

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

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

ТРАНСПОРТНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

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 Т. О. Шилова, 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 імітаційне моделювання : конспект лекцій /
М. М. Осетрін, В. П. Тарасюк, Д. О. Беспалов. – Київ : КНУБА,
2023. – 76 с.

Розглянуто основні принципи та засади щодо використання
транспортного імітаційного моделювання для обґрунтування
прийняття містобудівних рішень на вулично-дорожній мережі міст.

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

ВСТУП	4
Лекція 1. Вступ. Об'єкт, предмет і мета вивчення дисципліни	5
Лекція 2. Транспортні проблеми сучасного міста	8
Лекція 3. Місто як об'єкт транспортного моделювання	11
Лекція 4. Нормативне регулювання у сфері транспортного моделювання в Україні	14
Лекція 5. Роль і місце транспортного моделювання в оцінці ефективності прийняття рішень	17
Лекція 6. Програмні продукти для транспортного моделювання	20
Лекція 7. Збір, аналіз і оцінка поточного стану функціонування транспортної інфраструктури міста	23
Лекція 8. Підготовка схем організації дорожнього руху та циклограм світлофорного регулювання	27
Лекція 9. Розробка моделей транспортних вузлів залежно від принципу організації руху в їх межах	31
Лекція 10. Розробка моделей транспортних вузлів з організацією руху в різних рівнях	35
Лекція 11. Підготовка до розробки транспортної моделі	38
Лекція 12. Створення базової мікромоделі поточного стану (граф мережі)	41
Лекція 13. Паркувальний простір як об'єкт транспортного моделювання	45
Лекція 14. Створення базової мікромоделі поточного стану (типи та класи транспортних засобів)	48
Лекція 15. Створення базової мікромоделі поточного стану (світлофори, громадський транспорт)	52
Лекція 16. Верифікація та валідація моделі	55
Лекція 17. Калібрування моделі	58
Лекція 18. Візуалізація результатів моделювання	61
Лекція 19. Оцінка безпеки руху за допомогою SSAM	65
Лекція 20. Порівняльний аналіз ефективності проєктних рішень на основі результатів транспортного моделювання	68
Запитання для самоконтролю	72
Список літератури	74

ВСТУП

Вивчення дисципліни базується на знаннях, отриманих під час вивчення дисциплін «Міські дорожньо-транспортні споруди», «Планування та благоустрій міст», «Міські вулиці та дороги», «Інженерна підготовка міських територій» та інших. Засвоєння змістовних модулів дисципліни в подальшому сприятиме навчанню в аспірантурі, а також виконанню індивідуальної та магістерської робіт.

За результатами вивчення навчальної дисципліни студент повинен *знати*: принципи та методи оптимізації вибору інженерно-планувальних рішень перетинів з урахуванням транспортного моделювання, можливостей його використання для оцінки ефективності прийняття управлінських рішень, основні принципи та припущення транспортного моделювання, його цілі й результати, ключові ризики й виклики;

уміти: збирати й аналізувати дані для розробки мікромоделей перетинів міських вулиць; володіти основними навичками безпосередньої роботи з моделлю, зокрема, оцифрування вулично-дорожньої мережі, нанесення пішохідних зон, вирішення конфліктних зон і задання пріоритетів, задання вхідних потоків і маршрутів руху транспорту та пішоходів, внесення циклів світлофорного регулювання, а також, керуючись нормативно-правовими й містобудівними документами, використовуючи матеріали натурних обстежень, коригувати окремі проектні параметри вулично-дорожньої мережі, оцінювати ефективність запроєктованих заходів відповідно до базового варіанта, отримувати дані з розрахованих сценаріїв і візуалізувати результати проведених розрахунків.

У рамках вивчення дисципліни виконується індивідуальна робота, зорієнтована на використання транспортного імітаційного моделювання для обґрунтування прийняття містобудівних рішень на вулично-дорожній мережі міст.

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 та 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»

Дисципліна «Транспортне імітаційне моделювання» спрямована на отримання знань щодо використання транспортного імітаційного моделювання як інструмента обґрунтування і прийняття містобудівних рішень на вулично-дорожній мережі міст.

Дисципліна передбачає вивчення таких питань:

1. Роль і місце транспортного моделювання в оцінці ефективності прийняття рішень.
2. Збір, аналіз і оцінка поточного стану функціонування транспортної інфраструктури.
3. Принципи та методи вибору інженерно-планувальних рішень перетинів міських вулиць і доріг на основі засобів транспортного моделювання.
4. Розробка схем організації дорожнього руху та циклограм світлофорного регулювання.
5. Створення транспортних імітаційних мікромоделей поточного стану і прогнозних сценаріїв.
6. Проведення розрахунків за основними транспортно-експлуатаційними показниками та візуалізація результатів моделювання.
7. Розробка проектів оптимізації руху транспорту і пішоходів у межах міських вулиць і доріг на основі мікромоделювання транспортних і пішохідних потоків з використанням програмного комплексу PTV Vissim.
8. Основні критерії оцінки ефективності функціонування перетинів міських вулиць і доріг.

1.2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою дисципліни є забезпечення професійно-технічного розуміння та навиків робіт для обґрунтування вибору інженерно-планувальних рішень перетинів міських вулиць і доріг на основі мікромоделювання транспортних і пішохідних потоків за допомогою програмного комплексу PTV Vissim.

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

- збір, аналіз і оцінка поточного стану функціонування транспортної інфраструктури, у тому числі об'єктів пішохідної та велосипедної інфраструктури;
- обґрунтування вибору інженерно-планувальних рішень транспортних вузлів на вулично-дорожній мережі міста з використанням інструментів транспортного моделювання;
- візуалізація (у т. ч. в режимі 3D) ділянки вулично-дорожньої мережі міста зі всіма учасниками дорожнього руху (легкові авто, вантажівки, громадський транспорт, пішоходи, велосипедисти);
- розрахунок за основними техніко-експлуатаційними показниками функціонування наявної мережі та порівняльна оцінка кількох проєктних варіантів щодо змін в її межах ще на стадії проєктування;
- визначення основних критеріїв оцінки ефективності функціонування перетинів міських вулиць і доріг на основі мікромоделювання транспортних і пішохідних потоків за допомогою програмного комплексу PTV Vissim;
- визначення переваг і недоліків (вузьких місць) кожного з варіантів змін вулично-дорожньої мережі;
- проведення оцінки транспортної ефективності запропонованих заходів із використанням кількісних значень і графічних матеріалів, отриманих за результатами моделювання.

Об'єкт вивчення – ділянка вулично-дорожньої мережі міста.

Предмет вивчення – транспортне імітаційне моделювання як інструмент обґрунтування прийняття містобудівних рішень на вулично-дорожній мережі міст.

За результатами вивчення дисципліни студенти отримують практичні навички щодо перевірки й оцінки ефективності проєктних

рішень на вулично-дорожній мережі міст за допомогою інструмента транспортного імітаційного моделювання.

1.3. Основні терміни

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

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.

Детальна транспортна модель – клас транспортних моделей, що використовується, як правило, для оцінювання ефективності проєктних рішень щодо дорожньої інфраструктури для перетинів або їх групи, коридорів, транспортно-пересадкових вузлів, площ, де потрібно провести детальний аналіз взаємодії всіх учасників дорожнього руху (транспортні засоби, пішоходи, велосипедисти).

Інтенсивність руху – кількість транспортних засобів, пішоходів або велосипедистів, які перетинають переріз смуги руху, вулиці, дороги, тротуару, пішохідної або велосипедної доріжки, пішохідного переходу або велосипедного переїзду за одиницю часу.

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

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

Область аналізу (моделювання) – визначена територія, у межах якої проводитиметься транспортне моделювання.

Транспортне моделювання – математичне моделювання транспортних потоків із використанням спеціалізованого програмного забезпечення для транспортного моделювання з метою планування, проєктування й керування транспортними системами.

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

Лекція 2

ТРАНСПОРТНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОГО МІСТА

План лекції

1. Сучасне місто як об'єкт планування.
2. Проблема підвищення мобільності населення в містах.
3. Екологічні проблеми міст в Україні.

2.1. Сучасне місто як об'єкт планування

Розвиток міста враховує вирішення не тільки архітектурно-планувальних завдань і проблем інженерного обладнання освоєваних територій, але й удосконалення транспортної системи міста, у тому числі вулично-дорожньої мережі.

Однією з причин виникнення транспортних проблем у містах є те, що розвиток міст і транспорту протягом століть здебільшого проходив хаотично, без урахування перспективного зростання населення, економіки й інфраструктури міст. У процесі розвитку міст не завжди можна було передбачити момент суттєвого впливу кількісних характеристик міста на його функціонування. Крім того, значна кількість переміщень у певні години доби (так звані години пік) створює дисбаланс попиту і пропозиції у транспортній системі міста, адже в ці години одночасно треба пропустити велику кількість транспортних засобів, які в інші години використовуються лише частково. Як наслідок, окремі ділянки вулично-дорожньої мережі характеризуються «надлишковою» пропускнуою здатністю в позапікові періоди і її нестачею в періоди максимального транспортного навантаження.

У багатьох історичних містах часто виникає потреба в улаштуванні магістральних вулиць зі значним транспортним навантаженням у частині міста, де зосереджені визначні історичні й культурні пам'ятки. Це призводить до руйнування цінних будівель і споруд, що впливає на зменшення туристичного потенціалу міста, погіршення екологічної ситуації тощо.

2.2. Проблема підвищення мобільності населення в містах

В умовах стрімкого розвитку все більше міст стикаються з низкою проблем, що роблять їх непривабливими й некомфортними для життя. Підвищення рівня індивідуальної автомобілізації, збільшення шкідливих викидів в атмосферу, погана якість і зношеність інфраструктури, неконтрольоване паркування – усе це призводить до перевантаження транспортної мережі, забруднення навколишнього середовища, зниження якості обслуговування, що зрештою виливається у проблему неефективного функціонування транспортної системи міст. Для вирішення подібних проблем ще минулого століття в Європі почали розробляти плани сталої міської мобільності. Наразі українські міста переймають європейський досвід для вирішення проблем, з якими вони стикнулися.

На відміну від країн Європи, в Україні вектор планування сталої міської мобільності на законодавчому рівні сьогодні не регламентується, проте варто виділити основні міжнародні документи, які підкреслюють важливість упровадження принципів сталої міської мобільності в Україні, а саме це:

- Угода про асоціацію України з Європейським Союзом;
- Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату;
- Резолюція «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року»;
- Нова програма розвитку міст;
- Лейпцизька хартія «Міста Європи на шляху сталого розвитку».

Важливим етапом для України стало підписання Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, яку було ратифіковано Законом України

№ 1678-VII від 16.09.2014. Угодою передбачено, що Україна розвиватиме сталу національну транспортну політику, яка охоплює всі види транспорту й забезпечує ефективну та безпечну транспортну систему.

В Україні намагаються виконувати взяті на себе зобов'язання зазначеними документами, зокрема Угодою про Асоціацію України з ЄС, проте національне законодавство все ще потребує значних узгоджень.

Угода про асоціацію є підставою для перегляду, доповнення чи внесення змін до законів і підзаконних актів.

На національному рівні основним системним програмним документом розвитку транспорту враховуються світові тенденції, що відповідають принципам сталої міської мобільності, а саме:

- стимулювання використання більш екологічно чистих транспортних засобів;
- забезпечення транспортної доступності для населення;
- стримування розвитку мобільності завдяки громадському транспорту, велосипедному та пішохідному руху.

Важливо зазначити, що положення щодо сталого розвитку мобільності передбачені стратегією не лише для сектору «Транспорт і міська мобільність», а також для секторів «Туризм», «Соціальна підтримка і допомога», «Охорона здоров'я та здоровий спосіб життя», «Публічний простір» і «Безпека та цивільний захист».

2.3. Екологічні проблеми міст в Україні

Швидке зростання міст – один із найважливіших викликів XXI століття. Протягом останнього сторіччя наш світ швидко ставав переважно міським. Самі ж міста є уособленням найгостріших суспільних проблем – таких різноманітних, як безробіття, зміна клімату й погіршення стану довкілля.

2016 року Міжнародна енергетична агенція опублікувала спеціальний звіт про стан забруднення повітря. 50 % усіх світових викидів припадає на транспорт. За даними Державного управління статистики України, у Києві транспорт спричиняє 87 % забруднення повітря. Важливо розуміти, що запровадження сталої політики у сфері транспорту не лише впливатиме на покращення стану довкілля на території населеного пункту, а й на вищому рівні стане внеском муніципалітету в процеси нормалізації стану екосистеми планети Земля та зупинення глобального потепління.

Розроблено та прийнято на місцевому рівні також і галузеві концепції для створення відповідних інституційних умов, інфраструктури, стимулювання міської адміністрації розробляти й реалізовувати програми розвитку міської інфраструктури згідно з міжнародними критеріями сталого розвитку і створення «міста для людей». Ці концепції відповідають цілям сталого розвитку міст і є підґрунтям для розвитку сталої міської мобільності.

У зв'язку із цим містопланувальники повинні вміти аналізувати й оцінювати екологічну ситуацію в містах, пропонувати й обґрунтовувати інженерні рішення щодо змін у транспортній системі міст, у тому числі з використанням інструментів транспортного імітаційного мікромодельювання, завдяки яким можна зменшити негативний екологічний вплив на міське середовище.

Лекція 3

МІСТО ЯК ОБ'ЄКТ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

План лекції

1. Місто як об'єкт транспортного моделювання.
2. Оцінка ступеня розвитку вулично-дорожньої мережі міста.
3. Взаємозв'язок і взаємовплив транспортного моделювання на макро- і мікрорівнях.

3.1. Місто як об'єкт транспортного моделювання

Сучасний стан і якість роботи автомобільного транспорту багато в чому визначаються ефективністю роботи міського транспорту на вулично-дорожній мережі міст. Від якісних показників його роботи залежать формування міського середовища, економічний розвиток міст, рівень комфортності й умов життєдіяльності людей у населених пунктах країни.

У світі сучасних інформаційних технологій під час планування й аналізу елементів вулично-дорожньої мережі, здійснення різноманітних техніко-економічних розрахунків, поліпшення організації руху й оптимізації системи маршрутів суспільного транспорту неможливо обійтися без інструмента імітації руху транспортного потоку за допомогою спеціальних комп'ютерних програм. Імітаційне моделювання динаміки транспортного потоку з використанням комп'ютерних програм значно спрощує процес його вивчення й контролю, дає змогу наочно уявити рух кожного окремого автомобіля в потоці, оцінити ефективність прийнятих рішень, спрямованих на поліпшення організації руху.

Планування розвитку вулично-дорожньої мережі міст, а також розташування вулиць і доріг має здійснюватися у складі генерального плану розвитку міста та комплексної схеми міста, відповідно до нормативів містобудівного проектування, правил землекористування та забудови, містобудівних регламентів, містобудівних планів земельних

ділянок, з урахуванням розташування елементів планувальної структури (кварталів, мікрорайонів, інших елементів) і щільності їх забудови.

3.2. Оцінка ступеня розвитку вулично-дорожньої мережі міста

Вулично-дорожня мережа (ВДМ) міста складається з доріг, вулиць, проспектів, площ, провулків, набережних, транспортних інженерних споруд (тунелів, шляхопроводів, мостів, підземних і надземних пішохідних переходів), трамвайних колій, тупикових вулиць, проїздів і під'їздів, паркувань і стоянок. Проїзди, розташовані на територіях житлових кварталів, торговельних центрів та інших об'єктів, які є об'єктами загального користування, не є частиною ВДМ, проте їх також рекомендується проектувати відповідно до положень цих рекомендацій.

ВДМ є одним з основних елементів планувальної структури міст і має забезпечувати:

- найкоротші транспортні зв'язки між місцями проживання, застосування праці й об'єктами культурно-побутового тяжіння, центром міста та центрами планувальних районів із відповідними швидкостями сполучення (що забезпечують нормативні витрати часу на транспортні пересування);
- найкоротші зв'язки між вантажогенеруючими та вантажопритягувальними об'єктами;
- безпеку та зручність руху пішоходів, велосипедистів і транспортних засобів;
- зручні зв'язки зі спорудами зберігання та технічного обслуговування автомобільного й іншого транспорту;
- зручні зв'язки із зовнішньою мережею автомобільних доріг і спорудами інших видів зовнішнього транспорту (аеропортами, залізничними станціями, морськими та річковими портами);
- надійність функціонування всіх елементів вулично-дорожньої мережі міст із можливістю швидкого перерозподілу транспортних потоків у разі виходу з експлуатації окремих ділянок мережі;
- відповідність пропускнуої здатності вулиць і доріг перспективної інтенсивності руху;
- можливість раціонального прокладання інженерних мереж і комунікацій у складі вулично-дорожньої мережі;

- допустимі рівні шуму й загазованості атмосферного повітря прилеглих територій.

Під час проектування вулиць і доріг населених пунктів (далі вулиць і доріг) потрібно забезпечувати задоволення споживчих вимог щодо пересування й доступу до об'єктів нерухомості, створення безпечного і сприятливого для життя людей навколишнього середовища, у тому числі формування балансу цих вимог.

3.3. Взаємозв'язок і взаємовплив транспортного моделювання на макро- і мікрорівнях

За весь час розвитку теорії транспортних потоків з'явилося безліч способів математичного опису процесів поведінки як потоків загалом, так і окремих автомобілів і їх взаємодії між собою і транспортною інфраструктурою. Багато методів набули широкого поширення на практиці для моделювання поведінки транспортних потоків з метою прогнозування й оцінки їх параметрів. Найявні методи моделювання використовують різний математичний апарат, ґрунтуються на різних припущеннях, мають різний ступінь деталізації і характеризуються різними функціональними властивостями, недоліками і перевагами.

Транспортна модель залежно від масштабу завдань може охоплювати територію від цілого регіону до окремого перехрестя. Рівень деталізації та клас точності моделі повинні відповідати меті, для якої модель призначена. Залежно від потрібного ступеня деталізації опису потоків і точності одержуваних параметрів вибирається відповідний клас моделі.

