за шарами попиту;
- розподіл (співвідношення) використання різних видів транспорту (громадський, індивідуальний та інші) загалом і за шарами попиту.

Коефіцієнт генерації (коефіцієнт тяжіння) – середнє число відправлень (прибуттів) за кожною групою транспортного попиту протягом певного періоду (зазвичай за добу), що припадає на одного представника референтної групи. Дані коефіцієнти є кількісними характеристиками транспортної поведінки людей у межах сфери моделювання і можуть бути розраховані на основі інформації з соціологічних опитувань населення про здійснені ними переміщення:

$$K_g = V_g / N_g,$$

де  $K_g$  – коефіцієнт утворення (тяжіння);  
 $V_g$  – кількість відправлень (прибуттів), референтної групи;  
 $N_g$  – кількість представників референтної групи.

### **7.3. Матриці затрат і поняття функцій оцінки**

Матриці затрат мають однакову розмірність із матрицями кореспонденцій (квадратні матриці з кількістю рядків і стовпців, які дорівнюють кількості транспортних районів) і описують затрати на переміщення між кожною парою районів з використанням різних режимів переміщень. Матриці затрат використовуються на етапі розрахунку кореспонденцій між районами і розподілу кореспонденцій за видами транспорту. Як затрати можуть виступати:

- час у дорозі за умови вільного потоку;
- час у дорозі з урахуванням затримок (заторів тощо);
- відстань;
- витрати палива;
- вартість проїзду й інше.

Функції оцінки розраховуються відповідно для кожного шару попиту і виду транспорту. Під час розрахунку попиту вони використовуються для визначення ймовірності здійснення поїздки залежно від величини витрат на це переміщення. Як функції оцінки у транспортній моделі можуть бути використані функції з різними математичними описами (рис. 9).



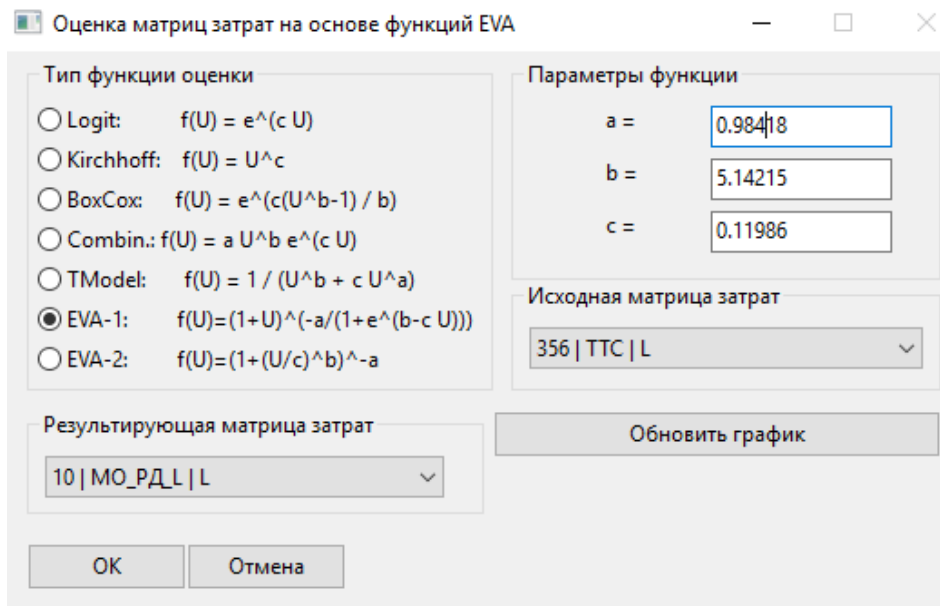


Рис. 9. Приклади функцій оцінки у транспортній моделі

## Лекція 8

### РОЗРАХУНОК МАТРИЦЬ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ. НАЛАШТУВАННЯ ПРОЦЕДУР РОЗРАХУНКУ

#### План лекції

1. Утворення (генерація) транспортного руху.
2. Розподіл транспортного руху по районах.
3. Вибір транспорту.
4. Модель перерозподілу (вибір шляху).
5. Ітераційність обчислень.

#### 8.1. Утворення (генерація) транспортного руху

Оцінювання кількості прибуттів і відправлень проводиться окремо для кожного шару попиту на підставі таких даних:

- про просторове розселення населення й інших об'єктів утворення й притягнення переміщень, що належать до даного шару попиту;
- про мобільність населення, тобто середню кількість поїздок у цьому шарі попиту, що здійснюються протягом визначеного проміжку часу.

Загалом послідовність розрахунку обсягів прибуття та відправлень така: з огляду на коефіцієнт мобільності та загальної кількості населення

оцінюють загальну кількість переміщень цього шару в моделі. Обсяги прибуттів і відправлень у всіх районах розраховують, розподіляючи загальну їх кількість між районами пропорційно оцінюванню просторового розміщення об'єктів утворення і притягнення. Зазначена послідовність розрахунків використовується для всіх шарів попиту без змін. Як оцінювання ємності районів можуть виступати різні соціально-економічні характеристики (наприклад, кількість робочих місць у різних видах економічної діяльності, торгові площі тощо).

Показники мобільності для різних шарів переміщень, характерних для умов України, можуть уточнюватися під час калібрування моделей, а також у міру накопичення даних досліджень мобільності і досвіду практичного транспортного моделювання.

