

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Д. Л. Бурко

«ЛОГІСТИКА МІСТ»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання
спеціальності 073 – Менеджмент)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018

Бурко Д. Л. Логістика міст : конспект лекцій (для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання спеціальності 073 – Менеджмент) / Д. Л. Бурко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва. ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 56 с.

Автор Д. Л. Бурко

Рецензент кандидат технічних наук, доцент Є. І. Куш

*Рекомендовано кафедрою транспортних систем та логістики,
протокол № 2 від 31 серпня 2018 р.*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лекція № 1 Визначення, напрями розвитку та завдання міської логістики	5
Лекція № 2 Моделювання процесів логістики міста.....	25
Лекція № 3 Маршрутизація та планування роботи транспортних засобів.....	43
Лекція № 4 Перспективи міської логістики.....	49
Перелік використаних джерел.....	56

ВСТУП

Міська логістика – комплекс логістичних рішень, дій, процесів, що направлені на оптимізацію управлінських рішень адміністрації, потоків матеріалів, транспортних засобів, людей, знань, енергії, фінансів, інформації в рамках підсистем міста та його інфраструктури. Щільність зазначених потоків і їх розподіл по територіях міст неоднакові. У ряді районів, як правило, розташованих в центральній частині міст, потоки масштабні за величиною і ступенем їх концентрації. Вони обумовлюють перевантаженість комунікацій міста, виникнення заторів в просуванні потоків необхідних місту ресурсів, ускладнюють роботу громадського транспорту, комунальних і соціальних служб [1–3].

Метою міської логістики є: задоволення потреб його мешканців; раціональна організація в просторі і в часі матеріального і соціального потоків, що забезпечує максимальну орієнтацію всієї виробничо-господарської діяльності муніципальних підприємств для задоволення потреб населення [1–3].

Завданнями міської логістики є: інтеграція міста в єдине креативне ціле; розвиток культури; раціоналізація матеріальних і соціальних потоків в муніципальному господарстві; максимізація завантаження виробничих потужностей підприємств муніципального господарства; економія матеріальних ресурсів на всіх стадіях матеріального потоку; оптимізація витрат на виробництво і реалізацію готової продукції і послуг населенню; зниження викидів токсичних та парникових газів в навколишнє середовище [1–3].

ЛЕКЦІЯ №1

ВИЗНАЧЕННЯ, НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТА ЗАДАЧІ МІСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ

Питання для обговорення

- 1.1 Вступ.
- 1.2. Головні поняття.
- 1.3. Зацікавлені сторони.
- 1.4. Критерії оцінки.
- 1.5. Схеми логістики міста.
- 1.6. Моделювання.
- 1.7 Системний підхід у City Logistics.

1.1 Вступ

Добре відомо, що міський вантажний транспорт відіграє істотно важливу роль у сталому розвитку міст. Проте міські вантажні перевезення останнім часом стикаються з багатьма складними проблемами, зокрема з високим рівнем заторів на дорогах, негативним впливом на навколишнє середовище, високим споживанням енергії та браком робочої сили. У цих складних умовах перевізникам також пропонується надавати більш високий рівень обслуговування з більш низькими витратами.

У відповідь на ці проблеми виникла нова галузь транспортного планування, що називається **City Logistics**. **Міська логістика** – це процес повної оптимізації діяльності в сфері міської логістики з урахуванням соціальних, екологічних, економічних, фінансових та енергетичних наслідків міського вантажного руху. У цьому конспекті представлені головні концепції та підходи **City Logistics**. Зокрема він фокусується на

моделюванні **City Logistics**. Моделювання дуже важливе, оскільки для їх реалізації потрібна оцінка впливів, що створюються заходами міської логістики. У конспекті головна увага приділяється мережному моделюванню, зокрема моделі маршрутизації та планування транспортних засобів із тимчасовими вікнами, моделі розташування логістичних терміналів і моделі впливу заходів міської логістики.

1.2 Головні поняття

Поняття «Міська логістика» [1] має потенціал для вирішення багатьох складних проблем, пов'язаних з організацією перевезень вантажів у масштабах міста. У [1] визначено міську логістику як «процес оптимізації логістики та транспортної діяльності приватних компаній у міських районах, урахуваючи транспортне середовище, завантаженість трафіку та споживання енергії в межах ринкової економіки». Метою **City Logistics** є глобальна оптимізація систем логістики в межах міста, розглядаючи витрати та переваги схем як для громадськості, так і для приватного сектора. Приватні вантажовідправники та вантажні перевізники прагнуть зменшити свої витрати на вантажні перевезення, тоді як державний сектор намагається пом'якшити затори й екологічні проблеми.

1.3 Зацікавлені сторони

У місті містяться чотири головні зацікавлені сторони:

- а) вантажовідправники; б) вантажні перевізники; в) резиденти;
- г) адміністратори.

Кожна з ключових зацікавлених сторін у міському вантажному транспорті має свої специфічні цілі та може поводитися по-іншому. Моделі логістики міста повинні визнати ці чинники.

Постачальники – клієнти вантажних перевізників, які або надсилають товари іншим компаніям чи особам, або отримують товари від них. Зазвичай, вантажовідправники прагнуть максимально збільшити свій рівень обслуговування, який включає вартість, час для збирання або доставки, а також надійність транспорту та кінцеву інформацію. Останнім часом популярною була вимога, щоб перевізники доставляли клієнтів у визначені терміни для отримання чи доставки. Нещодавнє опитування в Японії в містах Осака та Кобе показало, що перевізники повинні були працювати з визначеними термінами прибуття або вікнами для 52 % поставок товарів та 45 % товарів, зібрані в розрізі ваги. Такі жорсткі тимчасові вікна призвели до зменшення кількості вантажів, що перевозяться частіше. Надійність доставки вантажів стала найважливішою для транспортних систем Just-In-Time. Існує два види надійності: а) доставка без пошкодження товару; б) доставка без будь-якої затримки щодо зазначеного часу у споживачів.

Транспортні перевізники зазвичай намагаються мінімізувати витрати, обумовлені збиранням і доставкою товарів покупцям, щоб максимізувати їхній прибуток. Існує великий тиск, щоб забезпечити більш високий рівень обслуговування клієнтів за меншу загальну вартість. Це особливо важливо, коли перевізники просили надходити до клієнтів протягом визначеного періоду часу. Проте вантажні перевізники зазвичай стикаються з труднощами в експлуатації своїх транспортних засобів на міських дорогах через перевантаженість трафіку. Це призвело до неефективного використання вантажівок, де транспортуються менші вантажі, і вантажівки зазвичай доводиться чекати поблизу місця

розташування замовників, коли вони прибувають раніше, ніж у визначений час.

Мешканці – це люди, які мешкають, працюють та купують товари в місті. Вони не сприймають позитивно надходження великих вантажівок на вулиці міста, хоча ці транспортні засоби містять необхідні товари. Вони хотіли б звести до мінімуму затори, шум, забруднення повітря та дорожньо-транспортні пригоди поблизу їх житлових та торгових приміщень. У комерційних зонах районів міста роздрібні торговці хочуть отримати їхні товари у зручній для них час. Проте це іноді суперечить мешканцям, які бажають спокійних та безпечних умов на місцевих дорогах.

Адміністратори міста намагаються покращити економічний розвиток міста та збільшити можливості для працевлаштування. Вони також орієнтовані на зменшення заторів, поліпшення навколишнього середовища та підвищення безпеки дорожнього руху в межах міста. Вони повинні бути нейтральними та мають відігравати важливу роль у вирішенні будь-яких конфліктів серед інших ключових зацікавлених сторін, які беруть участь у міському вантажному транспорті. Тому це адміністратори, які повинні координувати та сприяти ініціативам **City Logistics**.

1.4 Критерії оцінки

Існує багато критеріїв оцінки ініціатив **City Logistics**, оскільки у русі міського товару бере участь безліч зацікавлених сторін. Мінімізація витрат або максимізація прибутку є типовим критерієм для вантажних перевізників і вантажовідправників. Мінімізація викидів NO_x, CO₂, рівня шуму, рівня вібрації та аварій на дорогах може бути критерієм для жителів та адміністраторів. Оскільки існує низка критеріїв оцінки для кожної із зацікавлених сторін, важко визначити єдину оцінку як захід для ініціатив

City Logistics. У цьому разі є слушними багатооб'єктивна оцінка та методи оптимізації Парето, які можна використати для порівняння ефективності альтернативних схем.

1.5. Схеми логістики міста

1.5.1 Огляд

Міська логістика зазвичай включає одну або декілька таких ініціатив:

- а) розширені інформаційні системи;
- б) кооперативні вантажні транспортні системи;
- в) термінали державної логістики;
- г) контроль навантаження;
- д) підземні вантажні транспортні системи.

Загальновизнаним є те, що ці ініціативи необхідно об'єднати та урізноманітнити, з метою того, щоб вони були сумісними з політикою планування місцевого транспорту.