Транспортна модель дає змогу підвищити обґрунтованість управлінських рішень на стратегічному, тактичному й оперативному рівнях управління дорожнім рухом.

Стратегічний рівень моделювання охоплює весь регіон моделювання із зовнішніми зв'язками. Його головне завдання – відображення і прогнозування балансу між попитом на транспортні послуги й можливостями його задоволення різними видами транспорту. Дані про економічний і соціально-економічний розвиток регіону дають змогу прогнозувати можливу зміну якості транспортного обслуговування бізнесу й населення і на цій підставі приймати стратегічні рішення щодо розвитку тих чи інших видів транспорту, транспортних терміналів і реалізації великих будівельних проєктів у житловій і промисловій сферах.

Моделювання на тактичному рівні забезпечує обґрунтоване прийняття рішень з модернізації транспортної мережі, удосконалення організації дорожнього руху, а також дає змогу виконувати оцінку наслідків від закриття окремих ділянок для виконання ремонтних робіт, масових заходів тощо.

На оперативному рівні основна увага приділяється детальному аналізу пропускну́ї спроможності окремих транспортних зв'язків і перетинів, а також впливу режимів регулювання в автоматизованих системах контролю дорожнього руху й інтелектуальних транспортних системах, зокрема і в режимі онлайн, якщо модель включено в контур управління.

Лекція 4

НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В УКРАЇНІ

План лекції

1. Сучасний стан нормативного регулювання у сфері транспортного моделювання в Україні.
2. Основні напрями використання транспортного моделювання у проєктній діяльності.
3. Перспективи розвитку транспортного моделювання в Україні.

4.1. Сучасний стан нормативного регулювання у сфері транспортного моделювання в Україні

Чинне законодавство й галузева нормативна документація регламентують вимоги до проєктування, організації дорожнього руху, визначають склад і зміст проєктної документації, проте не надають чіткої методології щодо обґрунтування вибору інженерно-планувальних рішень транспортних вузлів. П. 4.7 ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» регламентує використання транспортного моделювання для прогнозування інтенсивності руху транспорту і пішоходів на вулично-дорожній мережі міст. П. 10.6 ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» передбачає використання транспортного моделювання для обґрунтування проєктних рішень з метою розроблення комплексної схеми організації дорожнього руху, а п. 10.7 – для прогнозування інтенсивності руху індивідуального транспорту, а також пасажирських пересувань і вантажних кореспонденцій. Перша редакція проєкту змін № 2 ДБН В.2.3-4-2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проєктування.

Частина II. Будівництво» враховує включення транспортного моделювання для проектування основних елементів автомобільних доріг (розділи 5 і 9).

Проте ці нормативні документи не пропонують конкретного порядку застосування транспортного моделювання у проєктній діяльності та вимог до якості транспортних моделей. Першим кроком у цьому напрямі була підготовка методичних рекомендацій з моделювання транспортних потоків для оцінювання ефективності проєктних рішень щодо дорожньої інфраструктури, розроблених державним підприємством «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» у 2022 році. Ці методичні рекомендації встановлюють методи моделювання транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування й вулиць і доріг населених пунктів для оцінювання ефективності проєктних рішень щодо дорожньої інфраструктури та можуть бути використані органами управління дорожнім господарством, дорожньо-експлуатаційними організаціями й підприємствами, проєктними й науковими організаціями.

4.2. Основні напрями використання транспортного моделювання у проєктній діяльності

Методи моделювання, що застосовуються, повинні враховувати особливості поставлених завдань, а вихідні дані – дати змогу оцінювати ступінь досягнення зазначених цілей. Застосування транспортних моделей можливе для:

- отримання вихідних даних для вирішення завдань проєкту;
- аналізу ефективності проєктних рішень;
- прогнозування змін навантаження на мережу.

Ключовою класифікаційною ознакою різних методів моделювання є спосіб опису об'єкта моделювання. Об'єктом моделювання є транспортний потік, і за способом його опису можна виділити моделі формування попиту (travel demand models) і моделі безпосередньо транспортних потоків (traffic flow models). Перший тип моделей дає тільки кількісну характеристику – обсяг руху або рівень попиту з поділом на різні види транспорту, а другий описує взаємозв'язки внутрішніх параметрів потоку й показників роботи ділянок мережі. Основною класифікаційною ознакою є також тип транспорту і кореспонденцій, з цього погляду поділ охоплює моделі

пасажирських і вантажних кореспонденцій, а також моделі пішохідних потоків.

З погляду підходу до опису процесу формування людських і матеріальних потоків моделі формування попиту можна розділити на агреговані і дезагреговані.

Агрегована модель оцінює обсяг поїздок на підставі узагальнених параметрів кожного транспортного району, таких як кількість жителів, структура населення, кількість місць прикладання праці, рівень автомобілізації, транспортна рухливість населення, наявність і характеристики вантажогенеруючих об'єктів тощо.

Дезагреговані (activity-based models), або поведінкові, моделі припускають, що транспортні потреби жителів визначаються потребою брати участь у певній діяльності в різний час і в різних місцях. Кожне домогосподарство або навіть окремих жителя розглядається як одиниця, здатна приймати рішення. Конкретна транспортна поведінка визначається з огляду на прагнення мінімізувати витрати і максимізувати вигоди від різної діяльності. У цьому типі моделей застосовується математичний апарат методів умовної оптимізації та теорії дискретного вибору.

4.3. Перспективи розвитку транспортного моделювання в Україні

Транспортне моделювання являє собою визнаний інструмент вирішення інженерних і управлінських завдань у сфері стратегічного планування, розвитку транспортної інфраструктури міста. Останніми роками транспортне моделювання в Україні набуває все ширшого застосування у проєктній і управлінській діяльності. Безумовно, цьому сприяють розробка і впровадження нормативно-методичних документів з моделювання.

Найчастіше в Україні транспортні моделі використовують для:

- моделювання наявних і прогнозованих інтенсивностей руху транспорту і пасажиропотоків на маршрутах транспорту загального користування;
- оцінки наслідків реалізації рішень щодо зміни елементів транспортної інфраструктури, у тому числі циклів світлофорного регулювання, зменшення/збільшення пропускної здатності на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі, влаштування транспортних вузлів у різних рівнях тощо;

- обґрунтування пропозицій черговості будівництва об'єктів транспортної інфраструктури;
- оптимізації роботи громадського транспорту;
- оцінки впливу об'єктів житлового й комерційного будівництва на транспортну доступність населення прилеглих територій.

Водночас варто відзначити, що більшість сучасної наукової та навчально-методичної літератури з транспортного планування й моделювання підготовлено іноземними науковими інституціями і така література відсутня у відкритому доступі в мережі Інтернет, що значно звужує можливості для ознайомлення з нею широкого кола українських спеціалістів. Як наслідок, на сьогодні в Україні існує гостра нестача якісної навчальної літератури з транспортного планування й моделювання державною мовою.

Лекція 5

РОЛЬ І МІСЦЕ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

План лекції

1. Історія становлення та розвитку транспортного моделювання.
2. Перспективні напрями використання інструментів транспортного мікромоделювання.
3. Основні принципи функціонування мікромоделей транспортних потоків.

5.1. Історія становлення та розвитку транспортного моделювання

Основи математичного моделювання закономірностей дорожнього руху закладено 1912 року професором Г. Д. Дубеліром. Першорядним завданням, що послужило розвитком моделювання транспортних потоків, став аналіз пропускної здатності магістралей і перетинів. Під пропускною здатністю розуміють максимально можливе число автомобілів, що може пройти через перетин дороги за одиницю часу. У спеціальній літературі зустрічаються такі модифікації поняття пропускної здатності, як теоретична, номінальна, ефективна, власна, практична, фактична й інші. Пропускна здатність є найважливішим критерієм оцінки якості функціонування шляхів сполучення.

Першу макроскопічну модель, у якій рух транспортного потоку розглядався з позицій механіки суцільного середовища, запропоновано 1955 року Лайтхіллом (Lighthill) і Уїземом (Whitham). Вони показали, що методи опису процесів перенесення в суцільних середовищах можуть бути використані для моделювання заторів.

У 60–70-ті роки знову виник інтерес до дослідження транспортних систем. Ця зацікавленість виявилася, зокрема, у фінансуванні численних контрактів, звертанні до авторитетних учених – фахівців у сферах математики, фізики, процесів керування, таких як нобелівський лауреат І. Пригожин, фахівець з автоматичного керування М. Атанс, автор фундаментальних робіт зі статистики Л. Брейман. У СРСР рух автотранспорту активно вивчався наприкінці 70-х років у зв'язку з підготовкою до Олімпійських ігор 1980 року в Москві. Результати цих досліджень неодноразово доповідалися на науково-дослідному семінарі І. Н. Зверєва на механіко-математичному факультеті МДУ ім. М. В. Ломоносова.

Сьогодні є велика кількість літератури з вивчення й моделювання автотранспортних потоків. Кілька академічних журналів присвячені виключно динаміці автомобільного руху. Найбільш великими є Transportation Research, Transportation Science, Mathematical Computer Simulation, Operation Research, Automatica, Physical Review E, Physical Reports. Кількість статей, що публікується в них, обчислюється сотнями.

Наприкінці 80-х – на початку 90-х у США проблеми дослідження транспортних систем були зведені в ранг проблем національної безпеки. До рішення цього завдання були залучені кращі «фізичні розуми» і комп'ютерна техніка Національної дослідницької лабораторії Лос-Аламос — Los Alamos National Lab (LANL).

5.2. Перспективні напрями використання інструментів транспортного мікромоделювання

Проблему утворення передзаторних і заторних ситуацій до кінця ще не вивчено. От кілька цитат зі статті «Studying the ebb and flow of stop-and-go; Los Alamos Lab using cold war tools to scrutinize traffic patterns alan sipress washington post staff writer» Thursday, August 5, 1999, <http://www.science.com>:

- «Стан справ у цій сфері на сьогодні такий, що, не дивлячись на значний прогрес, повного розуміння природи автомобільних пробок ще не

досягнуто». Учені говорять, що вони поки перебувають ближче до розуміння процесів зародження Всесвіту, чим утворення автомобільних заторів.

- «Фізика пропонує широке розмаїття методів для пояснення руху. Але все ще залишається багато відкритих проблем», – говорить німецький фізик Кай Нагель (Kai Nagel), ключова фігура у проєкті Лос-Аламоса (LANL).

- «Причина раптового переходу від режиму вільного руху до режиму старт-стоп залишається однією з таємниць нашого часу», – говорить професор університету штату Техас Хані Махмасані (Hani S. Mahmassani), провідний американський експерт у теорії руху автомобільних потоків.

Перспективним напрямом використання транспортних моделей у містоплануванні є застосування нейронних мереж. Наприклад, у роботі «Static and Dynamic Traffic Assignment with Recurrent Neural Networks, Paul Mathias, Siemens AG, ATD SV PSM, Minich, and Department of Computer Science 4, Aachen University of Technology» розглядається дискретна модель завантаження мережі міських доріг, побудована на взаємодіючих ланцюжках нейронних мереж. Автори моделюють явище затору як залежність, що зв'язує обмеження на вхідні і вихідні транспортні потоки, що може бути виведена із заданих часів переміщення по мережі. Обмеження на вхід у мережу дали змогу одержати ефекти зворотного поширення заторів (spillover effects).

5.3. Основні принципи функціонування мікромоделей транспортних потоків

До мікромоделей транспортних потоків належать моделі, що описують транспортний потік на рівні окремих автомобілів або їх невеликих груп. Аналітична мікромодель являє собою одну або кілька математичних залежностей, отриманих за результатами аналізу емпіричних даних на основі різних підходів теорії транспортних потоків або на основі теорії систем масового обслуговування.

Структуру імітаційної мікромоделі можна уявити через взаємодію елементів системи ВАДС (водій – автомобіль – дорога – середовище).

Водій. Цей елемент системи містить вищеописані моделі поведінки під час руху в потоці (проходження за лідером, зміна смуги, вибір безпечного інтервалу в потоці щодо), а також враховуються притаманні

водію час реакції, бажана швидкість руху, ступінь дотримання обмеження швидкісного режиму й інші поведінкові характеристики.

Автомобіль. Елемент автомобіль описується переважно фізичними габаритами (довжина і ширина), тягово-швидкісними характеристиками, приналежністю до якого-небудь класу, пасажиромісткістю тощо.

Дорога. У рамках цього елемента системи описуються всі параметри інфраструктури, організації та управління рухом. Сюди входять геометричні параметри вулично-дорожньої мережі (кількість і ширина смуг, радіуси поворотів, ухили тощо), параметри організації дорожнього руху (напрямки руху по смугах, заборона маневрів, обмеження швидкості, виділені смуги тощо), параметри управління.

Середовище. Поняття середовища в імітаційному моделюванні охоплює вплив на транспортні потоки погодних умов у частині обмеження видимості і зниження якості зчеплення колеса з покриттям. Ці фактори призводять до зниження швидкості руху і збільшення дистанції між автомобілями.

Лекція 6

ПРОГРАМНІ ПРОДУКТИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

План лекції

1. Світовий досвід у сфері транспортного моделювання.
2. PTV Vissim як світовий лідер у сфері транспортного мікромоделювання.
3. Оптимізація циклів світлофорного регулювання за допомогою Lisa+.

6.1. Світовий досвід у сфері транспортного моделювання

На сьогодні у світі відомо близько 30 програмних продуктів для моделювання, найпоширенішими серед яких є AIMSUN, PARAMICS, IHSDM, MITSIM Transcad, PTV Vissim, PLANSIM-T, AUTOBAHN, TRANSIMS, DRACULA, INTEGRATION, FLEXSYT-II, SimTraffic 6. Запропоновані програми виділяються високим рівнем складності, зручним для користувача інтерфейсом і великим набором опцій, потрібних для моделювання, проектування, аналізу й оптимізації транспортної мережі.

Моделювання може бути ресурсомістким і тривалим процесом, який можна значно покращити, якщо в розпорядженні є відповідні вихідні дані, що збираються на постійній основі й оброблюються органами державної

влади в особі спеціальної команди, що займається централізованою розробкою та відповідає за такі завдання:

- регулярний національний, регіональний чи міський підрахунок транспортного руху і пасажирів, дослідження витрат часу на пересування;
- регулярні великі дослідження транспортної поведінки (мобільності та схильності до пересування) домашніх господарств (кожні кілька років);
- регулярні дослідження поведінки вантажоперевізників і відправників вантажу;
- дослідження для надання інформації щодо параметрів моделювання тощо;
- розробка на регулярній основі прогнозів попиту на національному (міському) рівні;
- ведення централізованої бази даних з усіма потрібними даними для транспортного моделювання та здійснення постійної підтримки офіційної національної, регіональної чи міської транспортних моделей.

Тоді як розробка транспортної моделі може бути виконана самостійно органами влади, що володіють потрібними навичками, розвиток і управління транспортними моделями найчастіше передається зовнішнім спеціалістам або проводиться спеціалізованими транспортними інститутами, що накладає певні вимоги щодо контракту замовника, за яким вони мають гарантувати успішне виконання проекту.

На сьогодні в Україні транспортне моделювання поступово набуває все ширшого застосування для обґрунтування прийняття управлінських рішень у сфері дорожньо-транспортної інфраструктури. Це підтверджується наявністю відповідних вимог щодо потреби у його застосуванні в чинних нормативних документах (ДБН Б.2.2-12:2019, ДБН В.2.3-5-2018, ДБН В.2.3-4-2015).

6.2. PTV Vissim як світовий лідер у сфері транспортного мікромоделювання

Найпопулярнішою комп'ютерною програмою для розробки транспортних імітаційних мікромоделей у світі є PTV Vissim, яка дає змогу оцінити транспортну ситуацію на ділянках вулично-дорожньої мережі, вибрати оптимальну схему організації дорожнього руху, визначити пропускну здатність, оптимізувати роботу сигнальних установок, а також провести аналіз пішохідного руху.

PTV Vissim – німецький мультифункціональний пакет для побудови моделей дорожніх ситуацій. Він є складовою частиною комп'ютерного середовища PTV (Vision Traffic Suite), до якого також належать Visum, Vistro і Viswalk. Програма призначена для аналізу, реінжинірингу й оптимізації міських і міжміських транспортних сполучень.

Можливості програмного комплексу:

- оцінка впливу типу перетину вулиць і доріг на пропускну здатність;
- проектування, тестування й оцінка впливу режиму роботи світлофора на умови руху транспортного потоку;
- оцінка транспортної ефективності запропонованих заходів;
- аналіз можливості надання пріоритету громадському транспорту та заходів, спрямованих на пріоритетний пропуск трамваїв;
- аналіз впливу управління рухом на ситуацію у транспортній мережі;
- аналіз пропускну спроможності великих транспортних мереж із динамічним перерозподілом транспортних потоків;
- моделювання зупинок громадського транспорту і станцій метрополітену з урахуванням їх взаємного впливу.

Цей програмний продукт завдяки своїй поліфункціональності та простоті використання є найпоширенішим програмним продуктом для мікромоделювання в Україні. Крім проєктних інститутів використовується органами місцевої влади й закладами вищої освіти.

PTV Vistro – універсальне рішення для аналізу дорожнього руху, оптимізації роботи світлофорів і оцінки впливу нових забудов на транспортну інфраструктуру міста. PTV Vistro допомагає транспортним інженерам і планувальникам оцінити наслідки нових забудов і знайти рішення, завдяки яким можна забезпечити безперешкодний рух транспорту в нових умовах.

За допомогою PTV Viswalk можна здійснювати:

- відтворення руху пішоходів у пішохідних зонах, у місцях пересадки пасажирів з одного виду транспорту на інший, у зонах очікування тощо;
- відтворення руху пішоходів у метро, у зонах скупчення великої кількості людей (концерти, фестивалі й інші масові заходи);

- моделювання черг на касах магазинів, пропускних пунктах митниці, на ліфти у великих будівельних об'єктах тощо.