Об'єктами, що генерують потоки вантажних кореспонденцій у містах і регіонах, є промислові підприємства, логістичні центри, сільськогосподарські та торгові об'єкти, об'єкти будівництва та сфери послуг, офіси, різні установи, а також населення (домогосподарства). Сумарні обсяги прибуттів і відправлень вантажних транспортних засобів можна розраховувати, виходячи з припущення про їх залежність від кількості робочих місць. У такому разі для робочих місць, пов'язаних із різними видами економічної діяльності (торгівля, промисловість тощо), застосовуються різні коефіцієнти утворення вантажного руху.

## ***8.2. Розподіл транспортного руху по районах***

Метою цього кроку розрахунку транспортного попиту є визначення обсягу кореспонденцій (числа поїздок/переміщень, обсягу кореспонденцій) між кожною парою транспортних районів у межах сфери моделювання.

Вихідними даними для розподілу транспортного руху по районах є значення вхідного і вихідного обсягу кореспонденцій по кожному району, отримані на попередньому кроці (утворення транспортного руху), а також дані про затрати на переміщення між кожною парою районів (матриці затрат). На етапі розподілу формуються дані щодо розподілу переміщень залежно від раніше розрахованих затрат за шарами попиту. На підставі цих даних будуються функції відносного розподілу поїздок. Під час розрахунку можуть використовуватися різні типи функцій розподілу із заданими параметрами (рис. 10).

Настройки    Граф функции

Тип функции

Модель Logit:  $f(U) = e^{(c U)}$

Модель Кирхгофа:  $f(U) = U^c$

Модель ВохСох:  $f(U) = e^{[c (U^b - 1) / b]}$

Комбинир:  $f(U) = a U^b e^{(c U)}$

Модель TModel:  $f(U) = 1 / (U^b + c U^a)$

Параметры

a:

b:

c:

Направленность распределения

Стыковано относ. объема транспортного потока из источника

Стыковано относ. объема транспортного потока в цель

двусторонне стыковано: уравнивание контрольных сумм за счет мульти-процедуры

Нормирование суммы матрицы по ...

Сумма объема тр. потока из источника

Сумма объемов тр. потока в цель

Среднее значение обеих сумм

Минимум обеих сумм

Максимум обеих сумм

Мульти-параметры

Максимальное число итераций:

Фактор качества:

Рис. 10. Функції розподілу за транспортними районами в моделі

Для розрахунку розподілу кореспонденцій за районами може використовуватися гравітаційна модель. Модель заснована на припущенні, що величина взаємодії пропорційна добутку показників значущості (обсяги переміщень, що входять і виходять) об'єктів і спадає зі зростанням «транспортної дальності» (вираженої у затратах) між ними.

### 8.3. Вибір транспорту

На цьому етапі розраховуються матриці кореспонденцій, кожна з яких відповідає поїздкам з використанням певного виду транспорту. Метою такого кроку є визначення обсягу кореспонденцій між усіма транспортними районами сфери моделювання на кожному виду транспорту.

Вихідними даними на етапі вибору транспорту є:

- матриці міжрайонних пасажирських кореспонденцій, розрахованих на етапі розподілу по районах;
- матриці затрат для кожного виду транспорту.

Вибір виду транспорту визначається як загальними закономірностями індивідуальних уподобань, так і суб'єктивними факторами. Загалом чинники, що впливають на вибір виду транспорту, можна розділити на три групи:

- характеристики відповідного виду транспорту (насамперед швидкість сполучення, дальність пішохідних підходів, тривалість очікування, пов'язаного з потребою в пересадці, вартість поїздки, тощо);
- соціально-економічний статус населення (наявність особистого автомобіля, рівень доходу, склад сім'ї, ділові або соціальні завдання, що вимагають використання автомобіля до, після або в робочий час тощо);
- характеристики поїздки (мета поїздки, час її виконання, наявність паркувальних майданчиків і вартість їх послуг у пункті призначення, наявність попутників та їх кількість тощо).

Ці чинники в моделі вибору виду транспорту входитимуть як незалежні змінні і формуватимуть частку населення, що користується тим чи іншим його видом. Для опису залежностей імовірності вибору виду транспорту можуть використовувати як емпіричні моделі, що розділяють попит між видами транспорту за найбільш релевантними факторами, так і моделі, засновані на ймовірнісному дискретному виборі, у яких як критерій вибору використовується максимізація корисності для користувача або мінімізація його витрат.

За результатами розрахунку цього етапу моделі отримані матриці міжрайонних кореспонденцій, які деталізовані за видами транспорту.

#### **8.4. Модель перерозподілу (вибір шляху)**

Розподіл кореспонденцій за конкретними шляхами в мережі, здійснений для всіх режимів переміщень з урахуванням їх взаємного впливу, дає змогу отримати модельні значення інтенсивності транспортних і пасажирських потоків на окремих ділянках мережі. Цей етап є завершальним у циклі розрахунку попиту.

Математично задача пошуку рівноважного розподілу пасажирських потоків зводиться до такої задачі математичного програмування:

$$\sum_i \int_0^{u_i} t_i(v) dv \rightarrow \min,$$

де  $u_i$  – сумарна інтенсивність руху на  $i$ -му відрізку;

$t_i(v)$  – функція, яка описує залежність узагальненої затрат за  $i$ -ним відрізком від цієї інтенсивності руху;

$u_{\pi}^{rq}$  – кореспонденція з району  $r$  в район  $q$ , розподілена на певний шлях  $\pi$ , яка з'єднує ці райони.

Існують різні підходи до розрахунку цього етапу, що відрізняються якістю результатів, швидкістю роботи алгоритму, його «збіжністю» і залежать від виду транспорту (громадський або індивідуальний).