1.5.2 Розширені інформаційні системи

Розвинені інформаційні системи стали важливими для раціоналізації існуючих логістичних операцій. Загалом передові інформаційні системи для операцій із завантаження та доставки вантажу мають три важливі функції:

- а) дозволити комунікацію між водіями та центром керування;
- б) надати інформацію про стан дорожнього руху в режимі реального часу;
- в) зберігати детальні історичні дані збирання та доставки транспортних засобів.

Третя функція не була повністю обговорена в літературі, але це дуже важливо для раціоналізації логістичних операцій. Одна японська компанія з виробництва молока мала успішне застосування історичних даних про операції. Після введення супутникової інформаційної системи на один рік компанія змогла зменшити кількість вантажних автомобілів для завантаження та доставки на 13,5 % (із 37 до 32 автомобілів) та збільшити їхній середній коефіцієнт завантаження на 10 % (з 60 % до 70 %). Комп'ютерна система була використана для зберігання детальної історичної інформації про операції з завантаження та доставки вантажівок, зокрема час початку та прибуття в депо та споживачах, а також тривалість очікування, швидкість руху та пройдених маршрутів. Компанія змогла проаналізувати ці дані та змінити їхні маршрути та графіки, щоб істотно підвищити ефективність їхнього автопарку. Цей тип системи може зменшити як вантажний транспорт, так і екологічні витрати в межах міста.

1.5.3 Кооперативні вантажні транспортні системи

Декілька дослідників [1-3] досліджували кооперативні системи вантажних перевезень, що дає змогу зменшити кількість вантажівок для збирання або доставки такої самої кількості вантажів. На підставі проведеного опитування [1], можна побачити конкурентоспроможних вантажних перевізників, які співпрацюють у постачанні товарів у внутрішнє місто Кассель у Німеччині. Нейтральний вантажний перевізник збирає товари п'яти вантажних перевізників і доставляє їх у магазини у внутрішньому місті. Після впровадження цієї системи скоротився загальний час, пройдений вантажівками, а також черги вантажних автомобілів, які чекають доставки вантажів на вулиці. Спочатку ця система почалася з 10 вантажних перевізників, а зараз у кооперативній системі залишаються п'ять компаній. Ще однією видатною справою є

кооперативна система доставки серед 11 універмагів в Осаці, Японія. У цій системі переважно два універмаги з депо, прилягають один до одного, обмінюються своїми товарами, які будуть доставлені в околиці депо. Це призвело до значного скорочення часу проїзду вантажних автомобілів, часу роботи людини та загальних витрат. Як зазначено в цих випадках, кооперативні вантажні системи можуть істотно зменшити транспортні витрати, а також вплив на навколишнє середовище.

1.5.4 Громадські логістичні термінали

Громадські логістичні термінали, розташовані в районах навколо міста, можуть бути корисними для сприяння кооперативним системам вантажних перевезень [1–3]. Хороший приклад цієї платформи для міського розподілу можна побачити в Монако. Ця платформа забезпечується урядом та експлуатується приватним вантажним перевізником для доставки товарів до міських районів. Ця компанія субсидується урядом для надання послуги доставки з більш низькими цінами, ніж зазвичай. Ця система допомагає зменшити необхідну кількість вантажівок, що використовуються для поставок. У Японії перший багатофункціональний логістичний термінал буде побудований у Секі поблизу Нагої. Цей логістичний термінал називається «логістичним містом» та має різні функції, такі як перевантаження товарів, складання продуктів під час розподілу, склади та оптові ринки. Цей проект планується та виконується групою компаній різних галузей промисловості за підтримки національних, префектур та муніципальних органів влади.

1.5.5 Управління процесом навантаження

Контроль навантажень вантажівок – це порівняно нова ініціатива на відміну від традиційних правил, таких як обмеження ваги автомобіля, установлені терміни для вантажних автомобілів для входу в центри міста та контроль над викидами в автомобілі. Два європейських міста (Копенгаген та Амстердам) запровадили сертифікатну систему для вантажних перевізників, які доставляють або збирають товари в центральних міських районах у 1998 році. У Копенгагені дається змога використовувати тільки транспортні засоби із сертифікатом (зелена наклейка) на державні вантажні та вивантажувальні термінали у внутрішнє місто. Цей сертифікат можна видавати тільки транспортним засобам, що відповідають двом таким умовам:

- а) коефіцієнт навантаження становить більше 60 відсотків;
- б) вік автомобіля становить до восьми років.

Компанії, що володіють транспортними засобами, повинні щомісяця складати звіт про коефіцієнт навантаження своїх транспортних засобів. Для підтримки сертифікації компанія повинна мати середній вантажний коефіцієнт протягом попереднього місяця вище 60 відсотків. У Амстердамі автомобілі вагою понад 7,5 тонн не мають права використовувати вулиці, окрім головних вулиць. Проте транспортні засоби вагою понад 7,5 тонн можуть отримати спеціальний сертифікат для в'їзду на ці вулиці, якщо вони задовольняють наступним трьом умовам:

- а) коефіцієнт навантаження становить більше 80 відсотків;
- б) довжина становить менше 9 м;
- в) двигун повинен відповідати стандартам викидів парникових газів Євро-2.

Поліція перевіряє коефіцієнт завантаження конкретних транспортних засобів на дорозі. Ця ініціатива передбачає, що більш високі коефіцієнти навантаження зменшують вплив на навколишнє середовище.

1.5.6 Підземні транспортні системи

Підземні системи вантажних перевезень - це інноваційні рішення для міських вантажних перевезень. Французький математик та інженер Огюстен-Луї Коші та співавтори [3] оцінили наслідки побудови підземної вантажної транспортної системи в центральному районі Токіо, Японія. Результати цього дослідження вказують на те, що викиди NO_x та CO₂ будуть відповідно зменшені на 10 і 18 %, а споживання енергії буде зменшено на 18 %, а середня швидкість руху збільшиться на 24 %. Дослідники Ооіші та Танігучі [4] вивчили економічну доцільність підземної вантажоперевізної системи в Токіо і дійшли висновку, що цей проект має внутрішній приріст доходу 10 відсотків, коли структура побудована державним сектором.

Двоповерховий вантажний автомобіль (DMT) був розроблений та випробуваний Інститутом громадських робіт Міністерства будівництва Японії. Цей новий тип автоматизованого електричного вантажу може проходити через ексклюзивну провідну дорогу в підземних тунелях із зовнішнім джерелом електроенергії, а також подорожувати на звичайних вулицях, що експлуатуються водієм із батареями. У Нідерландах було запропоновано подібну ідею [4] та досліджено можливість здійснення підземної системи вантажних перевезень між аеропортом Аалсмір та аеропорт Схіпхол для перевезення квітів. Автоматизована вантажопідіймна машина з назвою «Combi-road» також була розроблена та випробувана групою приватних компаній.

1.6 Моделювання

1.6.1 Вступ

Кваліфікація наслідків міських логістичних ініціатив необхідна для їх оцінки та планування. Прогноз впливу ініціатив **City Logistics** на цілі оцінки потребує моделювання. Моделі повинні описувати поведінку ключових зацікавлених сторін, що беруть участь у міському вантажному транспорті. Вони також повинні включати діяльність вантажних перевізників, зокрема перевезення та завантаження або вивантаження товарів на депо або клієнтах. Моделі також повинні описувати рух транспорту на міських дорогах для вантажних транспортних засобів, а також легкових автомобілів. Моделі також потребують кількісної оцінки витрат на логістичні заходи, заторів у дорозі, викидів шкідливих газів та рівня шумів тощо після реалізації ініціатив **City Logistics**.

Моделювання логістики міста є складним завданням, оскільки існує безліч складних логістичних заходів для кожної із зацікавлених сторін, а також багато різних оціночних критеріїв для оцінки впливу ініціатив **City Logistics**. Тому моделювальник повинен бути дуже обережним щодо того, яка діяльність зацікавлених сторін повинна розглядатися та які критерії оцінки необхідно передбачити. Крім того, моделювання транспорту на дорожніх мережах є важливим компонентом моделей логістики міста. Однак вантажні транспортні засоби є тільки частиною загального руху міських автомобільних мереж. Моделі логістики міста повинні враховувати як вантажні, так і пасажирські транспортні засоби та зосередити увагу на впливі вантажних транспортних засобів. Для цього потрібна окрема обробка вантажних та пасажирських транспортних засобів у формуванні матриць походження та призначення та розподілу трафіку.

1.6.2 Обмеження моделей

На сьогодні моделі обмежені у їх здатності кількісно прогнозувати всі наслідки заходів **City Logistics**. Це визначається тим, що рух міського товару – дуже складна система з багатьма зацікавленими сторонами. Існуючі розроблені математичні моделювання на сьогодні недостатні для повного опису цілих міських транспортних систем. Зокрема взаємодія між зацікавленими сторонами недостатньо представлена в існуючих моделях. Інша складність, що виникає під час моделювання **City Logistics**, полягає у тому, що **City Logistics** включає економічну діяльність приватних компаній та потоки транспортних засобів у дорожніх мережах. Досить складно розглядати обидва аспекти логістичної діяльності в єдиній моделі. Крім того, калібрування та перевірка моделі нелегкі в реальних ситуаціях через брак відповідних даних, що описують поточні схеми руху товарів.