6.3. Оптимізація циклів світлофорного регулювання за допомогою Lisa+

Lisa+ – програмний продукт для розробки режимів регулювання світлофорних об'єктів, координованого управління світлофорними об'єктами за принципом «зелена хвиля», алгоритмів адаптивного управління і врахування параметрів безпеки.

Можливості програмного забезпечення:

- можливість графічного визначення конфліктних точок і розрахунку часу розвантаження;
- оптимізація режимів світлофорного регулювання для складних об'єктів;
- графоаналітичний метод вирішування задач із розробки координованого керування світлофорними об'єктами;
- комплексне виведення звітних матеріалів із проведеного розрахунку чи розробки;
- розробка адаптивного керування;
- інтеграція з таким програмним продуктам, як PTV Vissim, для проведення ситуаційного аналізу умов руху транспорту;
- інтеграція з найбільш розповсюдженими в Європі виробниками дорожніх контролерів.

Лекція 7

ЗБІР, АНАЛІЗ І ОЦІНКА ПОТОЧНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА

План лекції

1. Мета й основні завдання проведення натурних замірів.
2. Обстеження інтенсивності руху транспорту і пішоходів.
3. Аналіз результатів.

7.1. Мета й основні завдання проведення натурних замірів

Метою етапу збору даних є підготовка повного набору якісних вихідних даних, потрібних для побудови моделі. Якість і точність вихідних даних відіграє вирішальну роль у достовірності результатів моделювання.

Як вихідні дані для обґрунтування прийняття містобудівних рішень на вулично-дорожній мережі міст за допомогою інструмента транспортного імітаційного моделювання використовуються:

1. Фонова основа.

Як основа для відтворення області моделювання можуть використовуватися дані в різних форматах: *.BMP; *.HGR; *.WMF; *.GIF; *.JPG; *.PNG; *.PSD; *.TIF; *.TGA; *.DWG; *.SHP. Для виконання РГР ділянка вулично-дорожньої мережі міста (область моделювання) має бути у форматі *.PNG.

Фонова основа використовується для максимально точного відтворення геометричних елементів вулично-дорожньої мережі. Такі дані можуть бути отримані з наявної проєктної документації, супутникової або аерофотозйомки, а також шляхом безпосередніх обстежень, а саме:

- кількість смуг (з урахуванням фактичного використання);
- ширина смуг;
- довжина перегонів;
- довжина ділянок розширень;
- радіуси заокруглень (з урахуванням їх впливу на швидкість);
- поздовжні ухили;
- параметри тротуарів і велосипедних доріжок;
- конфігурації перетинів (у т. ч. пішохідних переходів і перетинів з велодоріжками).

2. Інтенсивність руху та склад транспортного потоку.

Як розрахунковий період часу для визначення інтенсивності руху може прийматися рік, місяць, доба, година й коротші проміжки часу залежно від поставленого завдання та засобів обліку. Зазвичай для розробки транспортних імітаційних мікромоделей використовуються дані про інтенсивність і склад транспортного потоку в період максимального навантаження на вулично-дорожню мережу – години пік. Однак допускається й використання даних щодо інтенсивності в інші часові періоди. За результатами проведених замірів має бути отримано розподіл

потоків усіх учасників дорожнього руху на кожній ділянці мережі в межах області моделювання з деталізацією за типами транспортних засобів і напрямками їх руху. Одним із способів представлення отриманих даних є картограми. Приклад візуалізації картограми інтенсивності транспортного потоку на ділянці мережі представлено на рис. 1.

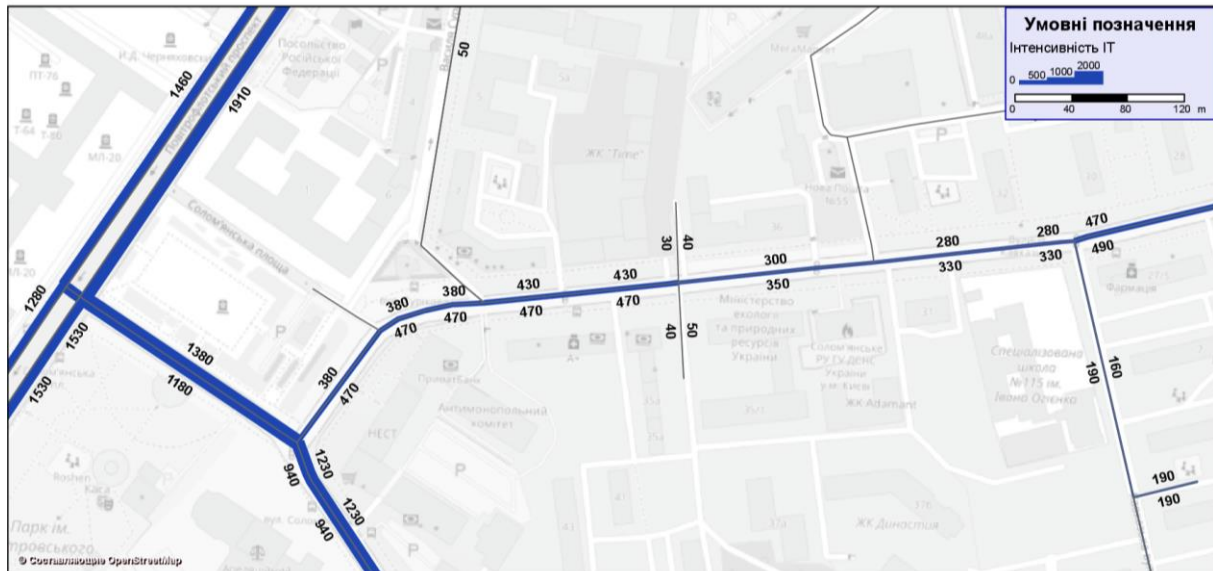


Рис. 1. Приклад картограми інтенсивності транспортного потоку на ділянці ВДМ

7.2. Обстеження інтенсивності руху транспорту і пішоходів

У містобудівній практиці використовуються два основні підходи до визначення інтенсивності та складу транспортного потоку:

1. У разі відсутності транспортної моделі міста підрахунок переважно проводиться за допомогою візуального спостереження. Цей підхід базується як на безпосередньому підрахунку всіх учасників дорожнього руху обліковцем у картці обліку, так і на записі відеоматеріалів з подальшою їх обробкою різними способами. Залежно від умов договору цей перелік робіт може бути покладено на виконавця або на замовника.

2. За наявності транспортної моделі інтенсивність і склад транспортного потоку дозволяється приймати за результатами проведеного моделювання на макрорівні.

Під час визначення інтенсивності та складу транспортного потоку потрібно враховувати:

- інтенсивності руху транспортних потоків на перегонах і за напрямками руху на перехрестях розглянутої ділянки ВДМ, отримані шляхом обстежень, як правило, з розбивкою на інтервали по 5–15 хв;
- матрицю кореспонденцій транспортних потоків на цій ділянці (моделі, що вище або отримана іншими методами);
- склад потоку за типами транспортних засобів;
- інтенсивність пішохідних потоків;
- інтенсивність велосипедних потоків.

Обстеження на досліджуваній території повинні, якщо є змога, проводитися одночасно для отримання узгоджених значень. У разі нестачі ресурсів допускається проводити обстеження в різні дні й погоджувати отримані результати за даними контрольних автоматичних вимірів добової динаміки транспортних потоків.

Потрібно переконатися в тому, що умови руху в дні проведення обстежень однакові й відсутній вплив зазначених нижче чинників:

- погодні умови;
- ремонтні роботи;
- дорожньо-транспортні пригоди;
- масові заходи.

Для мінімізації відхилень в одержуваних значеннях слід проводити обстеження в найбільш репрезентативні періоди, уникаючи святкових днів, днів шкільних канікул, періоду відпусток та інших нетипових періодів.

Таким репрезентативними періодами є будні дні з понеділка по четвер в такі місяці:

- березень і квітень, крім Великоднього тижня;
- друга половина травня;
- увесь червень;
- друга половина вересня;
- увесь жовтень і листопад.

Аналогічні періоди стійких значень інтенсивностей транспортних потоків, характерних для місцевих умов, можна визначити на основі статистики даних автоматичного обліку.

На сьогодні облік руху транспорту і пішоходів переважно проводиться за допомогою візуального спостереження. Цей підхід базується як на безпосередньому підрахунку всіх учасників дорожнього руху обліковцем у картці обліку, так і на записі відеоматеріалів з

подальшою їх обробкою різними способами. Вважаю, за 5 років навчання в університеті ви вже навчилися рахувати інтенсивність руху транспорту і пішоходів.

7.3. Аналіз результатів

Аналіз результатів проведених натурних обстежень залежить від методу, який використовувався для збору вихідних даних. На сьогодні в Україні поступово набувають усе ширшого застосування програмні платформи для автоматизованого обліку руху транспорту і пішоходів шляхом обробки відеоматеріалів, одними з найпоширеніших є GoodVision і DataFromSky.

Вимоги до точності вхідних даних для побудови моделі повинні визначатися доцільністю, яка залежить від прийнятої похибки результатів моделювання і від витрат на підвищення точності вхідних даних. Зазначені вище вхідні параметри для побудови моделі можна розділити на детерміновані і стохастичні.

Після проведення обстежень обов'язково потрібно здійснити валідацію і верифікацію результатів.

Лекція 8

ПІДГОТОВКА СХЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ТА ЦИКЛОГРАМ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

План лекції

1. Точність натурних обстежень як основа розробки якісної транспортної моделі.
2. Підготовка циклограм світлофорного регулювання.
3. Використання схем організації дорожнього руху у транспортному моделюванні.

8.1. Точність натурних обстежень як основа розробки якісної транспортної моделі

Для збору даних можуть використовуватися різні методи обліку інтенсивності руху, серед яких польові обстеження, автоматичні детектори, «великі дані» тощо. Перед проведенням натурних обстежень спочатку потрібно визначити зону моделювання. Вона точно не обмежується об'єктом дослідження, а має враховувати 2–3 сусідні вузла. Під час проведення натурних обстежень виконується аналіз:

- категорій вулиць;
- пішохідного і велосипедного руху;
- паркування;
- інфраструктури та руху громадського транспорту;
- принципу організації руху в межах вузлів міських вулиць і доріг;
- організації дорожнього руху тощо.

Перед початком визначення треба переконатися в тому, що умови руху в дні проведення визначення однакові й відсутній суттєвий вплив зовнішніх чинників, зокрема:

- погодних умов;
- ремонтних робіт;
- дорожньо-транспортних пригод;
- масових заходів.

Тривалість замірів, час початку і закінчення уточнюється після аналізу наявної статистичної інформації про інтенсивність руху за попередні часові періоди, а також залежно від пори року й характеру переважального руху (місцевий або транзитний). Для мінімізації відхилень в одержуваних значеннях потрібно проводити визначення в найбільш репрезентативні періоди, уникаючи святкових днів, днів шкільних канікул, періоду відпусток та інших нетипових періодів. Залежно від цілей і завдань визначення під час замірів може бути врахована різна класифікація за типами транспортних засобів, але в будь-якому випадку вона повинна бути узгоджена з класифікацією, яка використовується в моделі.

8.2. Підготовка циклограм світлофорного регулювання

У рамках проведення натурних обстежень зазвичай виконується класифікація всіх транспортних вузлів, які розташовані в межах області моделювання, залежно від принципу організації руху в їх межах. Для

регульованих вузлів готуються циклограми світлофорного регулювання, які мають містити таку інформацію:

- місце розташування світлофорних об'єктів;
- назву вулиць, де розташований відповідний світлофорний об'єкт;
- фази світлофорного регулювання та їх тривалість;
- дозволені маневри (у тому числі для пішохідного і велосипедного руху) на відповідних фазах.

У процесі виконання реальних проєктів, крім перерахованих даних, використовуються дані, які описують параметри транспортних засобів і поведінку водіїв, а також специфічні для кожного конкретного програмного продукту дані. До таких даних належать:

- довжина автомобілів (у вигляді розподілу або середнього значення і відхилень);
- розподіл бажаної швидкості руху;
- середні та максимальні величини прискорення і уповільнення;
- параметри шкідливих викидів за типами ТЗ і режимами руху;
- специфічні параметри налаштування моделей поведінки (проходження за лідером, зміна смуги, вибір проміжку).

Для врахування особливостей організації руху в межах області дослідження та їх врахування у транспортній моделі рекомендується спочатку розробити схему організації дорожнього руху, яку в подальшому буде використано як підоснову для власне самої моделі.

8.3. Використання схем організації дорожнього руху у транспортному моделюванні

Схема організації дорожнього руху – документ, виконаний відповідно до вимог чинних нормативних документів у сфері проектування, будівництва й експлуатації об'єктів дорожньо-транспортного будівництва, у якому відображено організацію дорожнього руху на ділянках доріг, вулиць, транспортних вузлів або місць розташування об'єктів дорожнього сервісу.

Для розробки транспортних імітаційних мікромоделей можуть бути використані ескізні схеми організації дорожнього руху, які повинні враховувати:

- кількість смуг руху на кожній із вулиць;

- відокремлені смуги руху громадського транспорту;
- розташування зупинок громадського транспорту;
- велодоріжки або велосмуги;
- місця тимчасового і постійного зберігання транспорту;
- дозволені напрямки руху по смугах (за допомогою знаків або розмітки);
- заборона руху окремих видів транспорту;
- локальні обмеження швидкості;
- розташування засобів заспокоєння дорожнього руху, у т. ч. «лежачих поліцейських», острівців безпеки тощо;
- дозволені маневри на вузлах (за допомогою знаків або розмітки);
- пішохідні переходи (регульовані, нерегульовані, підземні, надземні) тощо.

Залежно від рівня деталізації моделі, завдань, на вирішення яких вона орієнтована, наявності й доступності вихідних даних тощо ескізні схеми організації руху можуть відрізнятися. Приклад підготовленої ескізної схеми організації руху наведено на рис. 2.

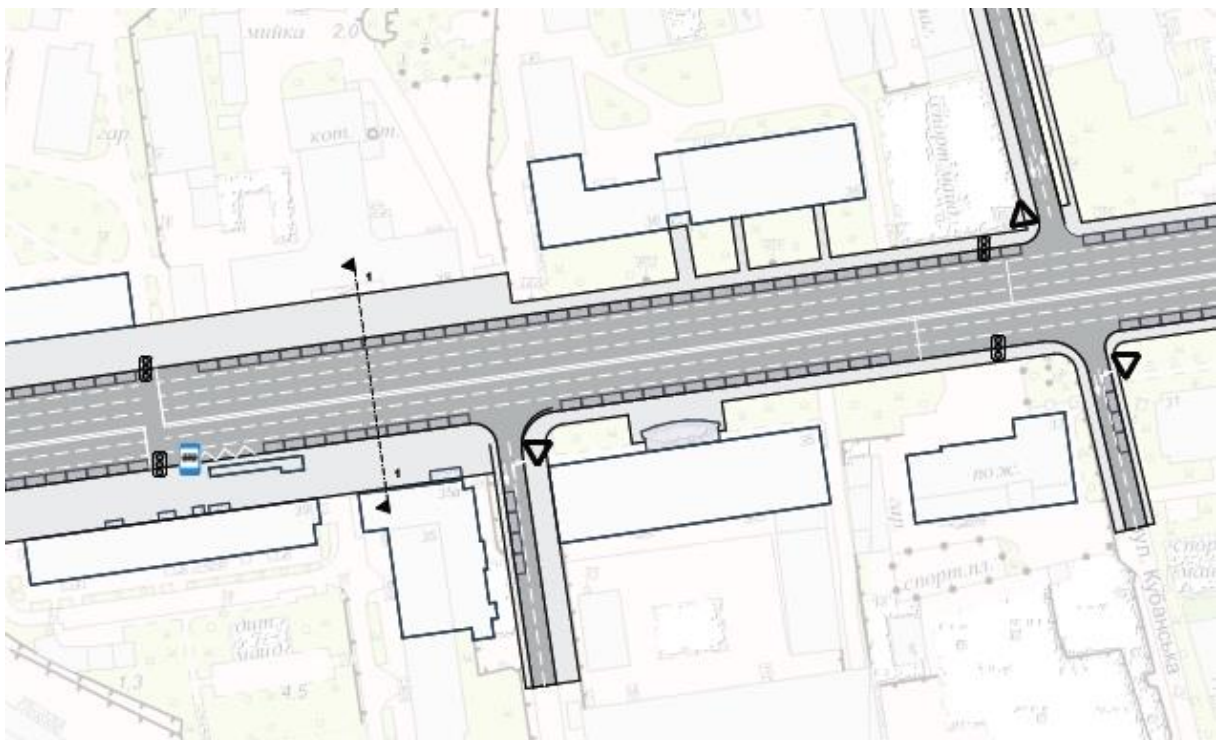


Рис. 2. Приклад оформлення схеми організації дорожнього руху

Розроблена ескізна схема повинна відображати фактичну дорожньо-транспортну ситуацію на ділянці мережі, що моделюється. Для цього рекомендується проводити натурні обстеження шляхом здійснення безпосереднього виїзду на досліджувану ділянку, з використанням засобів фото- і відеофіксації. Часовий проміжок проведення натурних обстежень повинен співпадати з періодом, який моделюється. Це дасть змогу підвищити точність розробленої транспортної імітаційної мікромоделі стосовно поточної ситуації і спростити процес її верифікації та калібрування.

Лекція 9

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ПРИНЦИПУ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ В ЇХ МЕЖАХ

План лекції

1. Класифікація вузлів залежно від принципу організації руху.
2. Розробка моделей нерегульованих вузлів.
3. Розробка моделей саморегульованих вузлів.
4. Розробка моделей регульованих вузлів.

9.1. Класифікація вузлів залежно від принципу організації руху

У містобудівній практиці залежно від організації руху в межах транспортних вузлів їх поділяють на такі типи:

- нерегульовані;
- саморегульовані;
- регульовані;
- вузли з організацією руху в різних рівнях;
- комбіновані.