### **8.5. Ітераційність обчислень**

Вищенаведений спосіб розрахунку має важливу особливість: розрахунок починається з визначення узагальнених затрат міжрайонних переміщень. Проте ці затрати залежать від результуючої завантаженості елементів транспортної мережі. Тому після розрахунку матриць і розподілу поїздок у мережі ми отримуємо різні затрати на міжрайонні переміщення на виході. Для того щоб описаний розрахунок був коректним, потрібно кілька разів циклічно повторити його кроки, починаючи з обчислення матриць затрат і закінчуючи розподілом кореспонденцій по мережі. У такому разі узагальнені затрати на кожній ітерації розраховуються з урахуванням завантаженості мережі, досягнутої на попередній ітерації (рис. 11).



Рис. 11. Послідовність розрахунку ітеративної моделі

На практиці, якщо розрахунок починається з «порожньої», незавантаженої мережі, рекомендується проводити принаймні 6 – 8 ітерацій циклу. Відповідна кількість ітерацій може бути зменшена до 2 – 3, якщо обчислення кожного нового калібрувального (або прогнозного) варіанта розрахунку починати не з порожньої мережі, а з матриць часових затрат, отриманих в іншому, уже завершеному розрахунку моделі. Ітераційний процес рекомендується завершувати, якщо зміна розрахункових значень інтенсивності на важливих ділянках не перевищує 3 – 5 %.

## *Лекція 9*

### КАЛІБРУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ

#### **План лекції**

1. Валідація, верифікація та калібрування транспортної моделі.
2. Розподіл транспортного руху за районами. Основні підходи до перевірки роботи моделі.
3. Основні підходи до перевірки роботи моделі.
4. Об'єкти калібрування.
5. Показники якості транспортної моделі.

#### ***9.1. Валідація, верифікація та калібрування транспортної моделі***

Процес підвищення якості транспортної моделі складається з послідовної оптимізації двох основних її складових:

- моделі транспортної пропозиції;
- моделі транспортного попиту.

У кожній групі верифікуються, валідуються і калібруються послідовно глобальні та локальні параметри, тобто параметри, характерні для всієї моделі, і параметри, розподілені в просторі.

Для перевірки якості роботи транспортної моделі використовуються такі етапи підвищення її якості:

- Верифікація. Мета етапу верифікації транспортної моделі полягає в перевірці логіки її роботи. На цьому етапі виконується перевірка відповідності отриманих результатів розрахунку транспортної моделі, набору вхідних параметрів, очікуваному результату. Для цього використовуються стандартні статистичні показники (коефіцієнт кореляції, середня абсолютна помилка, середньоквадратичне відхилення).

- Валідація. Метою етапу валідації транспортної моделі є оцінювання її здатності відповідати вибраним початковим значенням (натурним даним, аналітичним рішенням) для конкретної сфери застосування.

- Калібрування. Мета етапу калібрування транспортної моделі є досягнення ідентичності розрахункових і натурних характеристик функціонування транспортної системи. Калібрування визначається як процес відбору найкращого набору параметрів моделі.

Процес калібрування являє собою виконання розрахунку на транспортній моделі, що відображає поточну транспортну ситуацію в транспортній системі міста, порівняння результатів із даними, отриманими під час проведення натурних обстежень транспортних і пішохідних потоків і у разі виявлення розбіжностей, визначення й усунення їх причин. Під час цього процесу виконується серія обчислювальних експериментів із моделлю. Водночас коригуються певні характеристики і параметри для досягнення максимально можливого рівня відповідності розрахованих значень інтенсивностей натурним обстеженням.

Процес калібрування має бути детально задокументованим у відповідному розділі загального звіту про розроблення транспортної моделі.

## ***9.2. Основні підходи до перевірки роботи моделі***

Виділяють декілька підходів до перевірки роботи моделі, один із них полягає в оцінці загального розподілу часових витрат під час реалізації транспортного попиту, другий – в оцінці витрат часу між довільними точками міста.

Калібрування проводиться на кожному кроці чотирьохкрокової моделі (рис. 12):

- калібрування обсягів відправлень і прибуттів за районами і шарами попиту;
- калібрування розподілу і вибору режиму за шарами попиту (розподілу дальності і часу в дорозі за шарами попиту);
- калібрування перерозподілу індивідуального та громадського транспорту (вибір шляхів і відносне навантаження між конкуруючими ділянками мережі);
- калібрування перерозподілу індивідуального та громадського транспорту за окремими часовими горизонтами (годинні, пікові, дні тижня, пори року).

Для наочності дій на етапі калібрування потрібно змінювати тільки один параметр і перевіряти його вплив на результати розрахунку моделі. Якщо під час калібрування на той самий об'єкт впливають кілька параметрів, потрібно проводити кілька випробувань і вибрати оптимальний набір значень параметрів.