1.7 Системний підхід в City Logistics

1.7.1 Огляд

Міські вантажні системи є складними, мають численні компоненти та взаємодії. Системний підхід – це методика визначення проблем та визначення рішень. Він забезпечує аналітичну основу для моделювання та оцінки схем міської логістики. Цей підхід визначає процес, що складається з низки суміжних заходів для розслідування проблем міського транспорту.

Роль аналітика полягає в тому, щоб допомогти органам, що приймають рішення, робити обґрунтований вибір, надаючи технічну консультацію [5]. Це передбачає визначення варіанта, найбільш узгодженого з цілями, що приймаються керівниками.

Системний підхід визначає найкращий спосіб використання обмежених ресурсів для досягнення визначених цілей. Це безперервний процес творчого вирішення проблем, який істотно залежить від моделювання та збирання даних, щоб допомогти вирішити завдання.

Ілюстрації того, як ITS було розроблено для **City Logistics**, буде використана для демонстрації того, як можна застосувати системний підхід до вирішення проблем розподілу міських товарів.

У цьому розділі наведено тільки загальний огляд загальних понять, обумовлених системним підходом. Важливо, однак, щоб ці поняття застосовувались під час пошуку шляхів вирішення конкретних міських вантажних проблем, оскільки кожне місто має свій специфічний соціальний, економічний та екологічний фон, що вимагає ретельного вивчення та аналізу.

Системний підхід спочатку зосереджується на визначенні проблеми, а потім уточнює цілі та визначає критерії. Наступний етап включає в себе розгляд будь-яких обмежень та наявних ресурсів, що дає змогу створювати діапазон альтернатив і визначити належний рівень збору та моделювання даних. Моделі відіграють центральну роль у системному підході. Вони використовуються для прогнозування ефективності альтернатив. Тут складаються оцінки майбутнього попиту, пропозиції та впливу. Потрібно дослідити чутливість цих ефектів до будь-яких припущень. Альтернативи оцінюються на підставі їхніх наслідків. Процедура вибору визначає, яку альтернативу вибрати для реалізації. Після реалізації обраної альтернативи її результати розглядаються. Цей ланцюжок зворотного зв'язку включає перевірку того, чи була вирішена початкова проблема та досягнуті цілі. Якщо початкова проблема не була вирішена, можливо, доведеться перевизначити її або змінити початкові цілі. У будь-якому випадку цей процес триватиме, доки початкова проблема не буде вирішена і досягнуті

цілі. Процес зазвичай триває, оскільки виникають нові проблеми та визначаються переглянуті цілі.

У межах кожного з системних підходів, що потребують вирішення, виникає низка питань, щоб забезпечити раціональну основу для оцінки схем міської логістики.

1.7.2 Визначення проблеми

Проблеми виникають через різницю між фактичним і бажаним станом у певний момент часу. Отже визначення проблем полягає, по-перше, у визначенні сприйняття та інтерпретації реальної ситуації всіх зацікавлених груп. Для цього необхідно визначити ключові зацікавлені сторони та проблеми, що їх породжують.

Потрібно отримати вклади від усіх, хто зацікавлений у вирішенні проблеми. Це створює інтерфейси між різними групами інтересів. Консультуючись з усіма зацікавленими сторонами, що беруть участь у розподілі міських товарів, потенціал для переміщення проблем між ними може бути зменшений. Це також допомагає ознайомлювати зацікавлені сторони із проблемами інших груп та більш ширшими проблемами.

Кількісна оцінка проблеми необхідна для забезпечення об'єктивної основи для з'ясування питань. Необхідність розгляду ширших проблем має важливе значення в **City Logistics**.

Загальні проблеми міського транспорту включають:

- а) перевантаження трафіку (затримки руху);
- б) швидкісне планування та управління (капітальні та експлуатаційні витрати);
- в) вплив на навколишнє середовище (якість повітря, шум та аварії).

1.7.3 Цілі

Цілі створені для забезпечення напряму, обумовленого результатами запропонованої схеми. Це гарантує, що успішність схем можна перевірити після їх реалізації. Раціональне планування неможливе, якщо чітко не зазначено, що намагається досягти.

Типовими цілями міської логістики є такі:

- а) зниження експлуатаційних витрат;
- б) підвищення ефективності;
- в) зменшення впливу на навколишнє середовище.

1.7.4 Критерії

Критерії вимірюють продуктивність системи. Для кожної мети необхідно визначити міру ефективності.

- а) кількість вантажних автомобілів (транспортних засобів);
- б) фактори навантаження;
- в) середня швидкість (км / год);
- г) відстань перевезень.

1.7.5 Ресурси

Ресурси – це матеріали, доступні для проекту, і, зазвичай, фінансові, фізичні або людські. Їхній масштаб потрібно визначити на початку процесу, оскільки вони можуть безпосередньо впливати на обсяг розслідування у формі збирання, моделювання та оцінки даних, які можна здійснити.

Необхідно визначити рівень знань та наявних навичок у людських ресурсах. Бюджет також може допомогти визначити необхідний рівень ресурсів.

Загальні ресурси для схем міської логістики включають:

а) транспортну інфраструктуру:

- дороги;
- термінали;

б) телекомунікаційну інфраструктуру:

- інтернет;
- супутник (наприклад GPS) ;

в) державний сектор:

- спонсорство;
- координація;

г) приватний сектор:

- технологія;
- маркетинг;
- управління.

1.7.6 Обмеження

Необхідно розглянути будь-які обмеження, які можуть обмежувати рівень доступних ресурсів або недозволені результати проекту. Зазвичай фінансові, юридичні, соціальні чи політичні питання обмежують коло альтернатив, які можна розглянути:

а) наявність необхідних спеціальних ресурсів;

б) відповідні положення та стандарти;

в) потенційно неприйнятні побічні ефекти;

д) законодавство та правила, що стосуються конкуренції та приватності.

1.7.7 Альтернативи

Альтернативи – це варіанти, які можуть вирішити проблему. Необхідно створити широкий діапазон різних параметрів. Для цього, аналітик має бути творчим та інноваційним. Зазвичай технології чи правила створюють потенційні ефективні ініціативи **City Logistics**.

Існує декілька схем міської логістики на основі ІТС, які вже впроваджені в містах по всьому світу:

а) електронний толінг – вид взаємодії між суб'єктами господарювання, при якій власник сировини передає її підприємству переробнику й отримує у вигляді результату готову продукцію та покриває підприємству-переробнику суму понесених витрат на переробку та узгоджений відсоток прибутковості. Фактично толінг означає переробку сировини на давальницьких засадах.

б) системи відповідності для зворотних навантажень;

в) системи бронювання для доступу до терміналів;

г) відстеження та моніторинг транспортних засобів в реальному часі

е) моніторинг ефективності (наприклад, час пересування, швидкість та вага);

ж) комп'ютеризовані системи маршрутизації та планування транспортних засобів;

з) керівництво маршрутом.

1.7.8 Збирання даних

Для кількісної оцінки використання та ефективності існуючої системи зазвичай потрібно провести велику кількість обстежень. Для забезпечення раціональної основи прийняття рішень зазвичай необхідна низка даних:

а) визначення проблеми:

– існуючі умови

- проблеми із зацікавленими сторонами [4];
- б) моделювання:
 - опис системи (землекористування та транспортні мережі);
 - оцінка;
- в) моніторинг та перевірка.

1.7.9 Моделі

Моделі використовуються для спрощення представлення міських вантажних систем. Комп'ютерні процедури, засновані на математичних взаємозв'язках, зазвичай використовуються для прогнозування ефективності схем міської логістики. Вони дають змогу оцінити вплив різних змін до міської вантажної системи без фактичної зміни системи (тобто реалізації схеми).

Необхідно подати методики, які надають кількісні оцінки переваг та витрат схем міської логістики. Поточні підходи та додатки описані у наступних розділах. Існує три типи мережних моделей, які виробляють інформацію, яку можна використовувати для цілей оцінки:

- а) попит:
 - на товари;
 - на транспортні засоби;
- б) постачання:
 - час проїзду;
 - надійність;
- в) вплив:
 - екологічний;
 - економічний;
 - споживання енергії;
 - соціальний;
 - фінансовий.

1.7.10 Оцінка

Оцінка передбачає методичне порівняння альтернатив на підставі економічних, соціальних, фінансових, енергоспоживання та екологічних міркувань. Прогнозовані наслідки для кожної альтернативи порівнюються.

Зазвичай використовуються багатоатрибутні методи аналізу, що висвітлюють компроміси. Зазвичай проводиться кількісне порівняння варіантів, обумовлених низкою факторів.

Оцінюючи ІТС для міської логістики, виникає низка питань, зокрема:

- а) фінансова життєздатність (здатність забезпечити рентабельність інвестицій);
- б) політична прийнятність (філософська підтримка);
- в) конкурентоспроможність (справедливість існуючих та майбутніх компаній);
- г) горизонтальна сумісність (інформаційний потік між компаніями).

