

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут прикладного системного аналізу
Кафедра математичних методів системного аналізу**

До захисту допущено:

В.о завідувача кафедри

_____ Оксана ТИМОЩУК

«__» _____ 2021 р.

Дипломна робота

**на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Системний аналіз та управління»
спеціальності 124 «Системний аналіз»
на тему: «Побудова та дослідження моделі попиту та пропозиції
транспортної мережі»**

Виконав:

студент IV курсу, групи КА-71

Братцев Антін Андрійович _____

Керівник:

доцент кафедри ММСА, к.ф.-м.н.,

Подколзін Гліб Борисович _____

Консультант з економічного розділу:

доцент, к.е.н., Рощина Надія Василівна _____

Консультант з нормоконтролю:

доцент, к.т.н., Коваленко Анатолій Єпіфанович _____

Рецензент:

Доцент кафедри м. А. та т. Й., к.ф.-м.н.,

Орловський Ігор Володимирович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Рівень вищої освіти-перший(бакалаврський)

Спеціальність -124«Системний аналіз»

Освітньо-професійна програма «Системний аналіз та управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о завідувача кафедри

_____ Оксана ТИМОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Братцеву Антіну Андрійовичу

1. Тема роботи «Побудова та дослідження моделі попиту та пропозиції транспортної мережі», керівник роботи Подколзін Гліб Борисович, доцент кафедри ММСА, к.ф.-м.н. затверджені наказом по університету від «26» травня 2021 р. №1344-с

2. Термін подання студентом роботи 08.06.2021

3. Вихідні дані до роботи: офіційна статистика по транспорту України за 2018 роки, заміри транспорту з відкритих джерел.

4. Зміст роботи: Аналіз предметної області дослідження та даних, вибір доцільних методів та моделей для роботи, побудова адаптованих алгоритмів прогнозування, моделювання прогнозу обраними методами, побудова структурної транспортної моделі.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: використані джерела, опис набору даних, побудова моделі, структура моделі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний	Рощина Н.В.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми ДР	06.03.2021-20.03.2021	

2	Аналіз актуальності задачі дослідження	10.03.2021-25.03.2021	
3	Збір та аналіз даних	27.03.2021-14.04.2021	
4	Формулювання задачі дослідження	30.03.2021-05.04.2021	
5	Розробка програмного продукту	15.04.2021-30.04.2021	
6	Аналіз та впорядкування результатів	30.04.2021-06.05.2021	
7	Оформлення пояснювальної записки	07.05.2021-16.05.2021	
8	Оформлення презентації для демонстрації	18.05.2021-22.05.2021	
9	Передзахист диплому	01.06.2021-02.06.2021	
10	Аналіз уточнень	02.06.2021-04.06.2021	
11	Захист дипломної роботи	15.06.2021-18.06.2021	

Студент

Братцев А. А.

Керівник роботи

Подколзін Г. Б.

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи 80 сторінок, 16 ілюстрацій, 1 таблиця, 18 джерел літератури.

Об'єктом дослідження є транспортна вантажна модель.

Предметом дослідження є система транспортної інфраструктури .

Мета проведеної роботи полягала у розробці транспортної моделі, яка б дозволяла оцінювати потоки трафіку, обігу товарів, експортні/імпортні потоки; також в задачі моделі входить прогнозування змін транспортної мережі за певних зовнішніх чинників,

Застосовані під час роботи методи : аналіз, декомпозиція/композиція, оцінка статистичних (ймовірнісних) критеріїв.

Ключові слова : транспортне моделювання, машинне навчання, статистичний аналіз, попит та пропозиція транспортних мереж, грузова модель.

ABSTRACT

This work contains 80 pages, 16 illustrations, 1 table, 18 sources in the list of links.

The object of the study is the transport freight model.

The subject of the study is the system of transport infrastructure.

The purpose of the work was to develop a transport model that would assess the flow of traffic, turnover of goods, export / import flows; also the task of the model is to predict changes in the transport network under certain external factors,

Methods used during the work: analysis, decomposition / composition, evaluation statistical (probabilistic) criteria.