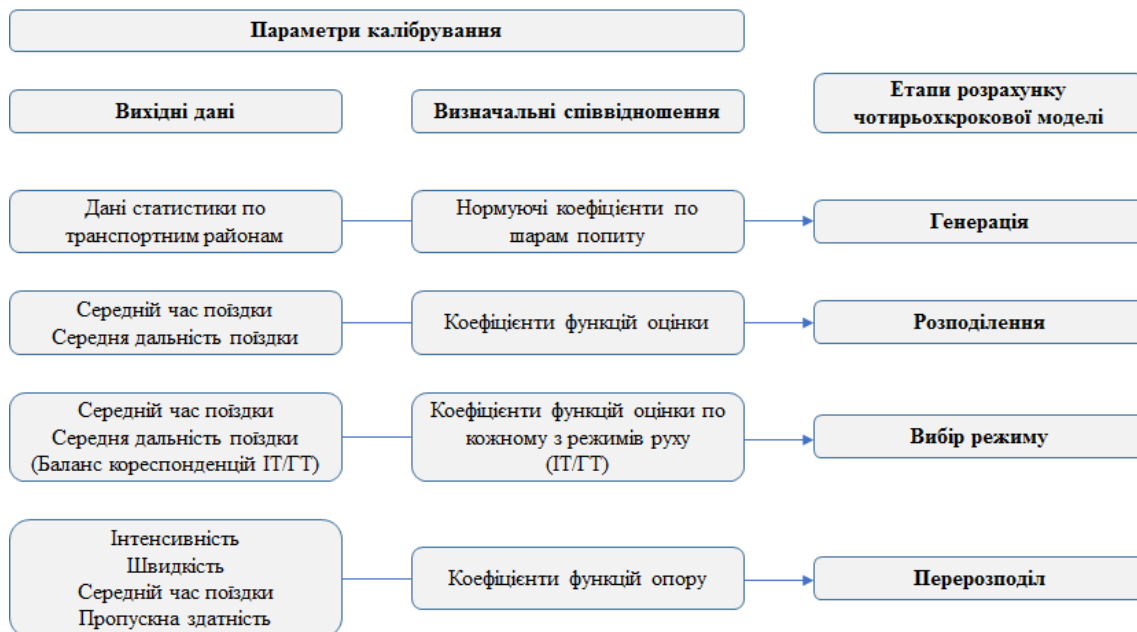


Рис. 12. Структура і послідовність заходів із калібрування транспортної моделі

Після введення вихідних даних у транспортну модель (організацію дорожнього руху, соціально-економічні дані по всій зоні моделювання тощо) і розрахунку транспортного попиту потрібно виконати перевірку результатів розрахунку транспортної моделі і визначити, наскільки точно вона відображає спостережувану ситуацію за величинами інтенсивностей транспортних потоків і пасажиропотоками на маршрутах транспорту загального користування, а також за умовами руху на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі.

### 9.3. Об'єкти калібрування

У процесі калібрування проводиться серія обчислювальних експериментів з моделлю, водночас змінюються певні характеристики або параметри моделі з метою досягнення максимально можливого рівня відповідності даних натурних обстежень розрахунковим значенням інтенсивності. За результатами обчислюються значення стандартного набору показників, що характеризують точність моделі.

Приклад загальних параметрів, використаних під час калібрування транспортної моделі, представлені в табл. 2.



**Об'єкти калібрування транспортної моделі**

| Об'єкт калібрування  | Зміна   |
|--|---|
| Дані структури просторового розвитку (ступеня утворення і тяжіння)   | Кількість переміщень за шарами і сегментами попиту  |
| Функції оцінки – параметри і вид функцій, які оцінюють імовірність здійснення поїздки залежно від довжини та/або часу в дорозі в моделях розподілу транспортного руху і вибору транспорту        | Розподіл тривалості та/або дальності поїздок і пропорції між легковим і громадським транспортом                   |
| Елементи головних діагоналей матриць затрат  | Зміна кількостей переміщень усередині району  |
| Швидкість і пропускна спроможність на відрізках  | Вибір шляху в разі перерозподілу  |
| Функції обмеження пропускної спроможності: параметри і вид функцій, що показують залежність затримок у дорозі від завантаження дороги (відношення інтенсивності руху до пропускної спроможності) | Вибір шляху в разі перерозподілу  |
| Місце розташування прив'язки примикань до мережі   | Вибір шляху в разі перерозподілу  |
| Частки вхідних/вихідних потоків, що припадають на кожне примикання, у загальному потоці транспортного району-джерела /району-цілі  | Зміна пропорцій розподілу потоків району, що виходить і входить на примиканнях, зміна шляхів у разі перерозподілу |

**9.4. Показники якості транспортної моделі**

Варто зазначити, що на сьогодні в Україні відсутня нормативна база, яка б визначала і регулювала основні показники якості транспортних моделей. Однак світовий досвід дає змогу виокремити загальноприйняті статистичні критерії, завдяки яким можна швидко оцінювати основні якісні параметри моделі:

- середня абсолютна помилка – середнє відхилення абсолютних значень (різниця між спостережуваним і розрахунковим значенням);
- середня відносна помилка – середнє відхилення абсолютних значень (різниця між розрахованими і спостережуваними значеннями) у відсотках;

- коефіцієнт кореляції – ступінь тісноти лінійного зв'язку між фактичними даними інтенсивності потоків на місцях підрахунку і розрахованим на основі моделі навантаженням. Він приймає значення в діапазоні від -1 до 1. Чим ближче значення коефіцієнта кореляції до 1, тим точніше ряд розрахункових значень навантаження апроксимує ряд фактичних даних інтенсивностей транспортних і пасажирських потоків, тобто модель точніше показує поведінку транспортного потоку;

- абсолютне значення RMSE (корінь середньоквадратичної похибки) – середньоквадратичне відхилення. Використовується для опису рівня дисперсії розрахованих і спостережуваних значень;

- відносне значення RMSE (корінь середньоквадратичної похибки) – відсоток середньоквадратичного відхилення.