Різні типи вузлів мають велику кількість видів і підвидів. Кожний з них має свої переваги і недоліки. На вибір того чи іншого варіанта транспортного вузла впливає багато різноманітних умов і факторів. У різних конкретних умовах той самий варіант може бути прийнятним або зовсім не придатним.

9.2. Розробка моделей нерегульованих вузлів

Транспортні імітаційні мікромоделі, зокрема і для нерегульованих вузлів, зазвичай будуються на основі часових інтервалів, у якій одиниця

«водій – транспортний засіб» розглядається як найменша одиниця. Модель у програмному комплексі PTV Vissim враховує так звану психофізіологічну модель слідування за «лідером» за допомогою реалізації параметрів, що базуються на стохастичному розподілі вхідного транспортного потоку.

Транспортна мережа відтворюється за допомогою відрізків і з'єднувальних відрізків, котрі застосовуються для маневрових напрямків.

Найрозповсюдженішою математичною моделлю у світі для детального транспортного моделювання є так звана психофізіологічна модель Відемана (рис. 3).

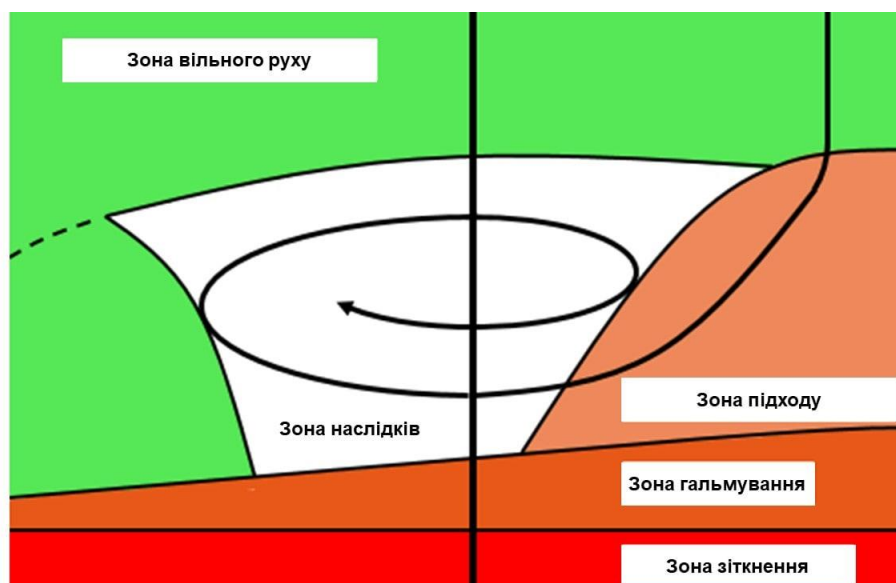


Рис. 3. Схематичне відображення принципу роботи психофізіологічної моделі Відемана

Психофізіологічна модель Відемана базується на припущенні, що водій може перебувати в одному з чотирьох станів руху:

- руху у вільній мережі – немає помітного впливу від транспортних засобів, що їдуть попереду. У цьому стані водій намагається досягти бажаної дозволеної швидкості і зберегти її. При цьому бажана швидкість являє собою дозволена швидкість, з якою рухався б транспортний засіб згідно з правилами дорожнього руху, якби на нього не впливали інші транспортні засоби або дорожня інфраструктура (криві, світлофорне регулювання, знаки пріоритету тощо);
- зближення – це процес, у якому водій підлаштовує свою швидкість під швидкість більш повільного транспортного засобу, який

рухається попереду. Під час зближення водій зменшує швидкість таким чином, щоб в ідеальному випадку різниця швидкостей між транспортним засобом, що їде попереду, і ним дорівнювала нулю після досягнення безпечної дистанції;

- слідування – водій їде за транспортним засобом, не здійснюючи усвідомленого гальмування або прискорення;
- гальмування – у разі зменшення бажаної безпечної дистанції застосовується гальмування з використанням середнього або сильного уповільнення. Це може відбуватися в тому випадку, якщо транспортний засіб, який рухається попереду, раптово гальмує або третій транспортний засіб робить спробу зміни смуги руху в проміжок між ними.

Для кожного з цих чотирьох станів руху прискорення впливає з актуальної швидкості, різниці швидкостей і відстані до транспортного засобу, що рухається попереду, а також індивідуальних характеристик водія і транспортного засобу. Описаний вище підхід використовується для моделювання всіх типів вузлів, у тому числі із саморегульованим рухом.

9.3. Розробка моделей саморегульованих вузлів

У містобудівній практиці саморегульовані вузли використовуються досить широко. Особливістю цього типу вузлів є відсутність пересічень транспортних потоків і бажаний розподіл пішохідних і транспортних потоків у різних рівнях.

Саморегульовані перехрестя з рухом по колу потрібно влаштовувати за порівняно однакової інтенсивності руху на вулицях і дорогах, що перехрещуються або примикають, а також якщо інтенсивність руху на лівоповоротних напрямках становить не менше ніж 40 %. Саморегульовані перехрестя влаштовують у вигляді площі з центральним острівцем у формі кола. У разі переваги руху транспорту в одному напрямку – з центральним острівцем у формі овалу, витягнутого острівця прямокутної, трикутної або трапецеїдальної форми.

9.4. Розробка моделей регульованих вузлів

Регульовані вузли дозволяється влаштовувати за умови сумарного транспортного навантаження в межах перетину від 1000 до 4000 прив. авт./год. У PTV Vissim кожен світлофор представлений індивідуальним номером і набором груп сигналів. Залежно від вибраної логіки управління PTV Vissim може змоделювати до 125 груп сигналів для

світлофора. Приклад циклограми світлофорного регулювання у PTV Vissim наведено на рис. 4.

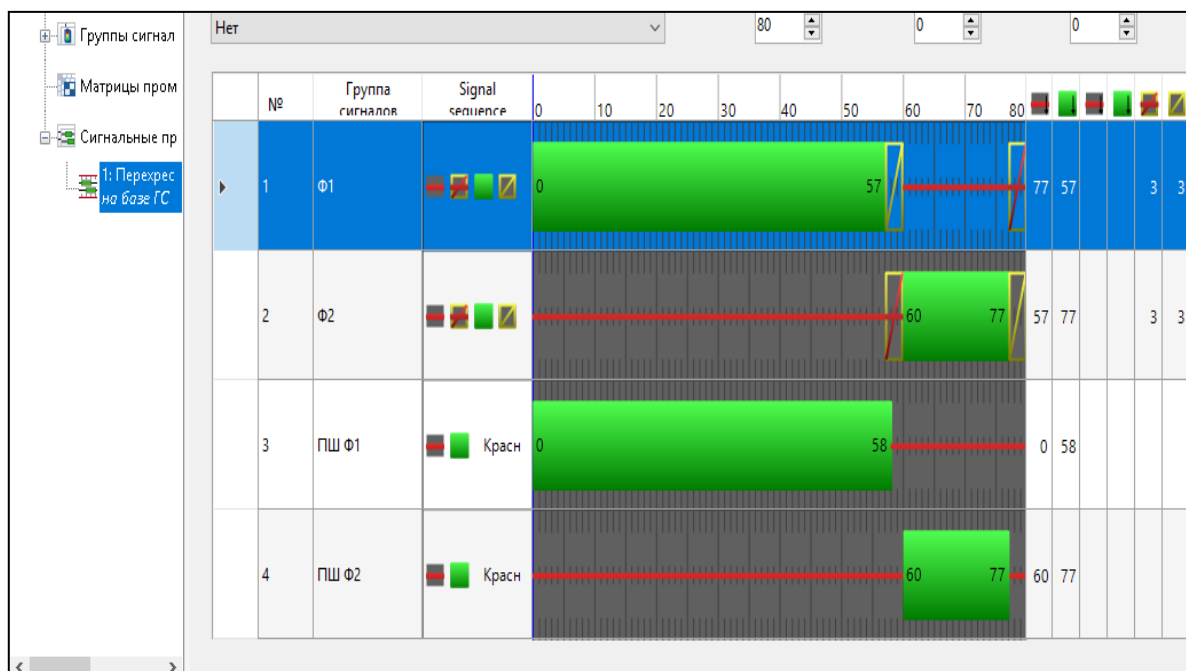


Рис. 4. Приклад циклограми світлофорного регулювання у PTV Vissim

PTV Vissim також окремо класифікує сигнальні пристрої. Сигнальний пристрій – це фактичний пристрій, який показує на екрані актуальний стан групи сигналів. Для кожної смуги руху застосовується індивідуальний закодований сигнальний пристрій. Транспортні засоби зупиняються приблизно за 0,5 м перед сигнальним пристроєм, якщо він показує червоний колір. Транспортні засоби, що наближаються до жовтого сигналу пристрою, проїжджають його в разі, якщо не можуть здійснити безпечно гальмування перед сигнальним пристроєм.

Стан сигналів зазвичай оновлюється наприкінці кожної секунди імітації. У разі використання світлофорного регулювання всі конфліктні ситуації, які можуть виникнути під час проїзду перехресть, треба вирішувати за допомогою введення правил пріоритету.

Лекція 10
РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ
З ОРГАНІЗАЦІЮ РУХУ В РІЗНИХ РІВНЯХ

План лекції

1. Типологія інженерно-планувальних рішень вузлів у різних рівнях.
2. Розробка моделей транспортних вузлів з організацією руху в різних рівнях.
3. Особливості моделей різних типів планувальних рішень вузлів у різних рівнях.

10.1. Типологія інженерно-планувальних рішень вузлів у різних рівнях

Одним із найефективніших способів підвищення пропускної здатності вулично-дорожньої мережі, покращення умов безпеки руху транспорту і пішоходів, зниження шуму й загазованості повітря є влаштування вузлів з організацією руху на них у різних рівнях. Їх слід передбачати, якщо сумарна інтенсивність транспортних потоків на під'їздах до них перевищує 6000 авт./год або інтенсивність одного з лівих поворотів більше ніж 600 авт./год; за меншої інтенсивності – у випадках, обумовлених рельєфом місцевості або іншими містобудівними умовами. Розташування вузлів у різних рівнях на магістральних вулицях і дорогах потрібно визначати відповідно до планування вулично-дорожньої мережі з урахуванням категорій вулиць і доріг, які перетинаються.

Залежно від організації руху транспорту і пішоходів і рекомендованих розрахункових швидкостей на лівоповоротних з'їздах транспортні вузли в різних рівнях поділяються на 5 класів. Кожному класу вузлів відповідають один чи кілька їх типів за ознакою організації лівоповоротного руху (планувальне рішення):

- «лист конюшини»;
- «розподільне кільце»;
- «петля»;

- «ромб»;
- складні транспортні вузли з відособленими лівоповоротними з'їздами;
- комбіновані транспортні вузли з поєднанням елементів простих вузлів.

Залежно від планувальних рішень вузли в різних рівнях можуть бути повні і неповні. До транспортних розв'язок неповного типу належать вузли, на яких на другорядній вулиці або дорозі є конфліктні точки перетину транспортних потоків. На транспортних розв'язках повного типу відсутні конфліктні точки перетину потоків, і кожен з потоків, що повертають, скеровано по окремому з'їзду.

Взаємне розташування транспортних розв'язок повинно забезпечувати плавну зміну режимів руху й узгодження їх з дорожніми умовами, що змінюються. У зв'язку з цим транспортні розв'язки в різних рівнях потрібно розташовувати на достатній відстані один від одного. Розробка транспортних моделей вузлів кожного з типів має ряд особливостей.

10.2. Розробка моделей транспортних вузлів з організацією руху в різних рівнях

До складу транспортних розв'язок у різних рівнях входять такі основні елементи: ділянки вулиць і доріг основних напрямків руху, правоповоротні і лівоповоротні з'їзди, ділянки розгалуження, злиття та переплетення транспортних потоків.

Особливе значення транспортне імітаційне мікромоделювання набуває під час розгляду перетинів в різних рівнях, які є найбільш складними вузлами дорожньої інфраструктури та вулично-дорожньої мережі міст, як з погляду проектування, так і з погляду їх будівництва й подальшої експлуатації. Для створення відповідної моделі потрібно задати вихідні дані (рис. 5).

Розробка транспортних імітаційних моделей для різних типів планувальних рішень вузлів у різних рівнях має ряд особливостей, які визначаються підходами до організації руху транспорту і пішоходів, геометричними та планувальними параметрами тощо.



Рис. 5. Вихідні дані, які використовуються в моделі розрахунку PTV Vissim

10.3. Особливості моделей різних типів планувальних рішень вузлів у різних рівнях

У транспортних імітаційних мікромоделях водій перемикається з одного стану руху на інший, як тільки він досягає певного порогу, що може бути виражено як комбінація різниці швидкостей і дистанції між транспортними засобами. Таким чином, наприклад, незначна різниця швидкостей може сприйматися лише на незначній відстані. І навпаки – велика різниця у швидкості руху транспортних засобів спонукає водія до реакції вже на більшій дистанції. Такий підхід дає змогу моделювати різні типи планувальних рішень вузлів у різних рівнях з огляду на особливості організації руху кожного з них. Наприклад, для точнішого опису умов руху транспортних потоків на окремих елементах вузлів можна задати розрахункову швидкість для відповідного елемента, яка регламентована нормами (залежно від категорії магістралі та класу вузла).

Одна модель може враховувати різні принципи організації руху (нерегульований, саморегульований, регульований) у межах однієї моделі.

Лекція 11

ПІДГОТОВКА ДО РОЗРОБКИ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ

План лекції

1. Налаштування програмного середовища для моделювання.
2. Запуск програмного забезпечення.
3. Налаштування інтерфейсу.

11.1. Налаштування програмного середовища для моделювання

У програмному середовищі PTV Vissim є кілька панелей, які пропонують такий набір функцій: об'єкти мережі, рівні, фони, оглядова карта, швидкий вигляд.

На панелі об'єктів мережі розташовано 5 екранних кнопок для кожного типу об'єктів мережі: «Видимість» (символ), «Вибір» (символ ключа), «Режим вставки» (назва), «Напис» («А») і «Графічні параметри» (попередній перегляд). Показ стовпців «Вибір», «Напис» і «Графічні параметри» можна деактивувати в контекстному меню бічної панелі. Це стосується також рядків об'єктів мережі, які потрібні тільки для транспортного руху або тільки для пішоходів. Натиснувши на символ «Видимість», можна ввімкнути або вимкнути показ об'єктів цього типу у вікні мережі. Активація символу замка для видимого типу об'єкта запобігає зміні об'єктів цього типу (помилково) і зміні/зміщенню у вікні мережі. Невидимі об'єкти так чи інакше не можуть бути вибрані. Функція напису («А») використовується, щоб відображати і приховувати написи для об'єктів цього типу у вікні мережі. Відображення об'єктів того чи іншого типу можна ввімкнути і вимкнути одним натисканням лівої кнопки миші, те саме стосується і показу написів.

Якщо відкрито кілька вікон мережі, то всі ці налаштування застосовні тільки до останнього активного вікна мережі. Об'єкти типу, який було вибрано для режиму вставки (натисканням на ім'я типу, унаслідок чого виділяється весь рядок), завжди видимі й можуть вибиратися в усіх вікнах мережі (виняток становить випадок, коли їх рівень приховано або блокується).

Натисканням на функцію графічних параметрів (попередній перегляд) відкривається таблиця, яка містить всі графічні параметри, доступні для цього типу об'єкта, включно з атрибутами написів, кольором написів, розміром шрифту й налаштуванням кольору об'єктів. Для

відрізків, пішохідних зон і пандусів, транспортних засобів і пішоходів можна вибрати задану користувачем палітру кольорів, щоб відобразити кольорову класифікацію на основі чисельних атрибутів. Графічні параметри також завжди застосовні тільки до останнього активного вікна мережі.

11.2. Запуск програмного забезпечення

Програмне забезпечення PTV Vissim може бути запущене подвійним натисканням лівою клавішою миші на відповідному ярлику програми (або, натиснувши правою клавішою миші на ярлику, вибрати функцію «Відкрити»). Після запуску відкриється стартова сторінка, на якій можна ознайомитися з інформацією щодо нової версії, можливостей, прикладів, вебінарів. У вкладці «Довідка» – «Ліцензія» можна переглянути загальні параметри ліцензії цього програмного продукту (рис. 6). Для студентських, академічних і комерційних версій наведені параметри будуть відрізнятися.