1.7.11 Аналіз чутливості

Аналіз чутливості включає вивчення мінливості передбачуваних ефектів альтернатив за припущеннями, зробленими в межах моделей. Загальні технологічні параметри включають:

- а) темпи проникнення;
- б) показники помилок (наприклад виявлення та передача) ;
- в) життя активів (наприклад технології) ;
- г) експлуатаційні та експлуатаційні витрати;

1.7.12 Вибір

Після оцінки альтернатива обрана тим, хто має владу та юрисдикцію для прийняття рішень. Зазвичай, аналітик рекомендує тільки найкращий варіант, але немає впевненості, що він буде обраний. Структуру процедури вибору характеризують такі процеси:

- а) вибір тендера;
- б) договірних переговорів;
- в) незалежний огляд.

У міській логістиці процес прийняття рішень здебільшого досить складний, і низка дійових осіб впливає один на одного. Відносини між вантажовідправником, перевізником і одержувачем важко узагальнити. Організаційні структури та стилі менеджменту значно відрізняються між компаніями, що зазвичай зумовлює важливість ідентифікації осіб, які приймають рішення.

1.7.13 Реалізація

Реалізація обраної схеми зазвичай включає низку завдань, які потрібно виконати. Зазвичай у разі систем **City Logistics** необхідно встановити нові операційні та організаційні процедури.

Існує низка питань, обумовлених упровадженням ІТС на базі логістики міста, зокрема:

- а) сумісність модулів (інтерфейсів та обміну інформацією);
- б) системна архітектура;
- в) управління проектом (розробка);
- г) оперативне управління (навчання та технічна підтримка).

1.7.14 Огляд

Після реалізації вибраної схеми необхідно перевірити, як вона працює. Особливо важливо визначити, чи вирішена початкова проблема і чи досягнуті цілі. Це передбачає моніторинг ефективності схеми. Зазвичай покращення розуміння проблеми або здатність досягти цілей може відновити процес або сприяти плануванню майбутніх схем логістики міста.

ЛЕКЦІЯ № 2

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЛОГІСТИКИ МІСТА

Питання для обговорення

- 2.1. Схема моделювання.
- 2.2 Процес розробки моделей.
- 2.3 Математичне програмування.
- 2.4 Оптимізація.
- 2.5 Моделювання.
- 2.6 Метаевристичні методи.

2.1 Схема моделювання

Моделі відіграють центральну роль у системному підході до **City Logistics** (розд. 1.7). Вони дають змогу здійснювати оцінку впливу різних змін у міській системі розподілу без фактичної зміни системи.

Існує три головних типи мережних моделей, необхідних для прогнозування наслідків логістичних ініціатив **City Logistics**; а) моделі постачання; б) моделі попиту; в) моделі впливу. Ці три типи моделей взаємодіють одна з одною для формування інтегрованої системи моделювання. Моделі постачання прогнозують рівень обслуговування вантажної системи на підставі характеристик мережі та попиту. Моделі попиту передбачають попит на рух міського товару на підставі характеристик промисловості та резидентів, а також рівня обслуговування. Моделі пропозиції докладно описані в розділі 4. Моделі впливу передбачають фінансові, енергетичні, соціальні, екологічні та економічні наслідки схем міської логістики на підставі прогнозованого попиту та рівня обслуговування. Ці моделі представлені в розділі 5.

2.1.1 Характеристики мережі

Перед моделюванням потрібно описати транспортну мережу. Атрибути фізичних та просторових мереж, які впливають на витрати та продуктивність руху вантажів, необхідно визначити як вхідні дані.

Геоінформаційні системи (далі – ГІС) є корисним інструментом для управління широким спектром даних, часто необхідних для моделей **City Logistics**. Вони описані в розділі 3.4. Зазвичай потрібна низка характеристик:

а) транспортна мережа (мережа руху):

- зв'язки (довжина, потужність, обмеження швидкості, обмеження використання, обмеження паркування, геометрія та обсяг трафіку);
- перехрестя (контроль та заборонені рухи);
- залізнична мережа;
- зв'язки (відстань та потужність);
- термінальні споруди (місце та потужність).

Для моделювання руху вантажів у міських районах зазвичай потрібні ряд характеристик зон використання землі:

- а) тип;
- б) місцезнаходження;
- в) щільність;
- г) інтенсивність розвитку.

2.1.3 Моделі постачання

Моделі постачання використовуються для прогнозування рівня обслуговування, що надається транспортною системою. Фізичні характеристики транспортної мережі поєднуються з прогнозованим

попитом для оцінки витрат на використання мережі. Загальні показники ефективності мережі включають час проїзду та експлуатаційні витрати.

2.1.4 Моделі попиту

Моделі попиту потребують прогнозування рівня попиту (транспортних засобів або товарів) для транспортної системи. Зазвичай застосовується тимчасова зміна (протягом дня). Також прогнозування моделей попиту для різних класів автомобілів (наприклад, пасажирські автомобілі, легкі вантажні автомобілі та напівпричепа), зазвичай, необхідне під час моделювання схем **City Logistics**.

2.1.5 Мережевий рівень обслуговування

Потрібно визначити ефективність транспортної системи, зокрема:

- а) час проїзду;
- б) експлуатаційні витрати.

Тут потрібно передбачити витрати користувачів транспортної системи. Оцінки попиту також необхідні, оскільки продуктивність транспортних систем зазвичай погіршується, оскільки рівень попиту збільшується.

2.1.6 Використання мережі

Тут система передбачає попит на транспортні засоби або вантажні потоки для окремих режимів і маршрутів (транспортних зв'язків). Ця інформація дає змогу використовувати моделі постачання для прогнозування витрат користувачів системи. Оцінки попиту також необхідні для прогнозування впливу альтернативних схем.

2.1.7 Моделі впливу

Використовуючи очікуваний попит та рівень обслуговування, наслідки **City Logistics** можуть бути кількісними. Впливи можна класифікувати як такі, що включають декілька категорій, включаючи економічні, фінансові, соціальні, екологічні та енергетичні.

2.1.8 Економічні наслідки

Аналіз витрат та вигоди можна використати для визначення економічної життєздатності схем протягом їхнього життя. Нижче наведені типові витрати та переваги схем міської логістики:

а) витрати:

- придбання (капітальне обладнання та обладнання);
- експлуатація;
- технічне обслуговування.

б) переваги:

- скорочення часу пересування;
- зниження експлуатаційних витрат (споживання палива, шини, ремонт та технічне обслуговування);
- зниження витрат на аварії (включаючи особистий, ремонт автомобіля та інцидент).

Ці витрати та переваги, зазвичай, об'єднуються для оцінки чистих вигод проекту за допомогою методів дисконтування. Співвідношення витрат на користь (BCR) та чистої теперішньої вартості (NPV) зазвичай визначають економічну життєздатність проектів та порівнюють економічні наслідки схем **City Logistics** [5].

2.1.9 Фінансові наслідки

Прогнози впливу на доходи та витрати повинні бути оцінені для компаній, які беруть участь у схемах. Для визначення фінансової життєздатності зазвичай використовується низка критеріїв, зокрема:

- а) чиста приведена вартість (NPV);
- б) внутрішня норма прибутку (IRR);
- в) період окупності.

Міські схеми логістики зазвичай призводять до зниження витрат для перевізників, у таких сферах:

- а) заробітна плата;
- б) реєстрація та страхування;
- в) капітал;
- г) паливо та масло;
- д) ремонт і технічне обслуговування;
- е) шини.

2.1.10 Соціальні наслідки

Існує багато впливів, обумовлених з справедливістю для різних груп користувачів і не користувачів, зокрема:

- а) ділова конкуренція;
- б) аварії;
- в) доступність;
- г) естетика.

2.1.11 Екологічні наслідки

Є численні небажані негативні наслідки руху міських вантажів, які можуть безпосередньо загрожувати здоров'ю людей. Моделювання

необхідне для оцінки змін викидів забруднювальних речовин, рівнів шуму та вібрації.

Хоча вантажні автомобілі зазвичай становлять невеликий відсоток (наприклад 10 %) загального міського трафіку (транспортні кілометри), вони часто виробляють значний відсоток загальних викидів. Парникові гази, виготовлені із вихлопних газів вантажівок, є головною проблемою у багатьох містах. Залежно від двигунів та палива, що використовується автотранспортом, рівні викидів необхідно оцінити для таких забруднювачів:

- а) окис вуглецю (CO);
- б) оксиди азоту (NO_x);
- в) матеріал із подрібненими частинками (SPM);
- г) вуглеводні (BP).

На жителів зазвичай негативно впливає шум, вироблений вантажівками. Порушення сну спричиняє серйозне занепокоєння у міських районах. Під час оцінювання схем міської логістики потрібно прогнозувати рівень шуму, а також кількість осіб, що зазнали впливу.

Системні схеми логістики зазвичай включають зміни у загальній кількості і типах вантажних автомобілів, що використовуються для розподілу товарів у містах. Це може вплинути на частоту, а також рівень шуму, який виникає у вантажівок.