У процесі перевірки розрахунків доцільно розрахувати показники тесту  $\chi^2$ -квадрат, які дають змогу перевірити, чи може відхилення множини дорівнювати деякому попередньо визначеному значенню. Для цього розрахунку використовується ГЕН-статистика (критерій Хейверса):

- для моделі «пікового» періоду:

$$G_r = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{0,5 * (M + C)'}}$$

де  $G_r$  – ГЕН-статистика за погодинною інтенсивністю руху;

$M$  – інтенсивність руху транспорту, отримана за результатами транспортного моделювання;

$C$  – інтенсивність руху транспорту за результатами обстежень;

- для моделі середньодобового періоду:

$$G_d = \sqrt{\frac{0,2M^2 - 0,4MC + 0,2MC^2}{M + C}},$$

де  $G_d$  – ГЕН статистика за добовою інтенсивністю руху.

Емпіричні правила щодо критеріїв відповідності вимогам ГЕН-статистики наведені в табл. 3.

**Критерії відповідності вимогам GEN статистики**

| Критерії          | Значення  |
|-------------------|---|
| $GEN < 5$         | Значення в нормі  |
| $5 \leq GEN < 10$ | Можлива помилка моделі або погані дані                                  |
| $GEN \geq 10$     | Попередження: висока ймовірність помилки моделі або невідповідних даних |

**Лекція 10****ЗБІР І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ. ОСНОВНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ****План лекції**

1. Візуалізація результатів моделювання індивідуального транспорту.
2. Візуалізація результатів моделювання громадського транспорту.
3. Основні критерії оцінки ефективності роботи вулично-дорожньої мережі міста.

**10.1. Візуалізація результатів моделювання індивідуального транспорту**

Результати транспортного моделювання дають змогу оцінювати і порівнювати між собою ефективність різних проектних рішень, виконувати техніко-економічне обґрунтування і можуть слугувати основою для екологічної оцінки проекту.

За результатами розрахунку процедури перерозподілу можна отримати обсяги інтенсивності руху індивідуального транспорту на вулично-дорожній мережі міста, завантаженість окремих елементів мережі, кількісні показники роботи транспортної мережі тощо. Приклад візуалізації картограми інтенсивності руху індивідуального транспорту наведено на рис. 13.

За допомогою моделі також можна аналізувати транспортну доступність різних територіальних одиниць міста з використанням як індивідуального, так і громадського транспорту. Приклад візуалізації

ізохрони доступності різних частин міста на індивідуальному транспорті від центру наведено на рис. 14.