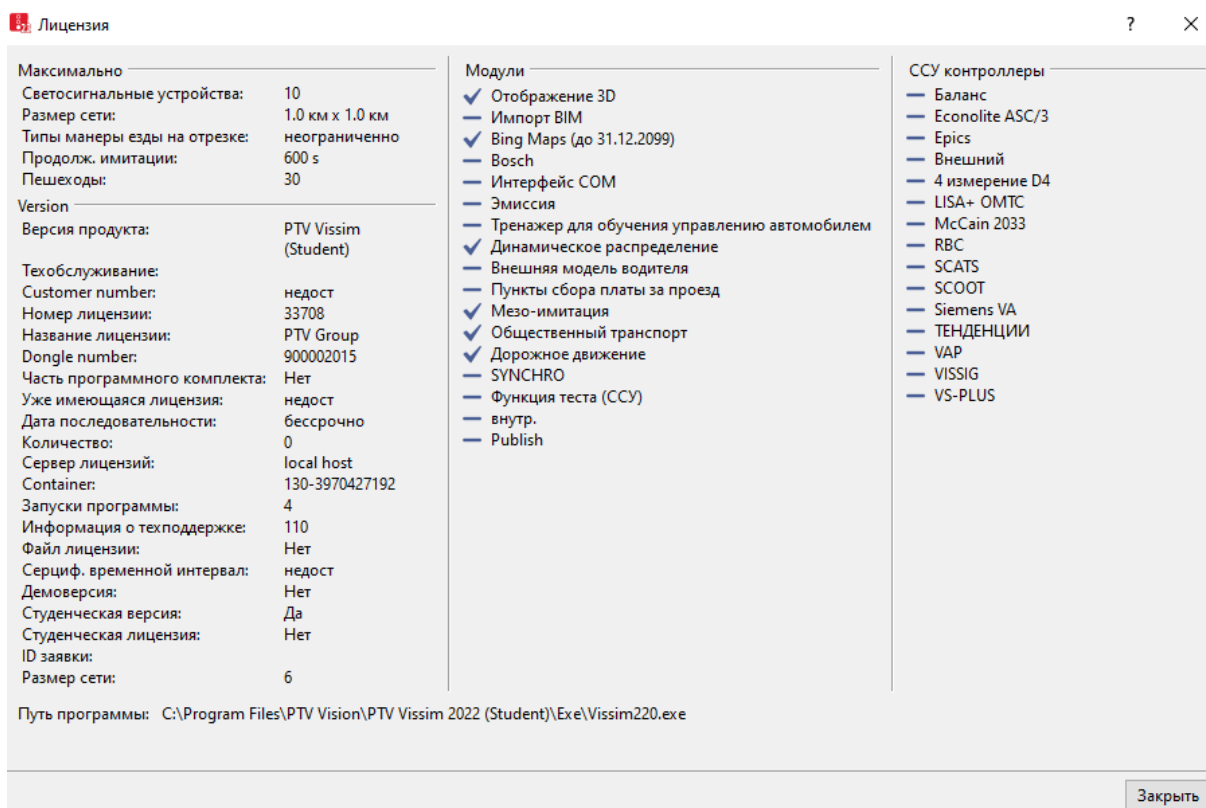


Рис. 6. Приклад ліцензійних параметрів PTV Vissim (студентська версія)

Швидкість імітації здебільшого залежить від таких критеріїв:

- кількості транспортних засобів і/або пішоходів, які одночасно перебувають у мережі;
- кількості об'єктів світлофорного регулювання;
- типу світлофорного регулювання;
- кількості ядер процесора, які використовуються для розрахунку;
- потужності комп'ютера (та сама модель на більш потужному комп'ютері розраховується швидше).

11.3. Налаштування інтерфейсу

Початково встановлений інтерфейс програми містить елементи для відображення, обробки й опрацювання мережі, а також дані про імітацію, а саме:

- рядок заголовка і рядок меню, завдяки яким можна переглядати різноманітні функції програми;
- панель інструментів, окремими кнопками якої можна налаштовувати використання функцій програми;
- редактор мережі дає змогу відкривати мережу, демонструвати, збільшувати або зменшувати окремі об'єкти мережі;
- панель об'єктів мережі, панель рівнів і панель фонів (у початковому налаштуванні перелічені панелі розташовані разом);
- списки дають змогу показувати будь-який об'єкт одного з переліком вибраних атрибутів;
- швидкий вигляд враховує актуальний вибір атрибутів і значень атрибутів об'єктів мережі;
- оглядова карта демонструє огляд мережі в малому масштабі.

У разі потреби інтерфейс програми можна налаштувати у вікні «Змінити відображення вікон». Також дозволяється розташовувати програмні елементи на декількох екранах. Оформлення інтерфейсу програми з початковим налаштуванням зберігається тоді, коли зберігається мережа. З подальшим відкриттям PTV Vissim програмні елементи будуть розташовуватись у раніше збереженому вигляді.

Лекція 12
СТВОРЕННЯ БАЗОВОЇ МІКРОМОДЕЛІ
ПОТОЧНОГО СТАНУ (ГРАФ МЕРЕЖІ)

План лекції

1. Підготовка підоснови для транспортної моделі мережі міських вулиць.
2. Конфліктні зони, задання пріоритетів.
3. Зони малошвидкісного режиму.

12.1. Підготовка підоснови для транспортної моделі мережі міських вулиць

Здебільшого для побудови моделі вулично-дорожньої мережі як основа використовується графічна підоснова. Наявність якісної підоснови підвищує наочність представлення моделі і спрощує процес введення геометричних даних. Найкращим варіантом графічної підоснови є актуальний супутниковий або аерофотознімок високої деталізації або раніше підготовлена актуальна схема організації дорожнього руху в межах області дослідження. Для більш детального введення геометричних параметрів, особливо під час моделювання проєктних рішень, доцільно використовувати векторні креслення з САД-додатків. Крім того, як підоснова можуть бути використані шари з ГІС-додатків, а також будь-які растрові картографічні зображення. Довільні зображення після імпорту в модель, як правило, вимагають масштабування.

Транспортна мережа у PTV Vissim відтворюється за допомогою відрізків і з'єднувальних відрізків, котрі використовуються для маневрових напрямків. Також у моделі можна створити інші об'єкти, а саме велодоріжки, пішохідні тротуари, зелені насадження, щоб якомога реальніше відтворити модель сучасного і проєктного стану.

Для кожного типу відрізка ви можете задати свій набір параметрів манери їзди для різних класів транспортних засобів. Для цього виберіть «Базові дані» / «Типи манери їзди на відрізках» (рис. 7).

Типы манеры езды на отрезке			
Число: 5	№	Имя	СтандМанераЕзды
1	1	Urban (motorized)	1: Urban (motorized)
2	2	Right-side rule (motorized)	2: Right-side rule (motorized)
3	3	Freeway (free lane selection)	3: Freeway (free lane selection)
4	4	Footpath (no interaction)	4: Footpath (no interaction)
5	5	Cycle-Track (free overtaking)	5: Cycle-Track (free overtaking)

Рис. 7. Тип манери їзди на відрізках

12.2. Конфліктні зони, задання пріоритетів

Конфліктні зони – це елемент мережі, що використовується для впливу на конфлікти між транспортними засобами на двох відрізках або з'єднувальних відрізках через регулювання пріоритету проїзду. Конфліктна зона вказує на такі конфліктні випадки:

- з пріоритетом проїзду;
- взаємний конфлікт – використовується для розгалужень, щоб транспортні засоби «бачили» один одного, але не конфліктували;
- пасивна конфліктна зона – без пріоритету проїзду.

Конфліктні зони призначаються залежно від прийнятої організації руху на вулично-дорожній мережі. Приклад конфліктної зони пріоритету наведено на рис. 8.

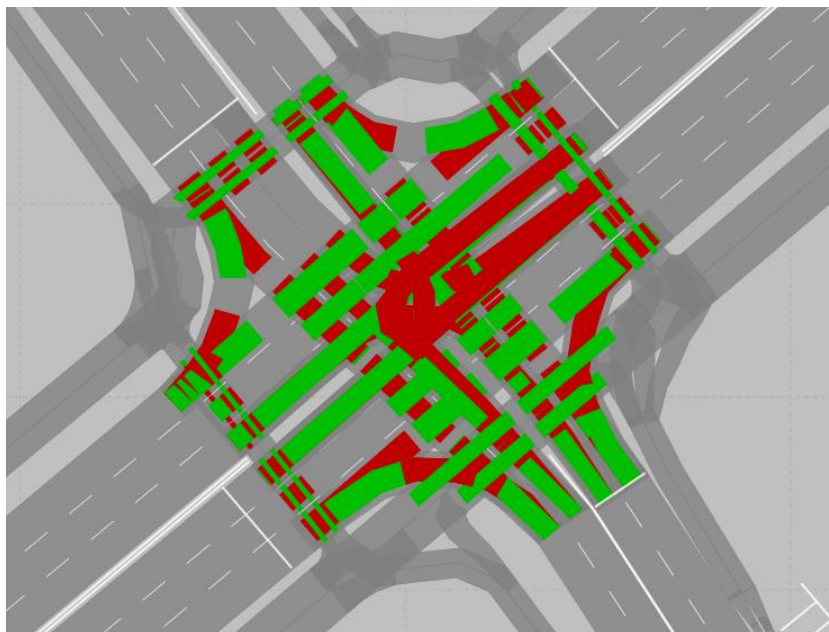


Рис. 8. Приклад конфліктної зони пріоритету

Також у моделі можна задавати обмеження бажаної швидкості. Обмеження бажаної швидкості вводиться в місцях, де потрібна постійна зміна швидкості. Кожний транспортний засіб отримує нову бажану швидкість, як тільки перетинає місце розташування обмеження бажаної швидкості.

Типове застосування обмеження бажаної швидкості – ділянки обмеження швидкості в реальній ситуації. Крім того, обмеження може застосовуватися для руху транспортних засобів у межах міста, на в'їзді в населений пункт або виїзді з нього. Обмеження бажаної швидкості визначає, де транспортні засоби починають змінювати бажану швидкість (а не досягають бажаної швидкості). Таким чином, прискорення або уповільнення відбуваються після того, як транспортний засіб перетнув лінію обмеження швидкості. Залежно від поточної швидкості транспортний засіб досягає нової бажаної швидкості в деякий момент часу, перебуваючи вже «нижче за напрямком руху». Використання конфліктних зон найбільш поширене для моделювання перетинів міських вулиць і доріг незалежно від принципу організації руху в межах міста.

12.3. Зони малошвидкісного режиму

Коли потрібно змодельовати коротку ділянку дороги з обмеженням швидкості (наприклад, на поворотах), рекомендується застосовувати зони малошвидкісного руху, тому що PTV Vissim за попереднім налаштуванням не обмежує швидкості на кривих незалежно від їх радіусу.

Перед зонами малошвидкісного руху транспортний засіб автоматично зменшує свою швидкість до вказаного показника. Процес уповільнення проходить відповідно до вибраного графіку уповільнення. Після того як зона малошвидкісного руху закінчується, транспортний засіб відновлює свою попередню швидкість і автоматично прискорюється. Прискорення наприкінці зони малошвидкісного руху визначається характеристиками транспортного засобу так само, як і первісна бажана швидкість. Приклад зон малошвидкісного руху наведено на рис. 9.

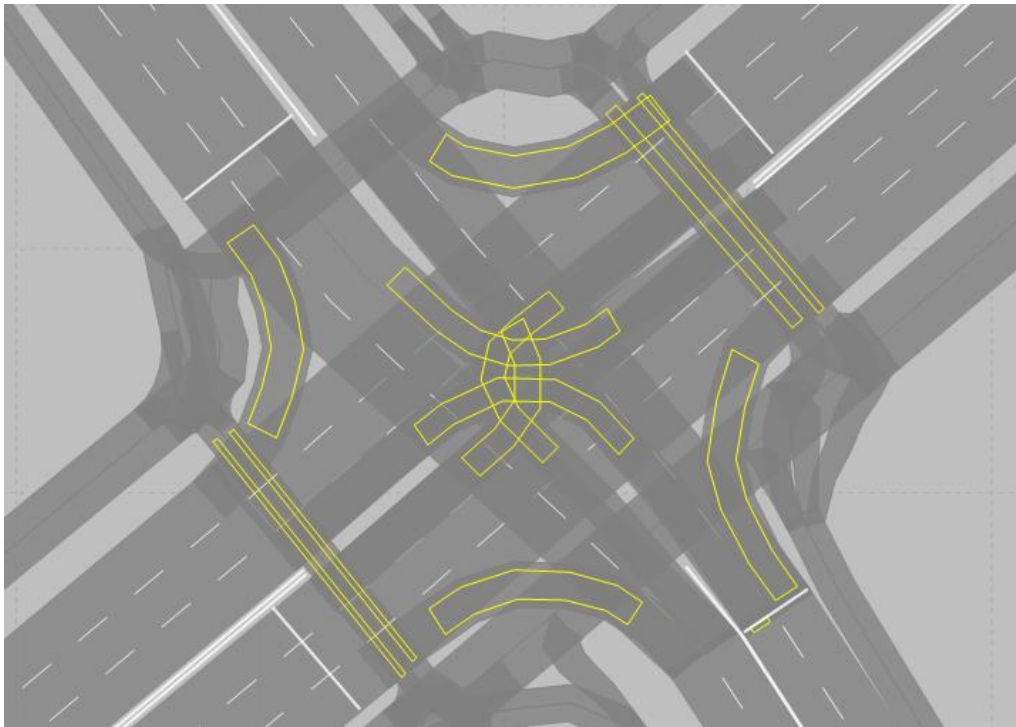


Рис. 9. Приклад зон малошвидкісного руху

Водночас є деякі обмеження стосовно використання зон малошвидкісного руху:

- Зона малошвидкісного руху не повинна перетинатися зі стоп-лінією (сигнальними головками, правилами пріоритету або знаками «Стоп»), але має розташовуватися після стоп-лінії. Інакше може трапитися так, що транспортні засоби «не впізнають» стоп-лінію.
- Одна зона малошвидкісного руху не може розташовуватися відразу на декількох відрізках. У таких випадках потрібно встановлювати зону малошвидкісного руху на кожному відрітку.
- Зони малошвидкісного руху можуть використовуватися тільки для зниження бажаної швидкості.

Лекція 13
ПАРКУВАЛЬНИЙ ПРОСТІР
ЯК ОБ'ЄКТ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

План лекції

1. Роль і місце організації паркувального простору в ефективній роботі вулично-дорожньої мережі сучасного міста.
2. Місця для паркування як об'єкт транспортного моделювання.
3. Типи паркувальних зон у транспортній моделі.

13.1. Роль і місце організації паркувального простору в ефективній роботі вулично-дорожньої мережі сучасного міста

Одним із факторів, що впливають на ефективність функціонування транспортної системи міста, є організація паркування. Управління паркуванням приватного автотранспорту є елементом стратегії розвитку міського транспорту та використовується для контролю попиту на паркування й автомобільного руху. У європейських країнах, для того щоб забезпечити мобільність сталих видів міського транспорту, застосовують економічні, регулятивні, планувальні засоби обмеження паркування, а також сучасні технології.

Попит на організацію паркування в містах України зростає щороку, що пов'язано з рядом факторів, серед яких:

- зростання кількості приватних автомобілів;
- нерівномірність просторового розвитку міст;
- бажання власників паркуватися неподалік місць призначень;
- недосконалість розвитку системи громадських перевезень тощо.

Як наслідок, спостерігається перевантаженість вулично-дорожньої мережі, зростання часу, потрібного для здійснення поїздок для користувачів громадського й індивідуального транспорту, збільшення емісії шкідливих речовин, кількості дорожньо-транспортних пригод тощо. Особливо гостро ці проблеми постають у великих містах України.

Одним із напрямів підвищення ефективності організації системи паркування в містах є тарифна політика. Міжнародна практика показує, що в системі паркування вартість є важливим фактором, який впливає на ефективність роботи транспортної системи міста, безпеку руху, екологію

тощо. Встановлено, що українська галузева законодавча та нормативна документація містить інструменти для впровадження й управління тарифною політикою на паркування легкових автомобілів у містах. Цей підхід враховує можливість зміни величини тарифу на паркування залежно від завантаженості, місця розташування, часу користування майданчиками для платного паркування, а також типу транспортних засобів і категорії осіб, що користуються майданчиками для паркування. Однак наявна організація тарифної політики щодо паркування легкових автомобілів у містах України є недосконалою і характеризується значним потенціалом для оптимізації.

13.2. Місця для паркування як об'єкт транспортного моделювання

Місця для паркування транспортних засобів – це безпосередньо місце для паркування із зоною маневрування, призначеною для під'їзду до паркувальних місць і маневрування автомобілів на в'їзді/виїзді та встановлення автомобілів на місця паркування. Передбачається, що місце для паркування транспортного засобу має вмещувати сам автомобіль, а його розміри дають змогу безперешкодно в'їхати, відчинити двері, висадити чи посадити пасажирів, вивантажити чи завантажити багаж, обійти автомобіль, а потім безперешкодно виїхати та, не зачепивши інших транспортних засобів, залишити зону паркування.

У PTV Vissim можна враховувати паркування як окремий функціонал транспортної імітаційної мікромоделі. Особливо актуальною є можливість його використання для створення моделей в умовах міського руху та/або моделювання об'єктів масового відвідування населення, наприклад торговельно-розважальних центрів, стадіонів, концертних залів тощо. Це дає змогу враховувати вплив наявних або проєктних об'єктів міської інфраструктури на ефективність функціонування прилеглих вулиць і доріг. Місця для паркування можуть влаштовуватися для всіх типів і класів транспортних засобів, які включені в модель. Під час їх створення налаштовується як загальна довжина паркувальної зони, так і довжина одного паркомісця. У разі потреби також можна задати значення заповненості паркувальної зони на момент початку імітації, бажану швидкість тощо (рис. 10).

Стоянка

№: Имя:

Отрезок: Тип: Примыкание района
 Абстрактная стоянка
 Настоящие стоянки

Длина:

При:

Показать надпись Группы анализа:

Дин. распред **Стоянки** Доп. атрибуты

Отн. нагрузка: Район: +

Проп. спос.: ТС Целевая группа:

Расстояние решения маршрута:

Первоначальная заполненность: ТС Состав:

Стандартная желаемая скорость:

Число: 0	КлТС	РаспрЖелСкор
В списке нет элементов. Новые элементы можно добавить при помощи контекстного меню.		

OK Отмена

Рис. 10. Приклад параметрів налаштування місць для паркування у PTV Vissim

У межах однієї моделі може бути створено нескінченну кількість місць для паркування, які будуть відрізнятися базовими налаштуваннями. Їх можна переглянути у вигляді списку. Приклад створення автостоянок у програмному середовищі PTV Vissim у вигляді списку наведено на рис. 11.