Існують різні критерії, які використовуються для вимірювання рівня шумів з використанням вагової шкали децибелів:

- а) рівень шуму L₉₀ перевищив 90 % часу;
- б) еквівалентний звуковий рівень Leq: середній за певний період часу.

2.1.12 Енергетичні наслідки

Енергозбереження є важливим питанням, оскільки існує тільки обмежена кількість наявних природних ресурсів. Системні схеми логістики можуть зменшити загальну кількість палива, що споживається вантажівками. Моделі необхідні для оцінки різних видів палива, що споживаються під час розподілу товарів:

- а) нафта - етилована та неетилована;
- б) автомобільне дизельне паливо;
- с) рідкий нафтовий газ / рідкий природний газ.

2.2 Процес розробки моделей

Цей розділ обговорює низку питань, які необхідно враховувати під час побудови моделі оцінки схем логістики міста. Загальний процес також описаний для розроблення моделей.

Моделі не повинні бути надмірно складними. Ступінь деталізації повинна відображати цілі моделі. Збільшення кількості факторів може призвести до більшої помилки оцінки та збільшення кількості припущень. Хороша модель здатна становити цікаву систему з мінімальною складністю.

Мережеві моделі повинні мати можливість допомагати керівникам рішень визначати діапазон впливу альтернатив. Рівень точності повинен давати змогу порівнювати наслідки різних варіантів. Моделі також мають бути досить чутливими, щоб дати змогу виконувати різні варіанти. Для того, щоб бути корисним для осіб, які приймають рішення, моделі повинні надавати інформацію щодо компромісів між розглянутими варіантами.

Моделі є невід'ємним компонентом системного підходу до логістики міста. Процес розробки моделі передбачає низку заходів.

Короткий опис головних завдань, які необхідно виконати в межах кожної діяльності, описано нижче. Цей процес можна використати для розробки моделей для прогнозування наслідків схем логістики міста.

2.2.1 Визначення проблеми

Початковий етап у процесі розроблення моделі передбачає визначення проблеми. На цьому етапі необхідно визначити необхідність прогнозувати наслідки схеми логістики міста. Мета моделі повинна бути зазначена, оскільки модель повинна бути розроблена для вирішення конкретного набору питань.

Модель повинна реагувати на змінні, що становлять інтерес, тому моделювальник повинен визначити діапазон параметрів, які потребують оцінки.

Варто розглянути роль, яку модель матиме в процесі прийняття рішень. Також корисно визначити тих, хто приймає рішення, які будуть використовувати результати, отримані за моделлю.

Межі системи повинні бути достатньо широкими, щоб враховувати всі істотні ефекти. Хоча зазвичай вони встановлюються за інтуїтивною оцінкою, межі системи зазвичай мають три розміри:

- а) просторові: географічні межі (де?);
- б) зацікавлені сторони: групування населення (хто?);
- в) наслідки: діапазон ефектів (що?).

На цьому етапі необхідно вирішувати питання, обумовлені необхідністю побудови моделі. Необхідно вказати особливості змінних політики, а також діапазон альтернатив, що підлягають оцінці.

Потрібно вивчити потенційну роль та корисність моделі. Із цією метою необхідно розглянути середовище прийняття рішень на етапі

відбору системного підходу (розд. 1.7). Необхідно визначити потенційних користувачів моделі, а також інформацію, отриману від неї.

2.2.2 Цілі

Далі, необхідно визначити цілі моделі. На цьому етапі варто зазначити загальні результати, які очікуються від виробництва моделі. Це передбачає визначення вимог до продуктивності моделі.

2.2.3 Критерії

Критерії визначають показники ефективності, які будуть вироблятися за моделлю. Модель повинна надавати інформацію, корисну для тих, хто приймає рішення. Необхідно визначити конкретні типи результатів, які модель повинна виробляти, зокрема статистику, довірчі інтервали та рівні значущості.

2.2.4 Системний аналіз

Системний аналіз включає в себе виявлення головних компонентів та взаємодій у досліджуваній системі. Необхідно визначити головні фактори та прямі відносини. Це зазвичай передбачає збір даних. Діаграми впливу та діаграми циклів активності [3] можуть бути корисними інструментами для опису логіки процесів у складних системах.

2.2.5 Синтез систем

Для системи синтезу потрібно подати фактори та відносини, визначені на стадії системного аналізу за допомогою математики. Змінні та

рівняння використовуються для формулювання моделі. Відносини між змінними подані за допомогою аналітичних рівнянь замкнутої форми.

Необхідно визначити походження змінних:

- а) детерміністична – де є лише тільки один можливий результат;
- б) стохастичне або випадкове – де можливі декілька результатів;
- в) екзогенне – визначається за межами моделі;
- д) ендогенне – визначається в межах моделі.

2.2.6 Розроблення програмного забезпечення

Наступний крок у процесі розробки моделі передбачає вироблення комп'ютерних процедур або програм, що дають змогу використовувати математичні та логічні вирази, визначені на стадії синтезу систем, для отримання кількісних результатів. Потрібно побудувати процедури програмного забезпечення для визначення рішень.

Для моделювання існує кілька типів програмних засобів:

- а) мови програмування (наприклад Fortran, Delphi, Visual Basic або C ++);
- б) загальні пакети:
 - СУБД (наприклад FoxBase);
 - електронні таблиці (наприклад Excel).
- в) спеціалізоване програмне забезпечення моделювання:
 - моделювання (наприклад SMSCRIPT та MODSIM);
 - динаміка систем (наприклад STELLA і I THINK).

Використовують низку допоміжних засобів, які можуть допомогти у розробленні коду, зокрема псевдокод та діаграми.

Різні види інформації, зазвичай, надаються як вхідні дані для моделей City Logistics, зокрема:

- а) транспортна мережа;

- б) параметри;
- в) характеристики користувача.

Зазвичай вони задаються за допомогою файлів, сформованих за допомогою інших програмних процедур (наприклад ГІС або СУБД).

Висновок з моделі необхідно подати у зрозумілій та корисній формі для осіб, що приймають рішення. Існує безліч видів продукції:

- а) динамічна (наприклад анімація);
- б) графічні (наприклад карти та графіки) ;
- в) файли (наприклад текст).

2.2.7 Верифікація

Перевірка програмного забезпечення необхідна для забезпечення адекватного подання системи. На цьому етапі процедури перевіряються на правильну логічну структуру та вихід у порівнянні порівняно з очікуваною поведінкою.

2.2.8 Перевірка

Перевірка моделі включає в себе порівняння результатів комп'ютерних процедур із реальними умовами досвіду у реальному світі. Цей етап оцінює здатність моделей імітувати реальність. Для вимірювання продуктивності системи зазвичай потрібні різні обстеження. Інтелектуальні транспортні системи (ITS) зазвичай надають багате джерело даних, з яких можна перевірити моделі **City Logistics**. Існуючі моделі також можуть використовуватися для перевірки вихідних моделей.

2.2.9 Застосування

Застосування моделі передбачає використання моделі для отримання оцінок показників ефективності та інших ефектів, які будуть використовуватися під час оцінки альтернатив. У цьому разі передбачаються наслідки розглянутих альтернатив за допомогою моделі. Параметри моделей та вхідні змінні можна змінити, щоб дозволити аналіз чутливості.

2.3 Математичне програмування

Математична програма містить стислий, усебічний та чіткий опис проблеми, яку буде розглянуто в моделі. Вона охоплює формулювання моделі для подання досліджуваної системи.

Модель формулювання передбачає як системний аналіз, так і етапи синтезу процесу розроблення моделі. Вона передбачає виявлення та визначення трох головних елементів системи:

- а) рішення змінних;
- б) обмеження;
- в) об'єктивна функція.

Рішення змінних є невідомими для визначення моделі. Обмеження потрібно вказати для позначення обмежень ресурсів, неприпустимих системних виходів або для забезпечення того, щоб змінні рішення були обмежені їхніми допустимими (або недопустимими) значеннями. Цільова функція вимірює ефективність чи продуктивність системи. Вона є показником для оцінки досягнення рішення.

2.4 Оптимізація

Концепція оптимізації в моделюванні зазвичай базується на визначенні найкращого рішення для певної системи. У класичній оптимізації найкращим рішенням є точне рішення для сформульованої проблеми. Проте, оскільки моделі сформульовані для того, щоб враховувати більший реалізм та складність, кращому рішенню зазвичай потрібно враховувати витрати на отримання рішення, і це, можливо, не є точне рішення.

Оскільки моделі є тільки спрощенням реального світу, багато систем сформульовані так, що процедури рішення можна застосовувати для забезпечення точного розпізнавання рішень. Наприклад, багато систем сформульовані як лінійні програми, і процедури розв'язання, такі як метод *simplex*, потім використовуються для пошуку оптимального рішення для сформульованої моделі.

Математичні програми спрямовані на визначення найкращого значення цільової функції. Для деяких чітко визначених математичних програм класичні підходи до обчислення можна використовувати для отримання точних рішень. Проте моделі, сформульовані для багатьох практичних завдань, процедури розв'язання не існують для забезпечення точного рішення. Здебільшого початкова модель переформулюється з використанням наближень та спрощень, що дає змогу застосовувати встановлену процедуру рішення, яка гарантує точне рішення для переглянутої моделі. Інакше процедури евристичного рішення використовуються для пошуку гарного рішення.