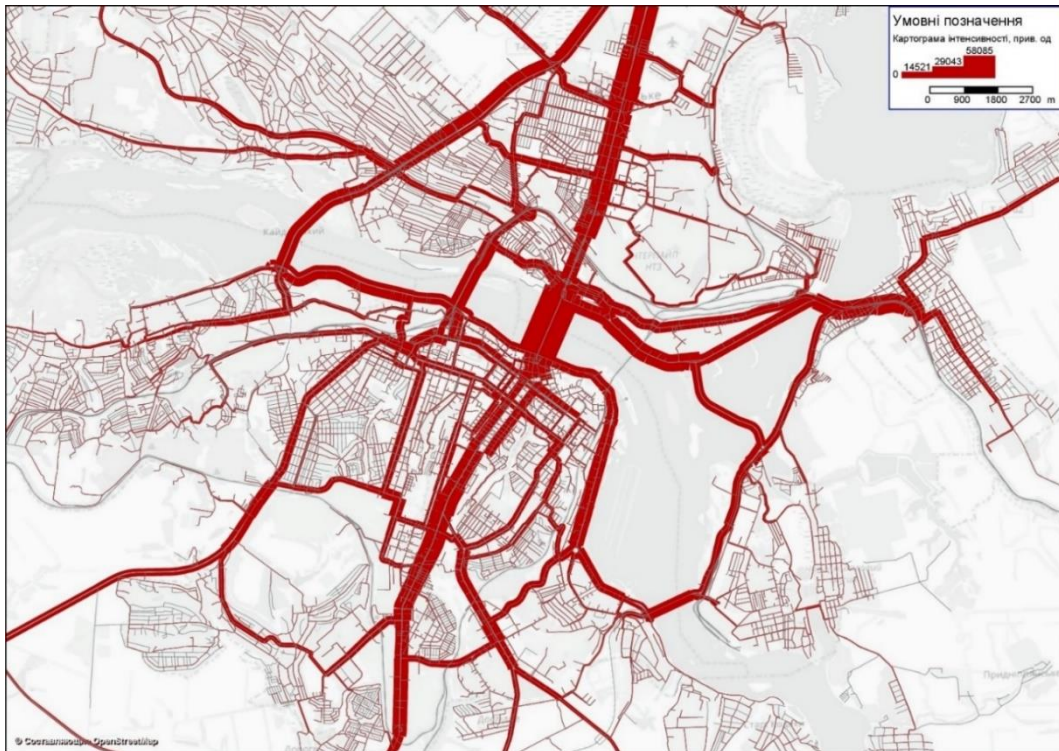


Рис. 13. Картограма інтенсивності руху індивідуального транспорту

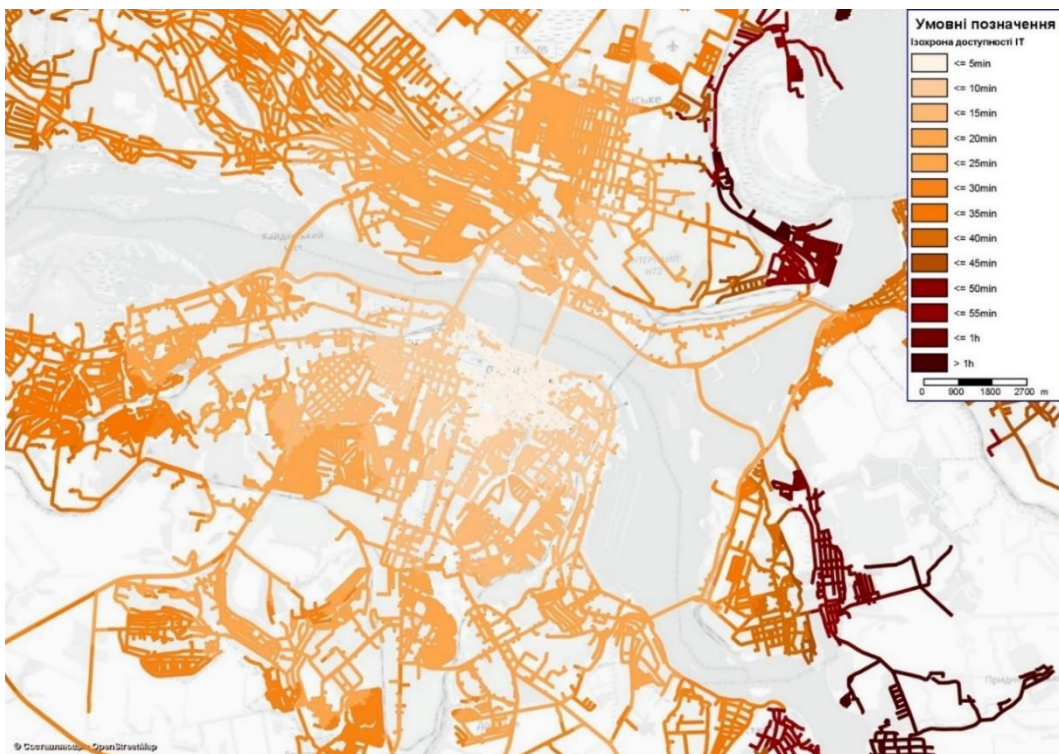


Рис. 14. Ізохрона доступності різних частин міста на індивідуальному транспорті від центру

## **10.2. Візуалізація результатів моделювання громадського транспорту**

За результатами розрахунку процедури перерозподілу можна отримати обсяги пасажиропотоку на маршрутах, зупинках транспорту загального користування, обсяг роботи пасажирського транспорту з деталізацією до окремих маршрутів і систем транспорт тощо. Також можна наочно візуалізувати деякі характеристики роботи пасажирського транспорту на вулично-дорожній мережі міст. Приклад візуалізації кількості маршрутів транспорту загального користування на окремих ділянках мережі наведено на рис. 15.

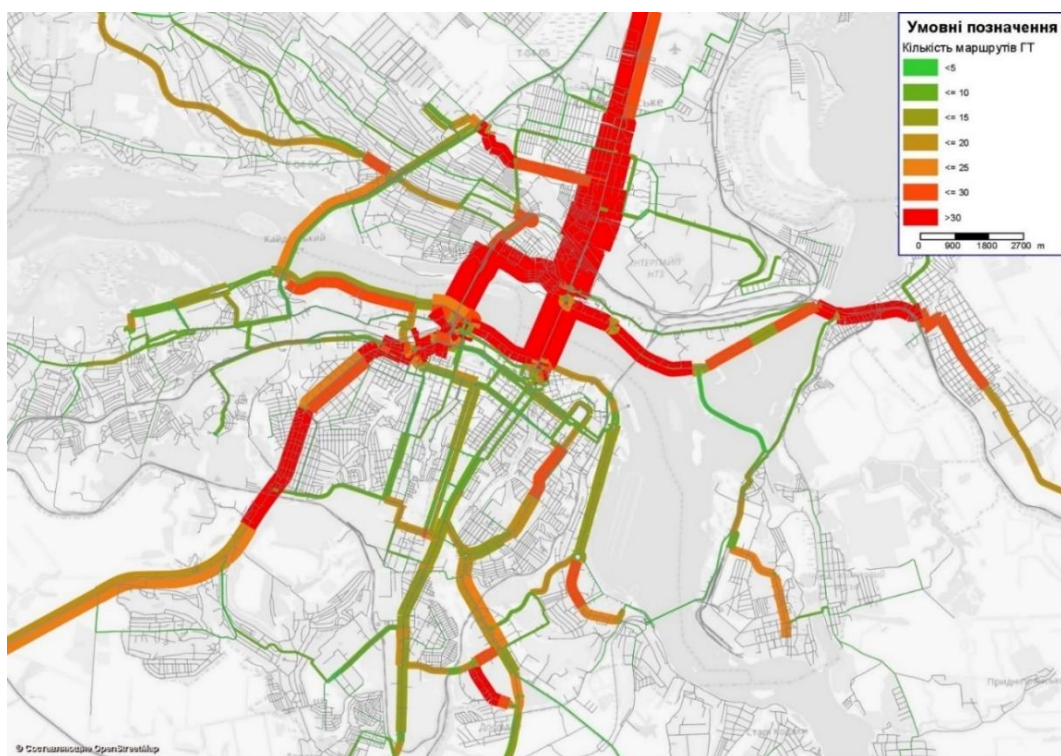


Рис. 15. Кількість маршрутів транспорту загального користування на окремих ділянках мережі

## **10.3. Основні критерії оцінки ефективності роботи вулично-дорожньої мережі міста**

За результатами розрахунку транспортної моделі можна отримати деякі транспортно-експлуатаційні показники роботи транспортної системи міста як індивідуального транспорту, так і транспорту загального користування, а саме:

- частоту пересадок на транспорті загального користування;
- тривалість реалізації кореспонденцій на індивідуальному

транспорті та транспорті загального користування;

- сумарний пробіг індивідуального транспорту;
- сумарний пробіг громадського транспорту;
- пасажиропотоки на маршрутах транспорту загального користування;
- середня тривалість поїздки;
- екологічні й енергетичні (витрата палива) показники роботи транспортної системи міста тощо.