Начальная страница Редактор сети

Автостоянки

Число: 8	№	Имя	ПД	Отрезок	Поз	Длина	Тип	ПропСпос	РаспрЖелСкор	Станд
1	1	50 - 1	50	0,534	8,596	Настоящие стоянки	1	5: 5 км/ч		
2	2	10088 - 1	10088	5,398	6,376	Настоящие стоянки	1	5: 5 км/ч		
3	3	61 - 1	61	0,395	6,067	Настоящие стоянки	1	5: 5 км/ч		
4	4	4 - 1	4	4,081	71,176	Настоящие стоянки	11	5: 5 км/ч		
5	5	62 - 1	62: Кудряшова	2,764	12,695	Настоящие стоянки	2	5: 5 км/ч		
6	6	65 - 1	65	1,184	5,265	Настоящие стоянки	1	5: 5 км/ч		
7	7	66 - 1	66	1,102	5,100	Настоящие стоянки	1	5: 5 км/ч		
8	8	67 - 1	67	1,652	5,660	Настоящие стоянки	1	5: 5 км/ч		

Рис. 11. Приклад списку автостоянок у моделі

13.3. Типи паркувальних зон у транспортній моделі

У PTV Vissim можна моделювати різні типи паркувальних зон, а саме:

- автостоянки (parking lot, car park) – відкриті наземні паркінги;
- вуличні паркінги (on-street parkings) – паркування в межах вулиці (уздовж, упоперек, під кутом);
- гаражі (garages) – паркінги закритого або напівзакритого типу (наземні, підземні, комбіновані);
- паркінги загальноміського центру (park and walk) – паркінги типу «паркуйся і йди», які влаштовують у межах пішохідної доступності до основних об'єктів загальноміських центрів;
- перехоплювальні паркінги (park and ride) – паркінги типу «паркуйся і їдь», які влаштовують на межі міських територій з прив'язкою до кінцевих зупинок високомобільного транспорту загального користування (зазвичай трамваїв і залізниці).

Лекція 14

СТВОРЕННЯ БАЗОВОЇ МІКРОМОДЕЛІ ПОТОЧНОГО СТАНУ (ТИПИ І КЛАСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ)

План лекції

1. Вхідні транспортні і пішохідні потоки.
2. Типи транспортних засобів у транспортній моделі.
3. Класи транспортних засобів у транспортній моделі.
4. Склад транспортного потоку у транспортній моделі.

14.1. Вхідні транспортні і пішохідні потоки

Вхідні транспортні і пішохідні потоки задаються для відрізків, які формують межі області моделювання. Для визначення інтенсивності вхідного потоку потрібно активувати відповідну вкладку на боковій панелі – «Вхідні потоки».

Для введення транспортних чи пішохідних потоків рекомендується дотримуватися такої послідовності дій:

- визначити, які типи і класи транспортних потоків будуть використовуватись у моделі;
- встановити характеристики мережі;
- визначити склад потоку (кількість легкового, вантажного транспорту тощо);
- ввести інтенсивність руху транспорту за напрямками.

Усі вхідні потоки в моделі можна представити у вигляді списку (рис. 12).

Число	№	Имя	Отрезок	Нагр(0-М...	СостТС(0-МАХ)
1	1	1: Кудряшова		140,0	1: По умолчанию
2	2	11		300,0	1: По умолчанию
3	3	17		900,0	1: По умолчанию
4	4	21		600,0	1: По умолчанию
5	5	13		530,0	1: По умолчанию
6	6	23		50,0	2: Пішоходи
7	7	26		50,0	2: Пішоходи
8	8	28		70,0	2: Пішоходи
9	9	31		50,0	2: Пішоходи
10	10	46		50,0	2: Пішоходи
11	11	43		40,0	2: Пішоходи
12	12	39		20,0	2: Пішоходи
13	13	34		15,0	2: Пішоходи
14	14	33		40,0	2: Пішоходи
15	15	32		50,0	2: Пішоходи
16	16	59		20,0	2: Пішоходи

Рис. 12. Список вхідних потоків

14.2. Типи транспортних засобів у транспортній моделі

У PTV Vissim розрізняються класи транспортних засобів, типи транспортних засобів і моделі транспортних засобів.

- Тип транспортних засобів – група транспортних засобів, яка описується властивостями технічних пробігів і вихідними даними для можливого розрахунку емісії. Типові типи транспортних засобів – легковий автомобіль, вантажівка, автопоїзд, сідельний тягач, стандартний автобус, зчленований автобус, трамвай.

- Клас транспортних засобів – один або кілька типів транспортних засобів об'єднуються у клас транспортного засобу за набором характеристик (швидкість, манера поведінки тощо).

- Модель транспортного засобу – сюди належать транспортні засоби, які мають однакові технічні характеристики, але різні геометричні розміри. Наприклад, модель легкового автомобіля може охоплювати кілька марок машин, які матимуть різний зовнішній вигляд, різні розміри, але технічні й динамічні характеристики приблизно однакові. Кожній моделі транспортного засобу повинен відповідати тільки один тип транспортного засобу.

Склад транспортного потоку може формуватися тільки за допомогою заданих типів транспортних засобів. Для громадського транспорту, що рухається по виділеній смузі (трамваї та маршрутні автобуси), склад транспортного потоку не вказується.

Поряд зі стандартними типами транспортних засобів: легковий автомобіль, вантажний автомобіль, автобус, трамвай, пішохід і велосипед – у Vissim можуть створюватися будь-які типи транспортних засобів. Якщо є транспортні засоби тієї самої категорії з різними значеннями прискорення або швидкості, то вони діляться на різні типи транспортних засобів.

14.3. Класи транспортних засобів у транспортній моделі

Клас транспортного засобу охоплює один або кілька вже певних типів транспортних засобів. Той самий тип транспортного засобу може належати до декількох класів транспортних засобів. Приклад класів транспортних засобів наведено на рис. 13.

Число: 8	№	Имя	ТипыТС	ПримЦветТипТС	Цвет
1	10	Автомобиль	100	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
2	20	HGV	200	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
3	30	Автобус	Добавить		(255, 0, 0)
4	40	Трамвай	<input type="checkbox"/> 100: Автомобиль		(255, 0, 0)
5	50	Пешеход	<input type="checkbox"/> 200: HGV		(255, 0, 0)
6	60	Велосипед	<input checked="" type="checkbox"/> 300: Автобус		(255, 0, 0)
7	70		<input type="checkbox"/> 400: Трамвай		(255, 0, 0)
8	80		<input type="checkbox"/> 510: Мужчина		(255, 0, 0)
			<input type="checkbox"/> 520: Женщина		(255, 0, 0)
			<input type="checkbox"/> 610: Велосипедист		(255, 0, 0)
			<input type="checkbox"/> 620: Велосипедистка		(255, 0, 0)

Число: 1	№	Имя	Катег...	Распр2...	РаспрЦ...	Рас...	Про...
1	300	Автобус	Авто...	30: Авт...	1: По ум...	1: Т...	110

Рис. 13. Приклад класів транспортних засобів

За початковим налаштуванням задано кілька класів транспортних засобів: легковий автомобіль, вантажівка, трамвай, автобус, пішохід, велосипед і мотоцикл. У разі потреби в отриманні транспортного засобу з іншими характеристиками можна задати інший клас із відповідним типом.

14.4. Склад транспортного потоку у транспортній моделі

Склад транспортного потоку може формуватися тільки за допомогою заданих типів транспортних засобів. У моделі можуть взаємодіяти між собою різні типи і класи учасників дорожнього руху, у тому числі легкові і вантажні автомобілі, автобуси, велосипеди, пішоходи тощо. Приклад їх візуального представлення наведено на рис. 14. PTV Vissim передбачає можливість завантаження 3D-об'єктів із зовнішніх джерел (зокрема, для представлення учасників дорожнього руху), якщо їх немає у стандартній бібліотеці.

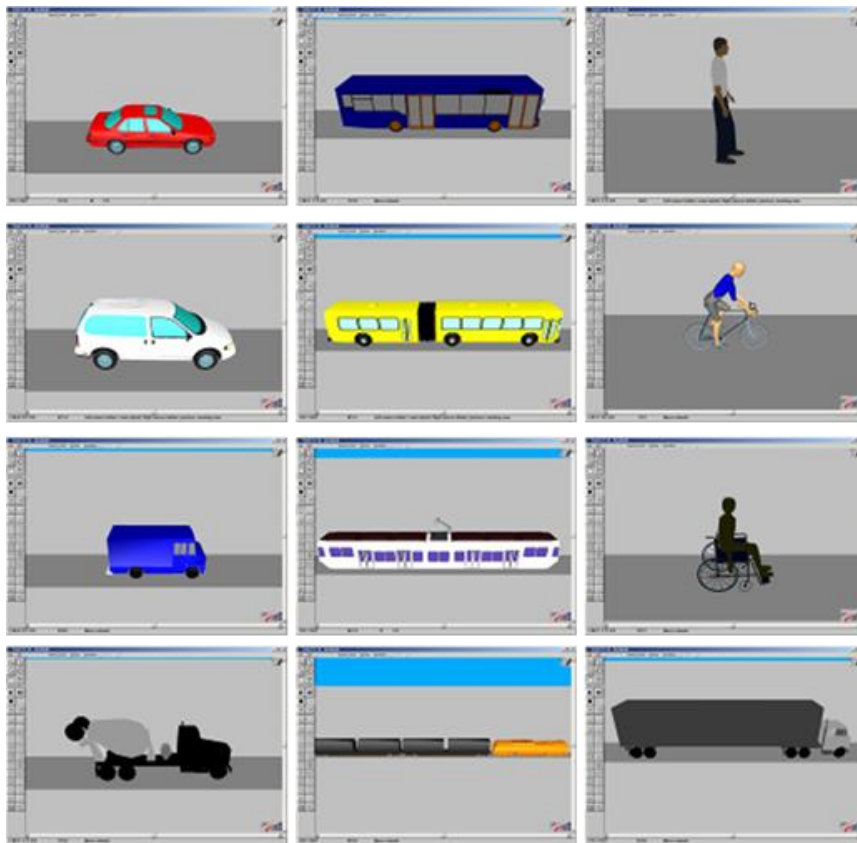


Рис. 14. Приклад візуалізації різних типів учасників дорожнього руху у PTV Vissim

Із заданням складу транспортного потоку PTV Vissim автоматично розраховує абсолютні частки, виходячи з того, що сума всіх відносних навантажень дорівнює 100 %.

Лекція 15

СТВОРЕННЯ БАЗОВОЇ МІКРОМОДЕЛІ ПОТОЧНОГО СТАНУ (СВІТЛОФОРИ, ГРОМАДСЬКИЙ ТРАНСПОРТ)

План лекції

1. Маршрути руху індивідуального транспорту.
2. Маршрути руху громадського транспорту.
3. Зупинки і рухомий склад громадського транспорту.

15.1. Маршрути руху індивідуального транспорту

Маршрут – це фіксована послідовність відрізків і сполучних відрізків від місця початку маршруту до місця призначення. Маршрут може мати будь-яку довжину: від маршруту, що визначає рух транспортних засобів на перехресті, до маршруту, який простягається через усю мережу (рис. 15).

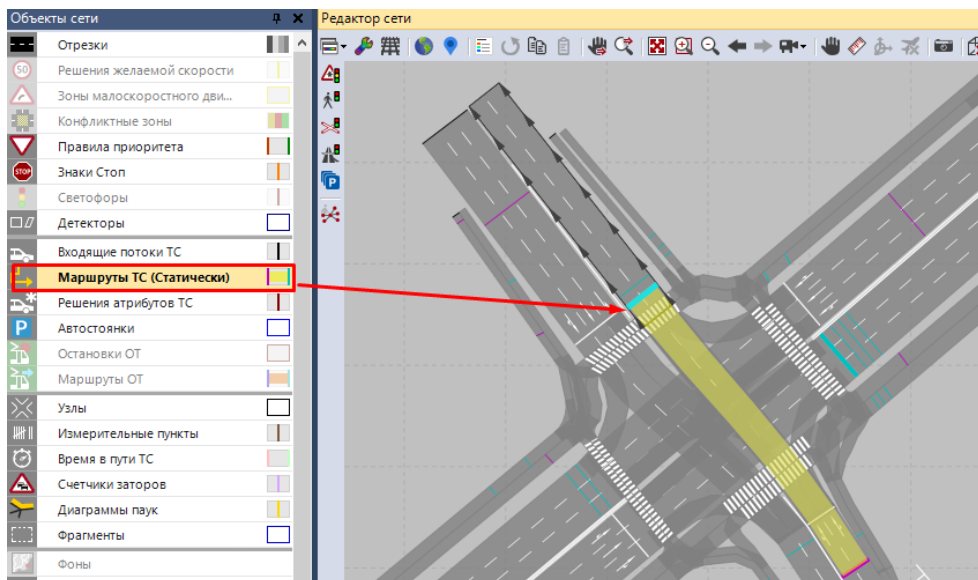


Рис. 15. Приклад маршруту індивідуального транспорту

Рішення маршруту стосується тільки того класу транспортних засобів, який вказано в рішенні маршруту і який не має іншого рішення маршруту. Якщо транспортному засобу вже призначили маршрут, то нове вказане рішення маршруту почне діяти тільки тоді, коли втратить силу старе рішення (тобто в разі перетину транспортним засобом лінії місця призначення). Винятки з цього правила – маршрути громадського транспорту.

Коли використовується кілька рішень маршрутів (окреме моделювання поворотного руху для перехрестя), важливо пам'ятати, що транспортний засіб ігноруватиме будь-яке рішення маршруту в разі, якщо він ще рухається за попереднім рішенням маршруту. Для успішного переміщення транспортного засобу з одного маршруту на інший потрібно місце рішення нового маршруту розташовувати «нижче за напрямком руху» щодо попереднього рішення маршруту. Для найбільш простого вирішення цієї проблеми можна розташовувати всі «зелені лінії» маршруту на першому сполучному відрізку (або відрізку) після останньої точки рішення напрямків для цього маршруту. Поміщаючи завжди всі червоні лінії (рішення напрямків) на відрізку після перехрестя (після закінчення всіх сполучних відрізків), можна бути впевненим, що місце призначення попереднього рішення маршруту не перетнеться з початком нового маршруту.

15.2. Маршрути руху громадського транспорту

Громадський транспорт може пересуватися як у змішаному потоці, так і по окремій смузі або дорозі. У PTV Vissim громадський транспорт розглядається окремо від інших видів транспорту (наприклад, індивідуального). До нього належать автобуси, тролейбуси і трамваї, які обслуговують послідовність зупинок громадського транспорту відповідно до розкладу. Час перебування на зупинках визначається заданим часом розподілу або з розрахунку пасажиропотоків.

Для організації руху громадського транспорту потрібно ввести:

- зупинки;
- маршрути громадського транспорту із зазначенням відповідних зупинок і розкладу руху;
- зупинки для громадського транспорту можуть створюватися як на смузі, так і в кишені;
- зупинки на смузі (громадський транспорт зупиняється на смузі вибраного користувачем відрізка);
- зупинки в кишені (громадський транспорт зупиняється у спеціальному розширенні смуги (призначеної для більш повільного руху) вибраного відрізка).

Громадський транспорт прямує за спеціально відведеним маршрутом і залишається в мережі навіть після закінчення рішення маршруту. Тому

важливо змодельовати рішення маршрутів громадського транспорту таким чином, щоб вони закінчувалися на кінцевому відрізку. Інакше громадський транспорт залишається в мережі й пересувається за невизначеним маршрутом. Перед тим як створювати маршрути руху громадського транспорту, треба переконатися, що в мережі є всі потрібні зупинки.

15.3. Зупинки і рухомий склад громадського транспорту

Зупинки для громадського транспорту можуть створюватися як на смузі, так і в кишені:

- зупинки на смузі (громадський транспорт зупиняється на смузі вибраного користувачем відрізка);
- зупинки в кишені (громадський транспорт зупиняється у спеціальному розширенні смуги (призначеної для більш повільного руху) вибраного відрізка).

Транспортні засоби, що наближаються до громадського транспорту, який зупинився для посадки і висадки пасажирів, спробують обігнати його по сусідній смузі, але якщо смуга для руху одна, то вони зупиняться позаду транспортного засобу, що здійснює посадку/висадку пасажирів. За початковим налаштуванням громадський транспорт, який залишає зупинку, матиме перевагу руху на виїзді з кишені.

У Vissim можливе створення зупинок, де для посадки/висадки пасажирів можуть зупинитися відразу кілька маршрутних транспортних засобів. Щоб добитися цього, потрібно зробити довжину зупинки, яка дорівнює сумі довжин транспортних засобів, плюс відповідна дистанція між ними й відповідна відстань спереду і позаду транспортних засобів.

На багатосмугових відрізках для громадського транспорту можлива зупинка позаду іншого транспортного засобу, крім того, маршрутний транспортний засіб, що зупинився позаду, може покинути зупинку першим, ніж той, що стоїть попереду, якщо для такого маневру досить місця. Якщо зупинка розташована на односмуговому відрізку (мається на увазі кишеня), то кожний наступний транспортний засіб загального користування не може покинути зупинку першим за попереднього. Після того як було задано зупинки й маршрути громадського транспорту, потрібно задати, на яких зупинках зупинятиметься той чи інший маршрут, і визначити, за яким принципом вестиметься розрахунок часу перебування на зупинках.

Лекція 16

ВЕРИФІКАЦІЯ І ВАЛІДАЦІЯ МОДЕЛІ

План лекції

1. Особливості взаємодії різних учасників руху.
2. Верифікація моделі.
3. Валідація моделі.

16.1. Особливості взаємодії різних учасників руху

Оскільки, як правило, одна модель враховує декілька типів учасників дорожнього руху, то треба перевірити, наскільки вірогідно вони взаємодіють між собою, тобто наскільки взаємодія транспортного потоку з пішоходами, з велосипедистами і з транспортом загального користування відповідає реальній ситуації. Взаємодія транспортних засобів із пішоходами відбувається переважно на перехрестях. Рекомендується явно моделювати таку взаємодію тільки там, де це має суттєвий вплив на умови руху (наприклад, перешкоди під час здійснення поворотів, нерегульовані переходи з високою інтенсивністю пішоходів, регульовані перехрестя тощо).

Для транспорту загального користування особливу увагу потрібно звернути на рух транспорту в зоні зупиночних пунктів, а також його взаємодію з пасажирями. Слід враховувати такі питання, як фактичний розклад руху, особливості маневрування, час посадки/висадки пасажирів, швидкість руху тощо. За наявності виділених смуг і пріоритетного пропуску транспорту загального користування треба перевірити коректність їх роботи. Важливе значення мають також зупинки трамвая з висадкою пасажирів на проїжджу частину і виїзд автобусів із локальних розширень.