Запропоновано різні методи для визначення точних рішень для низки базових версій проблеми маршрутизації автомобілів [3]. Розроблені галузеві та пов'язані алгоритми, релаксація лагранжа, методи розгалуження та розрізання, а також задані розділові формулювання для

вирішення цих складних комбінаторних задач оптимізації. Проте навіть найефективніші методи обмежені невеликими масштабами спрощених проблем.

2.5 Моделювання

Моделювання – це метод моделювання для проведення експериментів на цифровому комп'ютері, який передбачає використання математичних зв'язків для опису поведінки та структури складної реальної системи протягом тривалих періодів часу. Це дає змогу реалістично подати випадкові компоненти побудованої системи.

Моделювання передбачає розбиття системи на прості компоненти та моделювання кожного компонента, а також взаємодії між компонентами, а потім експлуатацію моделі. Випадкові явища можна представити за допомогою статистичних розподілів.

Мікроскопічні моделі представляють кожну одиницю індивідуально, тоді як макроскопічні одиниці – разом, як потоки або взводи. Однак, мікроімітаційні моделі широко використовуються в управлінні термінальними об'єктами.

Унаслідок складності систем міського руху та кількості транспортних засобів, що використовують систему, поєднання як мікроскопічних, так і макроскопічних моделей забезпечує практичніший інструмент моделювання для вивчення впливу схем міської логістики (наприклад модифікована Vox Model, розділ 4.5).

Відомі різні типи імітаційних моделей:

- а) фізичні (наприклад масштабні моделі);
- б) аналогові (наприклад гідравлічні механіки, що застосовуються до техніки дорожнього руху);

- в) математичні (тобто символічні або алгебраїчні співвідношення);
- г) комп'ютер (цифрове подання математичних моделей).

Проте комп'ютерні моделювання мають низку переваг, зокрема:

- а) реалізм – може представляти динамічні, інтерактивні, випадкові та складні системи;
- б) прозорість – легко зрозуміти та пояснити;
- в) перевірка – на рівні елемента;
- г) статистична достовірність – оцінка змінної продукції;
- д) розуміння – аналіз підсистем та відносин.

Однак існує також низка недоліків, обумовлених моделюванням імітації:

- а) розуміння:
 - брак даних;
 - знання.
- б) витрати:
 - збір даних (необхідний для специфікації, тестування та валідації) ;
 - багатопрофільні навички (зокрема статистика, обчислювальна техніка та інженерія);
 - обчислювальні ресурси (швидкі, інтерактивні та графічні).
- в) час:
 - команди;
 - комплексний процес розвитку.

Для моделювання логістичних систем потрібен високий рівень даних та знань, оскільки «ми часто не розуміємо, наскільки мало ми знаємо про річ, поки ми не спробуємо імітувати її на комп'ютері» [3].

Моделювання передбачає реєстрацію прогресування одиниць усередині системи. Прогрес часу в імітаційних моделях базується на фіксованих інтервалах часу або коли прогнозуються випадкові випадки.

Алгоритмічні рекурсивні комп'ютерні процедури зазвичай використовуються для генерації псевдовипадкових чисел, які перетворюються на випадкові відхилення, використовуючи статистичні розподіли для повторення випадкових явищ.

У процесі моделювання моделей з фіксованим часом час розвивається в постійних інтервалах. Зміни аналізуються протягом визначених інтервалів часу. Проте за допомогою симуляції, заснованої на подіях, час рухається вперед у нерівних кількостях залежно від того, коли відбуваються події. Події – це часи, коли стани одиниць змінюються.

Виконавча програма використовується для управління викликом процедур та замовлення подій. Це потребує знання про те, якою є стан пристрою, і коли це зміниться.

Зазвичай, час до імітаційних моделей досягає рівноважних умов. Це називається періодом розминки, і результати, отримані протягом цього періоду, зазвичай відкидаються.

Більшість імітаційних моделей або представляють певний проміжок часу (наприклад, пікові години або 12-годинний період) або закінчується, коли виникає певна подія (наприклад, більше вантажів для розвантаження). Оскільки кожний запуск становить експеримент, вихід із моделей моделювання часто вимагає статистичних методів. Довірчі інтервали можна оцінити.

Імітаційні моделі, зазвичай, застосовуються для прогнозування ефективності платних засобів, станцій зважування [4], сигналів трафіку та терміналів [4].

Під час оцінки імітаційних моделей існує низка факторів, які слід враховувати:

- а) дієвість (адекватність представлення системи);
- б) користувальницький інтерфейс (зручність використання);
- в) у даних (необхідні обстеження);
- г) калібрування (параметри);
- д) час виконання.
- е) вихідні дані (формати).

2.6. Метаевристичні методи

Евристичні методи – це процедури рішення, які прагнуть знайти хороші рішення за розумною обчислювальною вартістю. Вони забезпечують практичний засіб для одержання рішень для складних модельних формул. Однак евристичні методи не гарантують точного рішення.

Евристичні методи не вимагають жодних спрощувальних припущень, що стосуються формулювання моделі. Вони є гнучкими щодо сутності цільової функції та обмежень.

У багатьох моделювальних вправах існує компроміс між отриманням точного рішення приблизної моделі або приблизного рішення точної моделі. Досягнення точного рішення набагато менш важливе у процесі моделювання складних міських систем розподілу товарів.

Було проведено низку загальних евристичних (метаевристичних) методів, які застосовувались до проблем логістики (наприклад, маршрутизація та планування транспортних засобів). До них належать генетичні алгоритми, пошук табу та імітаційний відпал.

Метаевристичні методи були застосовані для вивчення впливу низки схем міської логістики, зокрема:

а) збільшення ширини вікна часу на маршрутизацію та планування витрат;

б) імовірнісна маршрутизація та планування;

в) місце розташування громадських логістичних терміналів;

Багато евристики використовують концепцію сусідства під час створення рішень. Оточення – це набір рішень, які можуть бути сформовані з поточного рішення за допомогою простої операції. Сутність проблеми зазвичай визначає, як будується оточення.

ЛЕКЦІЯ № 3

МАРШРУТИЗАЦІЯ ТА ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Питання для обговорення

3.1 Огляд.

3.2 Проблеми з продавцем.

3.3 Маршрутизація та планування роботи транспортних засобів за допомогою програм Windows.

3.1 Огляд

Процедури маршрутизації та планування роботи транспорту забезпечують головні методики моделювання **City Logistics**. Важливими рисами вантажних перевезень у містах є такі:

а) вантажівки (вантажні перевезення) подорожують у ланцюгу, відвідуючи ряд клієнтів;

б) деякі вантажівки, зазвичай, працюють групами для обслуговування компаній. Тому деякою мірою можна зменшити кількість вантажних автомобілів;

г) кожен клієнт указує часове вікно, яке відвідає вантажі для доставки.

Проблеми маршрутизації та планування транспортних засобів (VRP) співвідносяться з процесом оптимізації призначення транспортних засобів клієнтам та визначення порядку замовлення клієнтів та маршрутів транспортних засобів. Головною інформацією, необхідною для VRP, є розташування клієнтів, умови дорожньої мережі, час пересування, правила дорожнього руху тощо. Окрім цієї базової інформації, інша конкретна

інформація для кожного клієнта, зокрема щоденний запит на перевезення товарів, призначене часове «вікно», призначений водій, призначено для визначення оптимального порядку відвідування та маршруту для кожного транспортного засобу. Цей процес можна зробити вручну кваліфікованими планувальниками, але це дуже трудомістке завдання. Проте, недавня комп'ютеризована система може кількісно оцінювати ВРП, оцінюючи загальні витрати на транспортування, накопичену дистанцію проходження для кожного транспортного засобу, накопичений час роботи та коефіцієнт завантаження кожного транспортного засобу.

З огляду на ці особливості, деякі моделі VRP були розроблені в області дослідження операцій. Рішення VRP важко, якщо кількість клієнтів є великою, оскільки ця проблема належить проблемам класу NP-hard (Non-deterministic Polynomial hard). Тому евристичні підходи необхідні для отримання наближених рішень для практичних завдань.

3.2 Проблеми з продавцем

Проблеми з продавцями, які подорожують (TSP) є основною проблемою для VRP (наприклад, Lawler et al., 1992).

Цей розділ описує формулювання TSP та методи ідентифікації приблизних рішень, що використовують евристичні методи.

TSP можна описати так:

Є російські міста (споживачі) та вартість подорожі з міста z до міста j . Дано – продавець (транспортний засіб) починає з рідного міста (депо), щоб відвідати кожне місто рівно один раз і повернутися в рідне місто. Проблема полягає в тому, щоб знайти оптимальний маршрут (замовлення на відвідування), який має мінімальну загальну вартість проїзду.