Переглянути результати моделювання для індивідуального транспорту і транспорту загального користування можна через вкладку Списки в рядку меню (рис. 16).

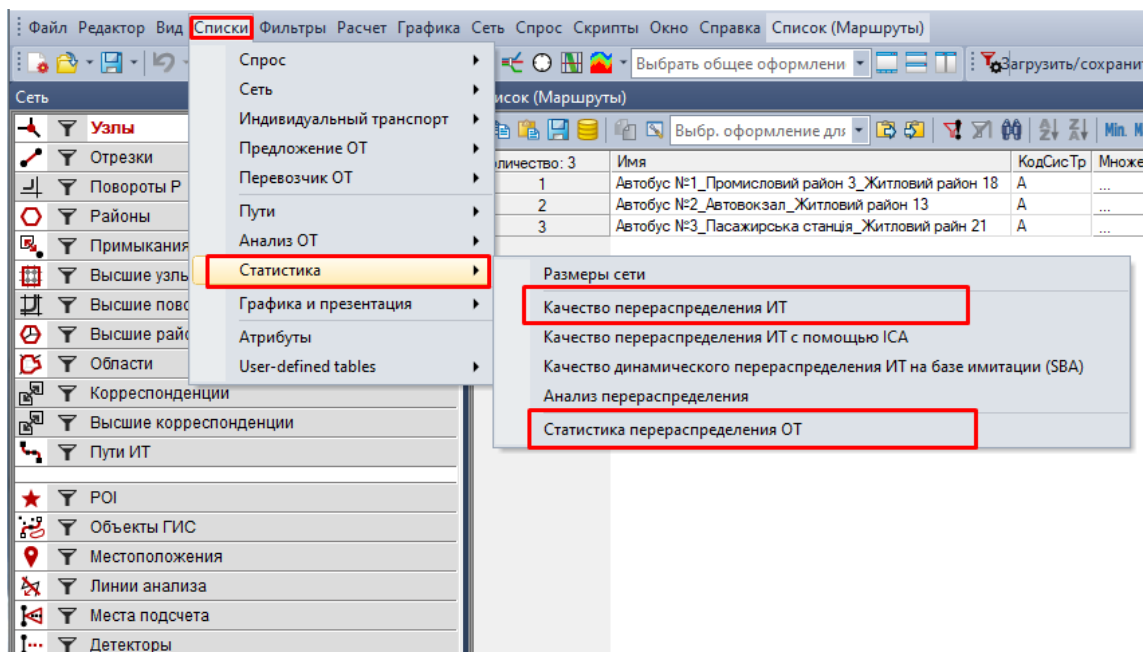


Рис. 16. Результаты моделирования для индивидуального транспорта и транспорта общего пользования

Результаты могут быть представлены в виде:

- электронных таблиц;
- картограм, диаграм тощо;
- базы данных модели с возможностью экспорта и дальнейшей обработки за допомогою інших програмних продуктів (наприклад, QGIS, Microsoft Excel тощо).

## Питання для самоконтролю.

1. Роль та місце транспортних моделей міст у оцінці ефективності прийняття управлінських рішень?
2. Які основні елементи моделі транспортного попиту?
3. Які основні етапи збору та аналізу даних щодо інтенсивності руху транспорту в контексті транспортного макромодельовання?
4. Яка мета і основні завдання соціологічного опитування?
5. Яка структура транспортної моделі?
6. Які основні підходи до калібрування транспортної моделі?
7. Які існують рівні транспортного моделювання?
8. Які вихідні дані використовуються для створення моделі транспортного попиту?
9. Які основні етапи розрахунку стандартної чотирьохкрокової транспортної моделі міста?
10. Що регламентує Комплексна схема транспорту як документ містобудівної документації?
11. Що таке кордонні кореспонденції та як вони застосовуються при розробці транспортної моделі?
12. Як виконується оцінка організації та безпеки руху транспорту і пішоходів на вулично-дорожній мережі міст?
13. Як виконується верифікація та валідація транспортної моделі?
14. Як виконується прогнозування інтенсивності руху транспорту на вулично-дорожній мережі міст?
15. Які основні принципи організації руху транспорту на вулично-дорожній мережі міст?
16. Які основні елементи моделі транспортної пропозиції?
17. Які основні параметри калібрування транспортної моделі?
18. Яка роль та місце вулично-дорожньої мережі при розробці Генерального плану міста?
19. Які основні показники результатів моделювання індивідуального транспорту і транспорту загального користування?
20. Які існують транспортні проблеми сучасного міста?
21. Яка роль соціологічного опитування при розробці транспортної моделі міста?
22. Як здійснюється розрахунок матриць затрат для індивідуального транспорту та транспорту загального користування?