16.2. Верифікація моделі

Після первинного введення вихідних даних, перш ніж перейти до етапу калібрування, потрібно здійснити перевірку правильності роботи моделі та введеної інформації. Цей процес називається верифікацією. Від якості введення й початкового налаштування моделі істотно залежить не тільки трудомісткість подальшого калібрування та валідації, але й можливість їх виконання у принципі. Для проведення верифікації моделі,

серед інших, використовуються дані, отримані на етапі проведення натурних обстежень.

Метою цього етапу є підтвердження коректності введення даних з таких елементів:

- відсутність помилок безпосередньо під час введення числових параметрів;
- коректність базових налаштувань і співвідношень елементів моделі;
- облік специфічних факторів.

Перевірку коректності базових налаштувань і співвідношень елементів моделі слід проводити за кожним елементом окремо:

1. Глобальні параметри.

До глобальних параметрів належать крок моделювання, час реакції водіїв, тип використовуваної моделі поведінки, яка використовується, та ін. Різні програмні продукти мають свої параметри такого типу.

2. Загальна структура графа вулично-дорожньої мережі і схема організації дорожнього руху.

Під час верифікації слід перевірити правильність введення елементів ВДМ і їх основних параметрів, як-от:

- фактична кількість смуг;
- дозволені напрямки;
- дозволені швидкості;
- похили;
- геометрія перетинів тощо.

3. Параметри транспортних засобів.

Цей етап враховує перевірку типів транспортних засобів, які використовуються в конкретному проєкті, а також характеристики цих типів, такі як довжина, прискорення, уповільнення тощо.

4. Параметри поведінки водіїв.

На етапі перевірки слід обґрунтовано вибрати основні параметри поведінки водіїв: середній часовий інтервал між транспортними засобами, агресивність водіння, налаштування моделі зміни смуг, частка порушників швидкісного режиму, частка водіїв, погано знайомих із цією ділянкою ВДМ, тощо.

5. Параметри перетинів.

Для нерегульованих перехресть потрібно перевірити значення параметрів моделі вибору безпечного проміжку. Вони залежатимуть від видимості, геометрії перетину, типу транспортних засобів. Якість налаштування моделі вибору проміжку може відігравати значну роль у відтворенні пропускну здатності мережі. Слід перевірити, як працюють інтенсивні поворотні потоки, зі скількох рядів фактично здійснюється поворот, скільки автомобілів поміщається в зоні накопичення і як вони впливають на рух в інших напрямках. Також треба перевірити поведінку водіїв на перехрестях, де можливі блокування другорядних напрямків через перевантаження.

На регульованих перехрестях слід ретельно перевірити налаштування параметрів регулювання, як-от пофазний роз'їзд, тривалість циклу, основних і проміжних тактів, параметри адаптивного і координованого управління. Параметри регулювання потрібно звірити з наявною документацією і результатами обстежень. Ключовий параметр, який повинен максимально відповідати реальності, – це потік насичення в перерізі стоп-лінії. Слід ретельно перевірити вплив на потік насичення таких факторів: траєкторія руху, похили, видимість, склад потоку, ширина смуг, перешкоди з боку пішоходів, велосипедистів, зупинки транспорту загального користування тощо.

16.3. Валідація моделі

Після завершення етапу верифікації обов'язково потрібно виконати валідацію моделі – порівняння результатів моделювання й реальної ситуації з використанням набору незалежних даних, що не беруть участі в калібруванні для оцінки працездатності моделі та можливості її використання для прогнозів.

Рекомендується використовувати такі методи виявлення помилок введення:

1. Перевірка правильності введення атрибутів відрізків шляхом різнокольорового виділення. Кольорове відображення дасть змогу швидко визначити відрізки з неправильними атрибутами.

2. Запуск моделі з невеликим завантаженням (менше ніж 50 % від пікового) для пошуку можливих помилок. Якщо в разі невеликого навантаження утворюються затори, то, ймовірно, це через помилки.

2. Простежити кілька траєкторій руху транспортних засобів за ключовими маршрутами. Відстежити непередбачені гальмування і зміни по смугах руху.

3. Запуск моделі з 50%-м завантаженням і вище для аналізу можливості реалізації додаткового попиту. Потрібно перевірити, чи весь попит входить у мережу і який відсоток виходить.

З огляду на світовий досвід у сфері транспортного моделювання рекомендовано, щоб валідацію моделі (крім фахівця, який власне працював над розробкою моделі) додатково виконував хоча б один спеціаліст «ззовні». На виході етапу верифікації модель повинна гарантувати відсутність помилок введення і правильність налаштування основних елементів і їх співвідношень, тобто повинна бути повністю готова до калібрування.

Лекція 17

КАЛІБРУВАННЯ МОДЕЛІ

План лекції

1. Калібрування моделі.
2. Параметри моделі вибору маршруту.
3. Запуск моделювання.

17.1. Калібрування моделі

Калібрування – один з найважливіших етапів побудови моделі будь-якого типу. Метою цього етапу є налаштування моделі таким чином, щоб вихідні параметри моделі достатньою мірою відповідали реально спостережуваним значенням.

Проведення калібрування моделі – це найбільш трудомісткий етап, його виконання вимагає найвищої кваліфікації фахівця з моделювання. На вході етапу калібрування повинна бути ретельно перевірена (верифікована) модель, у якій відсутні будь-які помилки введення й вибрані обґрунтовані початкові налаштування та параметри. З огляду на

значну кількість параметрів, що налаштовуються, потрібно дотримуватися певної стратегії, тобто правил і послідовності дій.

Перш ніж приступати до калібрування конкретної моделі, слід переконатися, що параметри базових моделей поведінки, які використовуються в цьому продукті, налаштовані таким чином, щоб максимально відповідати місцевим особливостям. У загальному випадку не рекомендується використовувати попередньо встановлені параметри базових моделей поведінки у процесі калібрування локальних моделей.

Для вибору значень початкових параметрів рекомендується скористатися даними наявних досліджень місцевих особливостей дорожнього руху або провести такі дослідження. Типи таких параметрів можуть варіюватися залежно від конкретного спеціалізованого програмного забезпечення, основними серед яких є:

- час реакції водіїв;
- значення прискорень і уповільнень;
- часовий інтервал руху між транспортними засобами;
- дистанція в черзі;
- ступінь дотримання обмежень швидкості;
- частка водіїв, які використовують навігатори.

Усю множину параметрів, доступних для калібрування, слід розділити на дві категорії:

1. Параметри, значення яких не викликають сумнівів у достовірності й можуть бути виключені з процесу калібрування.
2. Параметри, у значеннях яких фахівець не впевнений і вважає за потрібне їх налаштування.

Трудомісткість подальшого процесу калібрування і якість отриманої моделі багато в чому залежать на цьому етапі від кваліфікації та досвіду фахівця. З погляду трудомісткості слід зробити другу групу параметрів якомога меншою, проте використовувати таку кількість параметрів, щоб зберегти гнучкість налаштування і не завдати шкоди якості підсумкової моделі.

17.2. Параметри моделі вибору маршруту

Крім контролю правильності введення чисельних значень параметрів транспортного навантаження, потрібно перевірити склад потоку за типами

учасників дорожнього руху, розподіл попиту за часом (інтервали 5–15 хв), коректність маніпуляцій над матрицями кореспонденцій (у разі потреби).

Якщо на розглянутій ділянці ВДМ має можливості руху автомобілів за різними маршрутами і цей розподіл може вплинути на результати, слід приділити особливу увагу вибору й налагодженню моделі вибору маршруту. На етапі верифікації треба перевірити такі аспекти:

- обґрунтованість вибраної моделі розподілу потоків за маршрутами;
- вибір базових налаштувань цієї моделі;
- параметри відрізків, що впливають на вибір маршруту.

17.3. Запуск моделювання

Запуск процесу імітації руху транспорту і пішоходів у середовищі PTV Vissim виконується за допомогою вкладки Play (рис. 16). При цьому перегляд імітації можна здійснювати в режимах 2D і 3D.

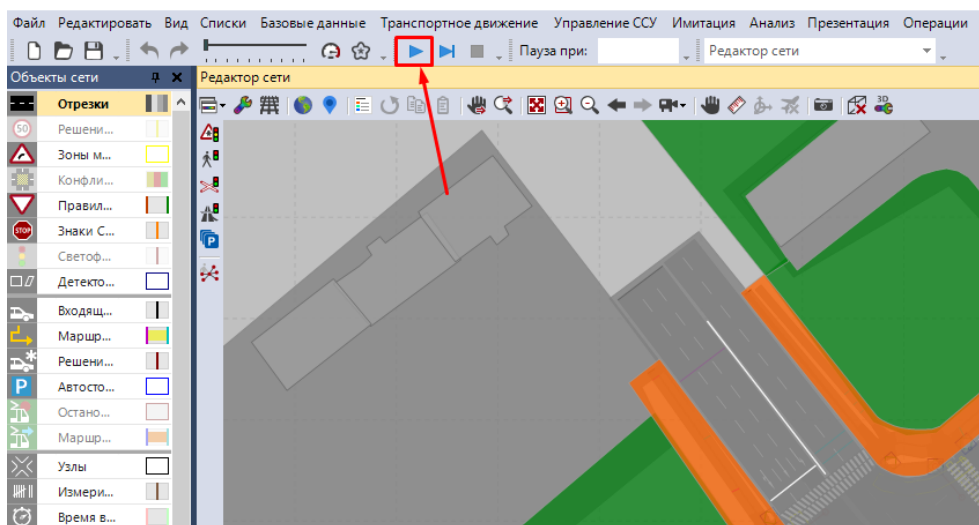


Рис. 16. Запуск процесу імітації

У режимі імітації також рекомендується провести валідацію та верифікацію моделі, адже під час імітації можна наочно оцінити умови руху транспорту і пішоходів, правильність вирішення конфліктних зон і зон малошвидкісного режиму, тривалість фаз і циклів світлофорного регулювання тощо.

Під час імітації попередження про помилки записуються у файл помилок. Після закінчення імітації з'явиться попередження про помилки,

які виникли під час імітації. Файл помилок розташований у папці з проектом і має розширення *.err. У файл-протокол вносяться такі ситуації:

- вхідний потік не повною мірою завантажує мережу (наприклад, через затор на в'їзному відрізку);
- через досягнення максимального значення часу очікування (у разі зміни смуги стандартне значення 60 с) транспортний засіб вилучено з мережі;
- занадто мала дистанція між початком вирішення маршруту і першим з'єднувальним відрізком. Така ситуація змушує транспортний засіб покинути маршрут, тому що він не може своєчасно зупинитися для зміни смуги (як наслідок, залишення маршруту);
- проїзд понад 5 з'єднувальних відрізків у той самий час тим самим транспортним засобом викликає уявне скорочення транспортного засобу в режимі анімації;
- у разі регулювання сигнальними пристроями: порушення мінімальної тривалості зеленого сигналу й порушення проміжного часу;
- бажане рішення швидкості вміщено занадто близько до з'єднувального відрізка.

Лекція 18

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ

План лекції

1. Візуалізація результатів моделювання.
2. Запис презентаційних відеоматеріалів.
3. Основні транспортно-експлуатаційні показники роботи транспорту.
4. Аналіз результатів.

18.1. Візуалізація результатів моделювання

Після розробки моделі транспортного руху у PTV Vissim можна отримати ряд показників для аналізу виконаної роботи. Тобто не тільки

візуально оцінити результати, але й отримати звіти, завдяки яким можна робити обґрунтовані висновки. Графічні матеріали можуть бути підготовлені в режимі 2D і 3D.

Для візуалізації результатів моделювання можуть використовуватися картограми швидкості, щільності, затримок, навантаження тощо на вулично-дорожню мережу в межах області моделювання. Важливий момент: картограми готуються за результатами моделювання останнього завершеного інтервалу. Умовні позначення (легенду) краще зберегти окремо й накладати на раніше підготовлену картограму за допомогою програмних продуктів для редагування графіки. Приклад візуалізації картограми щільності транспортних потоків наведено на рис. 17.



Рис. 17. Приклад візуалізації картограми щільності транспортних потоків

Для наочної візуалізації моделі в режимі 3D можна вставляти й редагувати статичні об'єкти, такі як будівлі, дерева, кущі, газони, світлофори, дорожні знаки й інші визначені користувачем об'єкти в будь-якому місці мережі.

18.2. Запис презентаційних відеоматеріалів

Однією з переваг імітаційного моделювання є можливість запису відео, яке наглядно демонструє роботу вулично-дорожньої мережі. У Vissim можна зробити відеозапис тривимірного моделювання, використовуючи формат *avi. Для отримання записаного avi-файлу потрібно спочатку написати сценарій для відеоролика, за яким буде йти відеозйомка. Для цього спочатку створюються «ключові кадри», ракурс з яких буде представлено у відео, а також інші параметри (ім'я запису,

розширення, ім'я і шлях до файлу запису тощо). Рекомендується записувати відеоматеріали для базової моделі й усіх проєктних сценаріїв, що моделюються.

Програма для стиснення відео, що використовується для запису avi-файлу, має бути встановлена на кожному комп'ютері, де відображаються ці відеоролики. Оскільки тип програми для стиснення відео залежить від налаштувань операційної системи, рекомендується використовувати програми, що широко застосовуються, наприклад Microsoft MPEG-4 Video Codec.

Студентська версія програмного забезпечення PTV Vissim містить обмеження щодо тривалості циклу імітації (максимум 600 с). Як наслідок, тривалість відео також обмежено тривалістю цього циклу. Комерційна й академічні версії подібних обмежень тривалості не мають.

18.3. Основні транспортно-експлуатаційні показники роботи транспорту

Під час аналізу результатів моделювання для різних елементів мережі можна отримувати різні транспортно-експлуатаційні показники роботи транспорту. Наприклад, для відрізків можна визначити:

- інтенсивність руху;
- швидкість руху;
- щільність руху;
- витрату палива;
- емісію шкідливих речовин;
- шум тощо.

Для маршрутів руху транспорту загального користування можна визначити:

- швидкість руху;
- тривалість руху;
- довжину заторів тощо.

Оцінювання результатів транспортного моделювання для визначення ефективності проєктних рішень щодо дорожньої інфраструктури дає змогу в подальшому виконувати техніко-економічне обґрунтування та може слугувати основою для екологічної оцінки проєкту.

18.4. Аналіз результатів

Результати розрахунку можуть бути представлені як для всієї моделі, так і для окремих її елементів і деталізовані до окремих типів учасників дорожнього руху.

Є кілька видів звітності. Для отримання даних аналізу потрібно не тільки встановити і вказати параметри лічильників для збору інформації, але й активувати відповідні опції та їх налаштування (рис. 18).

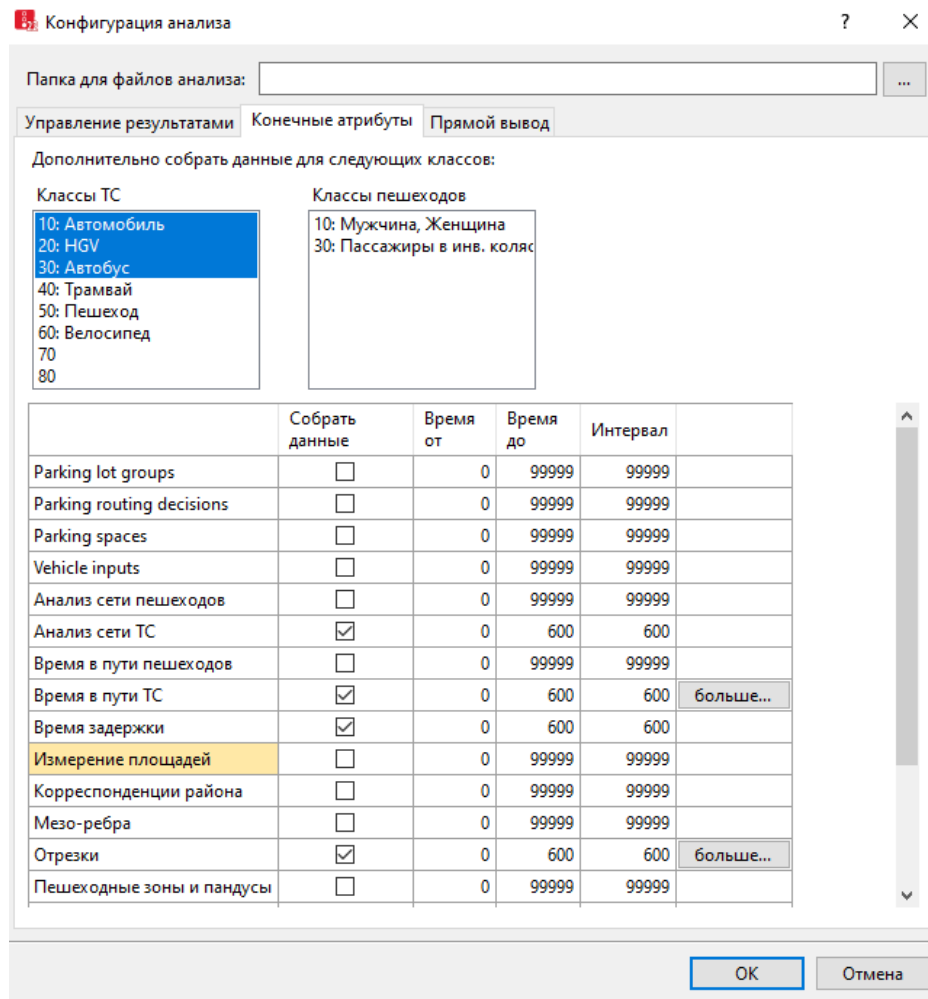


Рис. 18. Конфігурація аналізу

Форми подання даних:

- числова (електронні таблиці);
- графічна (у вигляді картограм, графіків, діаграм тощо);
- база даних моделі з можливістю експорту й подальшої обробки за допомогою інших програмних продуктів (наприклад, QGIS, Microsoft Excel тощо).