TSP – комбінаторна задача оптимізації. Дуже важко визначити оптимальне рішення TSP із великою кількістю міст. Якщо був

перерахований цілий набір рішень (повний метод перерахунку), який включає в себе обчислення вартості всіх можливих маршрутів, щоб визначити найкраще рішення TSP, то кількість розрахунків дорівнюватиме близько $n!$. (Оскільки кількість маршрутів становить $(n-1)!$, а кількість розрахункових витрат становить n).

Якщо основний час обчислення на цифровому комп'ютері був малим, то обчислення часу для вирішення TSP у разі $n = 10$ становитиме 0,036 секунд. Проте коли n зростає, час обчислень буде істотно збільшуватися. Насправді неможливо вирішити великомасштабну практичну TSP, використовуючи повний метод перерахунку. Отже, для виявлення наближених рішень необхідно використовувати евристичні методи. Застосування генетичних алгоритмів (GA), імітаційного відпалу (SA) і пошуку Tabu (TS) до VRP буде розглянуто далі в цьому розділі.

3.3 Маршрутизація та планування роботи транспортних засобів за допомогою програм Windows

3.3.1 Загальний огляд

Проблема маршрутизації та планування транспортного засобу з тимчасовим вікном (VRP-TW-F) визначається у такий спосіб. Для кожного вантажного перевізника визначено депо та низка клієнтів. Флот ідентичних автомобілів збирає товари від клієнтів і доставляє їх у депо або доставляє товари покупцям із депо. Для кожного клієнта зазначається певне часове вікно, що вказує на бажаний період часу, який буде відвідане. Наприклад, у разі збирання товарів транспортні засоби відходять з депо та відвідують підмножину споживачів, щоб підібрати товар послідовно та повертатися в депо, щоб їх розвантажити. Автомобілю дається змога робити декілька

маршрутів на день. Кожному клієнту необхідно призначити один маршрут транспортного засобу, і всі товари від кожного клієнта повинні завантажуватися на транспортний засіб одночасно. Загальна вага товару для маршруту не повинна перевищувати потужність транспортного засобу. Проблема полягає в тому, щоб визначити оптимальне призначення транспортних засобів клієнтам та час вильоту, а також порядок відвідування покупців вантажного перевізника. VRP-TW-F чітко вказує час вильоту транспортних засобів як змінну, яку потрібно визначити.

Демонструються проблеми маршрутизації та планування роботи транспортних засобів. Тут кількість вантажівок (m) дорівнює 5, а кількість споживачів (n) дорівнює 8. Оптимальним рішенням для вантажного перевізника є використання двох вантажівок з восьми для відвідування восьми замовників у вказаному порядку.

Далі потрібно враховувати додаткові моменти, щоб зробити маршрутизацію та планування роботи транспортних засобів більш реалістичнішими, а саме:

- а) кожен клієнт має вікно часу для відвідування вантажівок;
- б) є кілька складів;
- с) час поїздки динамічно змінюється.

3.3.2 Формулювання

На цьому етапі необхідно описати проблему маршрутизації та планування транспортних засобів з тимчасовими вікнами замовників [5]. Модель у цьому розділі використовує одну (прогнозовану) величину для відображення часу проїзду між депо та клієнтами. Отже, модель називається маршрутизацією транспортних засобів та задачею планування з моделлю прогнозованого часу Windows (VRP-TW-F). Метою моделі VRP-TW-F є мінімізація загальних витрат.

Загальна вартість складається з транспортних витрат, податкових та страхових витрат тощо, урахуваючи те, що витрати на експлуатацію складаються з палива, технічного обслуговування, персоналу та зборів тощо. Вартість штрафу складається з штрафів за попередній приїзд, коли вони надходять до клієнтів раніше, ніж у призначений час і очікування, а також штраф за затримку при приїзді до клієнтів.

Також урахуються штрафи для ранніх заїздів та затримок. Різниця часу позначає позначене часове вікно, яке потрібно відвідати вантажівкою. Штраф у разі раннього прибуття може дорівнювати вартості експлуатації, оскільки це вартість очікування вантажівок. Штраф за затримку відстрочення здебільшого залежить від клієнтів, товарів та терміновості доставки. Штраф за затримку здебільшого передбачає розірвання контрактів або нестабільність у подальшій транзакції, а не фактичну сплату грошей. Отже, потрібні деякі методи кількісного визначення затримки.

3.3.3 Евристичний підхід до вирішення VRP-TW

VRP-TW є однією з комбінаторних задач оптимізації NP-hard класу [3]. Важко визначити точне рішення VRP-TW для великомасштабних мереж. Тому для визначення оптимальних рішень для VRP-TW необхідно використовувати методи евристики.

Останнім часом було використано низку метавристичних методів, що були застосовані до VRP-TW, зокрема генетичні алгоритми (GA), імітаційний відпал (SA) і пошук Tabu (TS).

Генетичні алгоритми (GA)

GA – це метод пошуку оптимального рішення на підставі еволюції живих організмів. Спосіб GA спочатку визначає хромосому для людини. Хромосома складається з декількох генів. Фактична структура хромосоми подана як генотип.

Наведено приклад генотипу для VRP-TW. Генотип – кодований ланцюжок із сьома генами на малюнку, що відповідає руху вантажівок. Цей генотип демонструє, що вантажівка починає рух зі складу, яка представлена нулем, і відвідує клієнтів 5, 2, 1, 3, 4 у цьому порядку і повертається на склад (0).

3.3.4 Приклад моделі

Порівняння евристичних алгоритмів

Taniguchi, E., T. Yamada та T. Hosokawa [5]. Застосував три мета-евристичних підходи, GA, SA і TS до VRP-T, і порівняв ефективність цих трьох методів. Показано просту тестову мережу, яка використовується для порівняння ефективності евристичних методів. Час подорожі між вузлами (замовниками) для всіх вертикальних та горизонтальних ліній було встановлено відповідно 12 хвилин та 18 хвилин. Один склад розташований у центрі мережі, а 10 замовників були випадково вибрані з усіх інших вузлів мережі. Максимальна кількість вантажівок була обмежена десятьма. Маса товарів, що підлягають підняттю у кожного клієнта, була випадково розподілена між 250 і 2000 кг. Ширина вікна часу становила одну годину.

Штраф було встановлено дуже великим значенням через одну годину після закінчення вікна часу. Вартість штрафів була встановлена у п'ять разів вище порівняно з вартістю очікування вантажівок.

Оцінки параметрів для трьох евристичних прийомів були визначені за допомогою поетапного вирішення задачі.

ЛЕКЦІЯ № 4

ПЕРСПЕКТИВИ МІСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ

Питання для обговорення

4.1 Система перегляду та майбутні розробки

4.1 Система перегляду та майбутні розробки

Економічно розвинені країни стикаються з проблемою, як зупинити зростання мобільності. Збільшення мобільності сприяє економічному розвитку, добробуту та соціальній свободі. З іншого боку, зростаючий попит на мобільність також спричиняє негативні наслідки, які стають все більш помітними за рахунок заторів, викидів, шуму, використання енергії, використання космічного простору, проблем доступу та соціальної сегментації. З кожним днем розвиток адекватних транспортних систем ускладнюється. Існує два види пояснень для цієї складності транспортних систем. Перший тип пояснення можна знайти за внутрішньою складністю системи. Потрібно перевезти більше пасажирів та вантажів, потрібно дотримуватись більшої кількості правил (наприклад щодо викидів двигунів та максимальних навантажень), необхідно дотримуватись більшої кількості стандартів (наприклад щодо безпеки транспорту), а витрати на інфраструктуру величезні. Системно-зовнішня складність пояснюється швидкими змінами культурних, суспільних та політичних умов. Усе більше і більше громадян та суспільних груп стають критичніше залучені до обговорення суспільних цілей та прийняття рішень щодо транспортних стратегій. Тому нам потрібно розширити наш системний погляд на транспортні системи, якщо ми будемо орієнтуватися на майбутні перспективи у транспорті.

Базовим у цьому аспекті є те, що транспортну систему можна розглядати як систему, яка складається з чотирьох компонентів перевезення: потенційних користувачів, потенційних суб'єктів транспорту (вантажовідправників та вантажоодержувачів), транспортних засобів та інфраструктури. Крім того, між кожним із цих компонентів існують взаємодії, які можна розглядати як ринок, тобто динамічну взаємодію потенційної пропозиції та попиту. Зокрема, згідно з цією точкою зору визначаються такі ринки: транспортний ринок та ринок руху.

На ринок потреб транспорту впливає просторова, соціально-культурна, економічна, тимчасова та інституційна організація суспільства. Ця суспільна організація створює певну потребу в транспорті: наприклад, економіка, що швидко розвивається, створює порівняно високі темпи зростання транспорту. І навпаки, відмінності між регіонами щодо можливостей транспорту впливають на суспільну організацію в цих регіонах та обумовлюють різні темпи економічного зростання між цими регіонами. Отже, існує динамічна напруга між прихованою потребою в транспорті та реальними транспортними можливостями. Ця напруженість впливає на політичні заходи, що стосуються ціни на транспорті (наприклад податок на пальне), бюджетні витрати на домогосподарства (наприклад години роботи магазинів та гнучкі години роботи) та можливості заміни (наприклад телемовлення, телепродаж).