## Список літератури

1. Планування та забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2019. – [Чинні від 2019–10–01]. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. – 177 с. (Державні будівельні норми України).
2. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2018. – [Чинні від 2018–09–01]. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 55 с. (Державні будівельні норми України).
3. Автомобільні дороги. Частина I Проектування. Частина II Будівництво: ДБН В.2.3-4-2015. – [Чинні від 2016–04–01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 104 с. (Державні будівельні норми України).
4. Споруди транспорту. Огородження дорожнє перильного типу. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.3-11-2004. – [Чинні від 2007–07–02]. – К. : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2004. – 12 с. (Національні стандарти України).
5. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять: ДСТУ Б А.1.1-100:2013. – [Чинні від 2014–04–01]. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 42 с. (Національні стандарти України).
6. Закон України «Про автомобільні дороги» № 2862-IV від 08.09.2005, Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2005, № 51, 556 с.
7. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» № 2276-VIII від 06.02.2018, Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 34, 343с.
8. Закон України «Про транспорт» № 901-VIII (901-19) від 23.12.2015: Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1994, № 51, 447с.
9. Буга П. Г., Шелков Ю. Д. Организация пешеходного движения в городах: учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. школа, 1980. — 232 с.
10. Інженерне обладнання та облаштування вулиць: навчальний посібник у 2 частинах / М. М. Осетрін, Т. О. Шилова, П. П. Чередніченко. – К. : КНУБА, 2011. – 96 с.
11. Інженерне облаштування міських вулиць та доріг: навчальний посібник / М. М. Осетрін, Т. О. Шилова, П. П. Чередніченко, А. Ю. Васильєва. – К. : КНУБА, 2022. – 188 с.



12. Транспортне планування міст: підручник /За заг. ред. В. П. Поліщука; О. В. Красильнікова, О. П. Дзюба. – К. : Знання України, 2014. – 371 с.
13. Дьомін М. М., Сингаївська О. І. Містобудівні інформаційні системи. Містобудівний кадастр. Первинні елементи структури об'єктів містобудування та територіального планування / Київськ. нац. ун-т будівництва і архітектури. – Київ : Фенікс, 2015. – 213 с
14. Осетрін М. М. Міські дорожньо-транспортні споруди: Навчальний посібник для студентів ВНЗ. – К. : ІЗМН, 1997. – 196 с.
15. Містобудування. Довідник проектувальника / За ред. Т. Ф. Панченко. Укрархбудінформ, 2001. – 192 с.
16. Управління розвитком міст: навчальний посібник / Є.Є. Ключниченко. – К. : КНУБА, 2015. – 160с.
17. Шештокас В. В. Город и транспорт / Шештокас В. В. – М. : Стройиздат, 1984. – 176 с.
18. Комплексна транспортна схема міста: методичні вказівки до виконання практичних занять та індивідуальної роботи для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації 192.102 «Міське будівництво і господарство» / Уклад.: М. М. Осетрін, В.П. Тарасюк, М. І. Дорош, Д. О. Беспалов, П. П. Чередніченко. – К. : КНУБА, 2021 – 104 с.
19. Транспортне імітаційне моделювання: методичні вказівки до виконання практичних занять і курсового проекту для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації 192.102 «Міське будівництво і господарство» / Уклад.: М. М. Осетрін, В. П. Тарасюк, М. І. Дорош, Д. О. Беспалов, П. П. Чередніченко. – К. : КНУБА, 2021 – 100 с.
20. JASPERS Appraisal Guidance (Transport), The Use of Transport Models in Transport Planning and Project Appraisal, 2014. Режим доступу: <http://www.jaspersnetwork.org>.
21. Department for Transport,). WebTAG: TAG Unit M1-1 Principle of Modelling and Forecasting. London, 2014. Режим доступу: <https://www.gov.uk/transport-analysis-guidance-tag> .
22. Transport and Infrastructure Council. Australian Transport Assessment and Planning Guidelines, T1, Travel Demand Modelling, 2016. Режим доступу: [https://www.atap.gov.au/sites/default/files/T1\\_Travel\\_Demand\\_Modelling.pdf](https://www.atap.gov.au/sites/default/files/T1_Travel_Demand_Modelling.pdf)

23. Глосарій статистичного управління Європейського Союзу  
<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>.
24. Wiedemann, R. Simulation des Strassenverkehrsflusses, Schriftenreihedes Instituts fur Verkehrswesen. University Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 1974.
25. Department for Transport. WebTAG: TAG Unit M2-1 Variable Demand Modelling. London, 2014. Режим доступу: <https://www.gov.uk/transport-analysis-guidance-tag>.
26. Department for Transport. WebTAG: TAG Unit M2-2 Base year matrix development. London, 2014. Режим доступу: <https://www.gov.uk/transport-analysis-guidance-tag>.
27. Department for Transport. TAG Unit M3-1 Highway Assignment Modelling. London, 2014. Режим доступу: <https://www.gov.uk/transport-analysis-guidance-tag>.
28. Department for Transport. TAG Unit M3-2 Public Transport Assignment Modelling. London, 2014. Режим доступу: <https://www.gov.uk/transport-analysis-guidance-tag>.
29. Ortúzar, J. and Willumsen, L. Modelling Transport 4th Edition. Wiley, 2011.
30. NCHRP. Report 765. Analytical Travel Forecasting Approaches for Project-Level Planning and Design. Washington, 2014. Режим доступу: [https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F14/AnalyticalTravelForecastingNCHRP765\\_091314.pdf](https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F14/AnalyticalTravelForecastingNCHRP765_091314.pdf).

Навчальне видання

## **ТРАНСПОРТНЕ МАКРОМОДЕЛЮВАННЯ**

Конспект лекцій

для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»,  
які навчаються за освітньою програмою  
«Міське будівництво та господарство»

Укладачі: **ОСЕТРІН** Микола Миколайович  
**ТАРАСЮК** Володимир Петрович  
**БЕСПАЛОВ** Дмитро Олександрович

Комп'ютерне верстання *Л.В. Лабунець*

Підписано до друку 22.03.2023. Формат 60 × 84 <sup>1/16</sup>

Ум. друк. арк. 2,79. Обл.-вид. арк 3,0

Електронний документ. Вид. № 6/І–23.

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.