Аналіз результатів моделювання дає змогу виявити проблемні ділянки й оцінити основні транспортно-експлуатаційні показники роботи

вулично-дорожньої мережі в базовій моделі поточного положення. На їх основі потрібно розробити два проєктні сценарії з оптимізації поточної схеми організації руху транспорту і пішоходів у межах області моделювання.

Лекція 19

ОЦІНКА БЕЗПЕКИ РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ SSAM

План лекції

1. Оцінка безпеки руху в межах транспортної системи міста.
2. Оцінка безпеки руху на основі SSAM.
3. Аналіз результатів.

19.1. Оцінка безпеки руху в межах транспортної системи міста

Безпека руху всіх учасників дорожнього руху вимагає, щоб будівництво вулиць і доріг, а також планування землекористування передбачали наявність безпечних, доступних і універсальних об'єктів, пріоритетним завданням яких є задоволення потреб найбільш сталих учасників дорожнього руху – пішоходів. Здебільшого конструкція вулиць призначена для задоволення потреб моторних транспортних засобів і ігнорує потреби пішоходів.

Можливість підвищити безпеку пішоходів є важливою складовою зусиль із профілактики дорожньо-транспортних пригод у містах. Основні ризики для пішоходів добре відомі й залежать від багатьох різних факторів, серед яких:

- поведінка водіїв, передусім в аспекті порушення швидкісного режиму й керування транспортними засобами у стані алкогольного сп'яніння;
- рівень розвитку інфраструктури для пішоходів у плані відсутності тротуарів, переходів і дещо піднятих розділювальних смуг;
- конструкція транспортних засобів – наявність твердої лобової частини, яка не зменшує силу удару в разі наїзду на пішохода.

Дорожньо-транспортна пригода – це наїзд або нещасний випадок за участі мінімум одного рухомого транспортного засобу на державній або приватній дорозі, доступній для населення, що призводить до травмування або смерті принаймні однієї людини. Такі випадки виникають у разі

зіткнення транспортних засобів, зіткнення транспортних засобів із пішоходами, зіткнення транспортних засобів із тваринами або нерухомими предметами тощо.

На сьогодні безпека руху транспорту на перехрестях, розв'язках та інших дорожньо-транспортних об'єктах найчастіше оцінюється шляхом відстеження й аналізу зареєстрованих поліцією дорожньо-транспортних пригод. З огляду на випадковий характер дорожньо-транспортних пригод цей підхід повільно виявляє потребу у внесенні змін до організації дорожнього руху або стратегії управління транспортними потоками, а також дає нагоду оцінити безпеку руху на об'єктах вулично-дорожньої мережі, які ще тільки проектуються, перш ніж їх реалізувати.

19.2. Оцінка безпеки руху на основі SSAM

Безпеку об'єктів дорожнього руху найчастіше оцінюють шляхом відстеження й аналізу аварій, про які повідомляють поліцейські. Через рідкісну й випадкову природу аварій цей процес повільний, щоб виявити потребу у виправленні дизайну вулиці або стратегії контролю транспортних чи пішохідних потоків.

З метою вирішення таких завдань розроблено програмне забезпечення SSAM (Surrogate Safety Assessment Model) для автоматизації аналізу конфліктів шляхом безпосередньої обробки даних траєкторій руху транспортних засобів. Для цього використовується «універсальний» формат даних про траєкторію руху, завдяки якому можна отримувати інформацію про місце перебування й параметри руху учасників дорожнього руху приблизно кожну десятю секунди. SSAM поєднує мікросимуляцію і автоматизований аналіз конфліктів, аналізує частоту та характер зіткнень між транспортними засобами під час дорожнього руху, яких вдалося уникнути. Це дає змогу оцінити безпеку дорожнього руху об'єктів, не чекаючи фактичного статистичного перевищення норми кількості аварій і травм після внесення фактичних змін в об'єкти дорожньо-транспортної інфраструктури. Формат файлів, який описує траєкторії руху, наразі можна отримати шляхом експорту з моделей чотирьох програмних продуктів для мікромодельовання: VISSIM, AIMSUN, Paramics і TEXAS.

SSAM являє собою альтернативний підхід до оцінки безпеки руху з використанням аналізу конфліктів, частоти й характеру зіткнень транспортних засобів як показників фактичних даних про дорожньо-

транспортні пригоди. SSAM дає змогу автоматизувати процес виявлення конфліктних ситуацій за даними траєкторії руху транспортних засобів, які можна отримати на основі мікромодельовання дорожнього руху у програмному забезпеченні PTV Vissim. SSAM є безкоштовним для використання, і зараз доступна версія SSAM3.

19.3. Аналіз результатів

У PTV Vissim є можливість оцінювати безпеку руху не тільки для всієї мережі, що моделюється, а й для одного чи декількох вузлів. Це значно пришвидшує процес аналізу. Приклад візуалізації видового вікна в середовищі SSAM наведено на рис. 19.

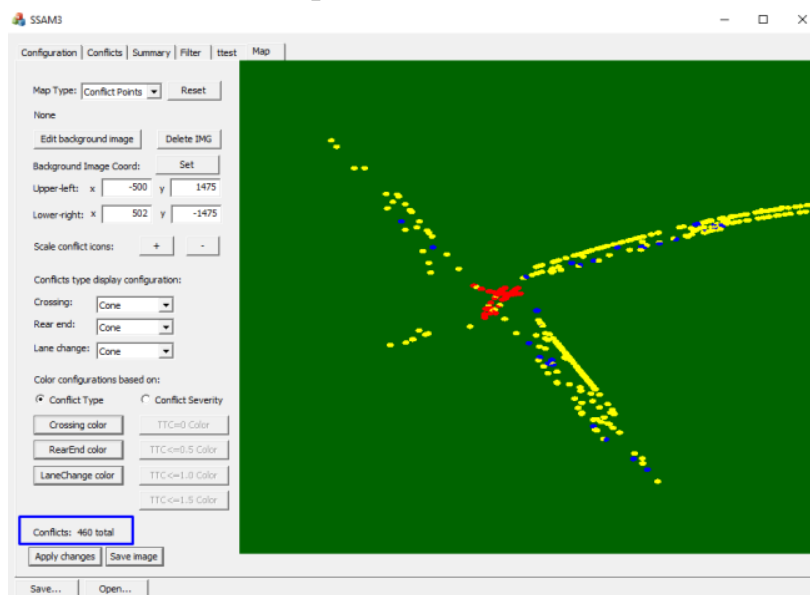


Рис. 19. Приклад візуалізації видового вікна в середовищі SSAM

SSAM не дозволяє користувачеві вибирати одиниці відображення та не здійснює конвертацію (наприклад, з метричної в англійську або навпаки). Усі показники інтерпретуються й відображаються в одиницях, указаних у файлах .trj, оброблених SSAM.

SSAM є потужним інструментом для оцінки безпеки транспортних засобів за допомогою популярного програмного забезпечення для мікромодельовання. Цей підхід виключає потребу в очікуванні реальних дорожньо-транспортних пригод і дає змогу оцінити планувальні рішення на вулично-дорожній мережі ще на стадії проектування. Наукові дослідження в цьому напрямі тривають, і з удосконаленням мікромоделей і відеотехнологій очікується, що практичне використання цієї методики зростатиме.

Лекція 20

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

План лекції

1. Основні підходи до оцінки ефективності проєктних рішень.
2. Порівняльний аналіз ефективності проєктних рішень на основі результатів транспортного моделювання.
3. Використання результатів транспортного моделювання для прийняття містобудівних рішень.

20.1. Основні підходи до оцінки ефективності проєктних рішень

Транспортна модель є інструментом, що забезпечує кількісні та якісні результати можливих наслідків альтернативних рішень (гіпотез), сформульованих на стадії планування («Що буде, якщо...?»). Це формує аналітичну складову у процесі планування і прийняття рішень. Модель може бути використана в різні способи для забезпечення інформацією учасників цього процесу, а саме для:

- розуміння функцій наявної інфраструктури в рамках груп пасажирів, типів вантажів, типів поїздок і пунктів відправлення і призначення;
- виявлення вузьких місць на мережі й розуміння потреби в підвищенні пропускної здатності;
- розуміння впливу нової транспортної схеми на транспортні потоки через мережу, що моделюється, з відображенням реакції попиту на нові об'єкти інфраструктури і створені умови.
- розуміння впливу зміни маршрутів, регулярності, швидкості чи доступності послуг транспорту загального користування на пасажирів тощо.

Зрештою результати транспортної моделі дадуть кількісну інформацію, яка використовуватиметься для розробки схеми транспортного обслуговування, аналізу рентабельності, фінансового аналізу й екологічної оцінки. Команда, що займається моделюванням, має знати, що безпосередні користувачі результатів транспортної моделі

розраховують на стійкі транспортні прогнози. Тому слабкі сторони транспортної моделі знижують можливість моделі бути корисною для інших фахівців.

Таким чином, якісна модель, заснована на відповідному наборі даних, створює якісну сукупність вихідних даних для концепції, проектування й результатів оцінки. Це, зі свого боку, дає змогу забезпечити більш обґрунтоване проектування й оцінку транспортних проектів.

20.2. Порівняльний аналіз ефективності проектних рішень на основі результатів транспортного моделювання

В основі порівняльного аналізу ефективності проектних рішень на основі результатів транспортного моделювання лежить порівняльна оцінка основних показників роботи моделей для базового і проектних сценаріїв. Тобто мінімально допустимою кількістю моделей, яка дасть змогу виконати оцінку того чи іншого містобудівного рішення, є дві одиниці, а максимум не обмежується. Проектні моделі розробляються шляхом внесення коректив у транспортну модель поточного періоду. Зміни можуть стосуватися коригування різних параметрів вулично-дорожньої мережі, зокрема:

- циклів світлофорного регулювання;
- організації руху транспорту і пішоходів;
- геометричних параметрів вулично-дорожньої мережі;
- розташування зупинок громадського транспорту;
- пріоритетності проїзду вузлів і окремих конфліктних зон тощо.

Підготовка проектних моделей може потребувати проведення додаткових досліджень і збору вихідних даних.

Під час аналізу ефективності проектних рішень на вулично-дорожній мережі міст варто враховувати, що будь-які заходи з підвищення пропускної здатності для автомобільного транспорту в межах міста є реакцією на зростання рівня автомобілізації, тому допоможуть зменшити рівень заторів лише в короткочасній перспективі, але згодом сприятимуть їх збільшенню через явище індукованого попиту на дорожню інфраструктуру, неконтрольоване зростання рівня автомобілізації та автомобілекористування.

20.3. Використання результатів транспортного моделювання для прийняття містобудівних рішень

Для більшості базових моделей результати можуть бути обмежені транспортними потоками й затримками для одного перехрестя вулично-дорожньої мережі. Для більших базових моделей результати містять звіти про транспортні потоки, попит на послуги транспорту загального користування за маршрутами руху і місцем перебування, вантажоперевезення, затримки на перехрестях, розподіл за видами транспорту, викиди шкідливих речовин і загальну статистику, що описує ефективність мережі. Складними й добре підтримуваними програмними пакетами є ті, що автоматично розраховують набір подібних результатів у рамках інтерфейсу користувача. Для всіх програмних пакетів моделювання потрібні відповідні вихідні дані, які роблять серйозні інструменти оцінки.

Транспортна модель ефективно «автоматизує» процес заповнення транспортної мережі транспортним попитом, тим самим генеруючи результати для користувача, дає змогу оцінити багато транспортних схем або їх варіантів для моделювання, які перевіряються за узгодженим набором критеріїв безпосередньо один за одним.

Результати транспортної моделі можуть забезпечити суттєву аналітичну оцінку для розуміння наявних чи майбутніх транспортних проблем, тим самим підтримуючи проектування інфраструктури й оперативне планування проведення робіт. Модель дає змогу визначити ймовірні наслідки результатів пропонованого проєкту (стратегії) чи транспортної та екологічної політики. Таким чином, транспортна модель є важливим інструментом підтримки прийняття рішення, що забезпечує належну й точну інформацію про наслідки запланованих дій.

У деяких країнах транспортне моделювання є відносно новою дисципліною (до таких країн належить і Україна), яка ще не має методичного забезпечення, розробленого в повному обсязі, але прагне зайняти сильні та стабільні позиції у процесах транспортного планування. Як наслідок, обґрунтування і прийняття містобудівних рішень в окремих містах і регіонах уже здійснюється, зокрема, з використанням інструментів транспортного моделювання. Нижче наведено деякі з них:

- автобусний маршрут № 114 у м. Києві від Залізничного вокзалу на Троєщину – це пілотний проєкт співпраці Світового банку і Департаменту транспорту Києва, який було реалізовано на основі даних транспортної моделі;

- у рамках реорганізації транспортно-пішохідного руху та благоустрою території на Лук'янівській площі розроблено транспортну імітаційну мікромодель для поточного стану і прогнозних періодів, яку було використано для обґрунтування ефективності проєктних рішень;
- під час аналізу концепцій з реорганізації дорожнього руху в центральній частині Вінниці використано її транспортну модель;
- оцінка впливу утворення пішохідної вулиці Бориса Лятошинського в місті Житомирі на транспортну ситуацію на прилеглих вулицях виконувалася з використанням транспортного імітаційного мікромодельювання;
- для аналізу ефективності реконструкції перетину вул. В'ячеслава Чорновола, вул. Новодвірської, вул. Озерної в місті Рівне використано транспортну імітаційну мікромодель, яка використовувалася для моделювання транспортного вузла в поточній конфігурації та кількох проєктних сценаріїв;
- реорганізація руху декількох маршрутів транспорту загального користування в місті Маріуполі здійснювалася з використанням транспортної моделі міста. Це рішення дало змогу залучити кошти міжнародних спонсорів, завдяки яким закуплено нові одиниці рухомого складу.

Запитання для самоконтролю

1. Назвіть основні рівні транспортного моделювання.
2. Які об'єкти мережі використовуються у програмному забезпеченні PTV Vissim?
3. Які основні завдання та сфери застосування транспортного макро- і мезомоделювання?
4. Для чого визначаються конфліктні зони під час розробки транспортної імітаційної мікромоделі?
5. Назвіть основні завдання транспортного мікромоделювання.
6. Для чого визначаються зони малозшвидкісного руху під час розробки транспортної імітаційної мікромоделі?
7. Назвіть основні етапи становлення й розвитку транспортного моделювання.
8. Які види візуалізації результатів транспортного імітаційного мікромоделювання ви знаєте?
9. Які основні вихідні дані потрібні для розробки імітаційної мікромоделі?
10. Назвіть елементи вікна мережі у програмному комплексі PTV Vissim.
11. Як саме застосовується транспортне імітаційне моделювання для оцінки безпеки руху транспорту і пішоходів?
12. Які типи місць для паркування використовуються у транспортному мікромоделюванні?
13. Назвіть основні параметри калібрування моделі.
14. Зазначте мету й завдання валідації та верифікації моделі.
15. Охарактеризуйте вхідні транспортні та пішохідні потоки як елементи транспортної імітаційної мікромоделі.
16. Назвіть основні сфери застосування транспортного імітаційного мікромоделювання.

17. Зазначте етапи розробки транспортної мікромоделі.
18. Як встановлюється економічна ефективність варіантів планувальних рішень перетинів на вулично-дорожній мережі міста?
19. Які класи транспортних засобів використовуються для розробки транспортної імітаційної мікромоделі?
20. Які об'єкти мережі передбачено у програмному комплексі PTV Vissim?
21. Наведіть приклади методів збору даних про стан і функціонування елементів транспортної інфраструктури?
22. Як можна використовувати результати транспортного моделювання для обґрунтування вибору інженерно-планувальних рішень перетинів?

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 І. Проектування. Частина ІІ. 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. – [Чинний 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. – [Чинний від 2014-04-01]. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 42 с. (Національні стандарти України).
6. Про автомобільні дороги : Закон України № 2862-IV від 08.09.2005. – Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2005, № 51. – 556 с.
7. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України № 2276-VIII від 06.02.2018. – Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 34. – 343 с.
8. Шилова Т. О. Урбоекологія : навчальний посібник / Т. О. Шилова. – К. : КНУБА, 2016. – 261 с.
9. Інженерне обладнання та облаштування вулиць : навчальний посібник у 2 частинах / М. М. Осетрін, Т. О. Шилова, П. П. Чередніченко. – К. : КНУБА, 2011. – 96 с.
10. 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.
11. 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.

12. Осетрін М. М. Міські дорожньо-транспортні споруди : навчальний посібник для студентів ВНЗ. – К. : ІЗМН, 1997. – 196 с.

13. Управління розвитком міст : навчальний посібник / Є. Є. Ключниченко. – К. : КНУБА, 2015. – 160 с.

14. 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.

15. Транспортне імітаційне моделювання : методичні вказівки до виконання практичних занять і курсового проєкту 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.

16. JASPERS Appraisal Guidance (Transport), The Use of Transport Models in Transport Planning and Project Appraisal, 2014. Режим доступу: <http://www.jaspersnetwork.org>.

17. 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>.

18. 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.

19. Глосарій статистичного управління Європейського Союзу. Режим доступу: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>.

20. Ortúzar, J. and Willumsen, L. Modelling Transport 4th Edition. Wiley, 2011.

21. 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.

Навчальне видання

ОСЕТРІН Микола Миколайович,
ТАРАСЮК Володимир Петрович,
БЕСПАЛОВ Дмитро Олександрович

ТРАНСПОРТНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Конспект лекцій

Редагування та коректура *Т. В. Івченко*

Комп'ютерне верстання *Л. В. Лабунець*

Підписано до друку 18.04.2023 Формат 60 × 84 ^{1/16}

Ум. друк. арк. 4,42. Обл.-вид. арк. 4,75

Електронний документ. Вид. № 8/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