Ринок транспортних послуг зосереджений на логістичній організації фізичного транспорту. Транспортні компанії (або окремі особи) визначають матеріально-технічне забезпечення в плані дотримання стратегії використання певних видів транспорту з певною місткістю та ціною в певний час на маршрутах для переміщення пасажирів або вантажів. Ринок функціонує в контексті напруженості між транспортними засобами та реальними транспортними потребами, на який також можуть впливати різні політичні заходи. Наприклад, багато політичних заходів

спрямовані на встановлення істотних змін модальності від використання автомобілів і вантажних автомобілів до використання більш екологічно чистих транспортних форм, таких як поїзди та човни.

Нарешті, використання конкретних транспортних послуг призводить до трафіку. Ринок трафіку діє як динамічний зв'язок між фізичною транспортною інфраструктурою та необхідним використанням різних транспортних засобів. Результатом є певний обсяг трафіку в певних частинах конкретних транспортних мереж за певний період часу. Напруга на ринку руху створюється внаслідок обмеженого рівня доступності потужності транспортної інфраструктури порівняно з необхідним його використанням. Очевидно, що на цю напругу можуть впливати інвестиції в інфраструктуру, потужність або дорожні ціни.

Характеристика цього системного представлення полягає в тому, що нижчі рівні полегшують (пропонують послуги) процеси на більш високому рівні системи. І навпаки, процеси на більш високому рівні визначають функціональні вимоги до процесів і послуг на більш низьких рівнях. З цього випливає, що варіанти вдосконалення ефективності транспортних систем не можна оцінити шляхом простого розгляду впливу на одному системному рівні. Натомість, необхідний багаторівневий, багатовимірний та, як наслідок, багатодисциплінарний підхід. Іншим цікавим моментом у цьому системному поданні є введення ідеї різних ринків. На цих ринках на взаємодію поведінки різних сторін має вплив міська адміністрація..

Щоб описати майбутні розробки в галузі транспорту, ми зосередимо головну увагу на специфічних розробках на різних ринках. Найпроблемнішим ринком є ринок трафіку. Тому не дивно, що більшість майбутніх подій орієнтовані на цьому ринку. Напрями цих подій описані нижче.

а) доповнювати поточні потоки трафіку та намагатись знайти рішення, які можуть підвищити ефективність на цьому ринку.

У цьому контексті варто зазначити, що в інтелектуальних транспортних системах відбулися істотні зміни (див. розділ 3). Динамічні інформаційні системи дорожнього руху дають змогу водіям спілкуватися з центром керування та отримувати інформацію в режимі реального часу в умовах руху. Дослідження з міської логістики показують, що вплив розвитку ІТС на дані в режимі реального часу буде дуже корисним для покращення точності доставки [4].

Як розширену форму системи ITS автоматизованого керування автомобілями (AVG) варто згадати тут. Загалом, AVG відомий як «часткове або повне виконання завдання на водіння автомобілем за допомогою інформаційних та комунікаційних технологій». Хоча загалом, AVG має намір підвищити ефективність трафіку, існують дослідження, які прогнозують зниження що здатні до певних показників проникнення деяких систем. Хоча в довгостроковій перспективі очікується впровадження систем, які здійснюють тимчасовий контроль над транспортним засобом у разі виникнення небезпечних ситуацій з більш загальними перешкодами та / або допомагають водієві у разі перешкоджання від'їзду на дорогу, це є що завгодно але певно, що ці системи продовжують розвиватися. Крім того, спочатку очікується, що ці системи будуть продаватися для певних груп та використовуватись тільки на автомагістралях. Подальша еволюція з позиції імовірної більшості транспортних засобів у керуванні населення, що використовує системи AVG на вторинних дорогах, здається далеко. Хоча ці дороги є базовими, які мають обирати провайдери в галузі логістики **City Logistics**, ця розробка не має важливого значення.

Заходи регулювання

Безпосередні заходи регулювання є найефективнішими, змушуючи постачальників логістичних послуг переглянути розподільні мережі та шукати нові альтернативи. У багатьох містах зазвичай застосовуються заходи щодо обмеження ваги, регулювання факторів завантаження, часові вікна, позначені маршрути та зонування. Хоча більшість заходів здебільшого протистоять цьому ринку, їхні кінцеві ефекти можна виміряти на інших ринках нашої системи.

Пошук альтернативних транспортних систем з використанням різних інфраструктур

У цій галузі альтернативних транспортних систем інтермодальні транспортні системи, здається, дуже перспективні. Багато перевантажених територій будуть відкриті інтермодальним шляхом будівництва нових водних шляхів, залізниць та внутрішніх терміналів. Ці системи збережуть гнучкість транспорту вантажівки, тоді як остаточне збирання та доставка буде здійснюватися вантажівкою. Через вантажопідйомність барж та поїздів ці транспортні засоби можуть конкурувати з тарифами на вантажні автомобілі, якщо відстань перевищує 100 кілометрів.

Технологія, яка може відігравати важливу роль у майбутній логістиці - це підземні перевезення. Підземні перевезення вже є загальноприйнятими технологіями в пасажирських транспортних системах, таких як метро. У системах вантажних перевезень промислові застосування цієї технології здебільшого обмежується трубопровідним транспортом для деяких хімічних продуктів, масел тощо. З огляду на плани щодо проектів підземного транспорту, обставини, за яких ця технологія розглядається як можливість поліпшення, частково подібна до проблемного середовища

розподілу міста. Оскільки витрати на будівництво підземних труб дуже великі, можна витягнути певні умови в проблемному середовищі, які необхідно виконати, перш ніж підземна система розподілу може бути придатною для поліпшення стану навколишнього середовища:

- а) великі обсяги транспорту повинні бути розосереджені;
- б) відстань руху повинна бути порівняно короткою;
- в) площа поверхні дуже перевантажена, а перевезення спричиняє багато екологічних неприємностей;
- г) товари, що перевозяться, становлять високоякісні предмети.

У сфері логістики міста ці умови виконуються найменше.

На транспортному ринку ми можемо спостерігати тенденцію до вигідніших транспортних систем. З одного боку, транспортні засоби, яким дозволено входити в місто, повинні мати більш високі коефіцієнти навантаження. Для досягнення цієї мети логістичні послуги вводять сегментовані транспортні засоби у свої системи розподілу для остаточної доставки в магазини. Великий голландський бакалійний продукт із великим успіхом представив сегментовану вантажівку для постачання своїх магазинів. Зниження 70 % транспортних рухів може бути реалізоване. З іншого боку, для проміжних поставок між містами та розподільними центрами важливість поставок «справедливого часу» стає ще важливішим, оскільки ці поставки стають невід'ємною частиною концепцій плавучого фонду. У складі зіркоподібної мережі ці сполуки повинні містити великі обсяги, щоб досягти економії від масштабу під час транспортування. Отже, збільшиться розмір транспортних засобів, наприклад, тепер існують судна з вантажопідйомністю у 460 TEU, поїзди будуть обладнані для подвійного складування, а вантажівок дозволено перевозити більше двох контейнерів.

У транспорті потрібна ринкова інформаційна комунікаційна технологія послуг, які відіграють важливу роль. В Європі наразі доступні два Інтернет-сервіси для перевізників: Teleroute та Freecargo. Ці інтернет-сервіси намагаються координувати обмін поставки LTL за вантажопідйомністю. У навчальних закладах оцінюються можливості для розвитку цих послуг для логістики міста за попитом та нерегульованими транспортними послугами. Розвиток цих так званих «віртуальних вантажних центрів» може мати величезні стимули для кооперативного транспорту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Taniguchi, E. City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport Systems. *Elsevier Science*, 2001 – 252 pages.
2. Taniguchi, E., T. Yamada, M. Tamaishi and M. Noritake (1998). Effects of designated time on pickup/delivery truck routing and scheduling, In: *Urban transport and the environment for the 21st century IV* (C. Borrego and L. J. Sucharov, eds.), WIT Press, Southampton, PP. 127–136.
3. Stern, E., J. Tzelgov and H. Avishai (1983). Driving efforts and urban route choice. *The Logistics and Transportation Review*, 19 (1), PP. 67–77.
4. Taniguchi, E., T. Yamada and T. Hosokawa (1999 c). Dynamic traffic simulation with optimal truck routing and scheduling, *Transportation and Traffic Theory, Abbreviated Presentation Sessions of the 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Jerusalem, PP. 419–439.
5. Taniguchi, E., T. Yamada and T. Takauchi (1999d). Stochastic vehicle routing and scheduling using a heuristic approach. In: *Urban transport and the environment for the 21st century V* (L.J. Sucharov, eds.), WIT Press, Southampton, PP. 127–136.

Навчальне видання

БУРКО Дмитро Леонідович

ЛОГІСТИКА МІСТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання
спеціальності 073 – Менеджмент)*

Відповідальний за випуск *Т. В. Луценко*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2017, поз. 134 Л

Підп. до друку 13.04.2018. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,8.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

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

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.