Keywords: transport modeling, machine learning, statistical analysis, supply and demand of transport networks, freight model.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Огляд існуючих систем передачі повідомлень	10
1.1 Планування та моделювання транспорту	10
1.1.1 Передумови.....	10
1.1.2 Моделі та їх роль	12
1.2 Характеристика транспортних проблем.....	14
1.2.1 Урівноваження попиту та пропозиції	20
2 Огляд технологій, використовуваних у системах обміну повідомленнями із підвищеними вимогами до безпеки	26
2.1 Моделювання та прийняття рішень.....	26
2.1.1 Стили прийняття рішень	26
2.1.2 Вибір підходів до моделювання	30
2.2 Проблеми транспортного моделювання	35
2.2.1 Загальні питання моделювання	36
2.2.2 Агреговане та дезагреговане моделювання	45
2.2.3 Поперечний переріз та часові ряди	47
2.2.4 Виявлені та заявлені переваги	49
2.3 Структура класичної транспортної моделі.....	50
3 Побудова власної транспортної моделі	55
3.1 Вхідні дані для моделі	57
3.1.1 Rail data	58
3.1.2 Household survey	58
3.1.3 Traffic counts data.....	60
3.1.4 Customs data та Seaports data	61
3.2 Калібрування.....	61
3.2.1 Traffic counts	61
3.2.2 Калібрування по даним зовнішнього трафіку.....	62
3.2.3 Результат калібрування	66

3.3	Прогнозування	67
3.3.1	Прогноз загального трафіку країни	68
3.3.2	Додатковий трафік та його розподіл при зміні зовнішніх потоків товару	71
3.3.3	Mode Choice	75
3.4	Результати	77
4	ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ	101
4.1	Постановка задачі проектування	101
4.2	Обґрунтування функцій програмного продукту	101
4.3	Обґрунтування системи параметрів ПП	101
4.4	Аналіз експертного оцінювання параметрів	101
4.5	Аналіз рівня якості варіантів реалізації функцій	101
4.6	Економічний аналіз варіантів розробки ПП	101
4.7	Вибір кращого варіанту ПП техніко-економічного рівня	101
4.8	Висновки до розділу 4	101
	Висновки	100
	Перелік джерел посилань	101
	Додаток А Тексти програм	103

ВСТУП

При написанні цієї роботи я керувався бажанням зрозуміти фундаментальні принципи транспортного моделювання та зрозуміти, які є можливості розвитку цієї сфери, роблячи особливий акцент на ключових темах сучасного моделювання та планування:

- практичне значення теоретичного підходу в транспортному моделюванні;
- питання підготовки даних та помилок у специфікації при моделюванні, їх відносна важливість та методи їх обробки;
- ключову роль, яку відіграє контекст прийняття рішень у виборі найбільш підходящого інструменту моделювання;
- як невизначеність та ризик впливають на вибір найбільш підходящого інструменту моделювання;
- переваги моделювання змінної роздільної здатності; спрощена фонові модель у поєднанні з набагато детальнішою, що стосується наявних питань вирішення;
- необхідність функції моніторингу, що спирається на регулярний збір даних та оновлення прогнозів та моделей, з тим щоб напрямки дій могли бути адаптовані до змінних умов.

Для відповіді на ці запитання сфера транспортного моделювання була розглянута з точки зору практичного моделювання, розглядаючи роль теорії, даних, специфікації моделі в найширшому розумінні, оцінки моделі, перевірки та прогнозування.

Я уникав хитромудрих математичних деталей кожної моделі, щоб натомість зосередитись на їх основних принципах, виявленні їх сильних і обмежених сторін та обговоренні їх використання. Рівень теорії, наведений у цій роботі, достатній для вибору та використання моделей на практиці. Я намагався подолати розрив між більш теоретичними публікаціями та надто прагматичними книгами про "рецепти".

Немає єдиних рішень щодо моделювання та планування транспорту. Повторюваною темою роботи є залежність моделювання від контексту та теорії.

Мета роботи - надати достатньо інформації та прикладів, для інтуїтивного розуміння методології транспортного моделювання.

Постановка задачі - дослідити існуючі підходи транспортного моделювання та адаптувати відомі методології до конкретної задачі,

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ

1.1 Планування та моделювання транспорту

1.1.1 Передумови

Світ, включаючи транспорт, швидко змінюється. Ми все ще стикаємося з багатьма розповсюдженими транспортними проблемами минулого: затори, забруднення навколишнього середовища, аварії, фінансові дефіцити та точки поганого доступу. Людство все більше стаємо багатими фінансово, але бідними на час. Однак ми багато чого навчилися із довгого періоду слабого транспортного планування. Наприклад, ми дізналися, що старі проблеми не зникають під тиском спроб їх зменшення за рахунок кращого управління дорожнім рухом; старі проблеми з'являються в нових образах з ще більшою енергією, охоплюючи ширші райони, і в своїх нових формах вони здаються більш складними та важкими для вирішення.

Зараз ми більше впевнені в технічних рішеннях, ніж у попередньому столітті. Інформаційні технології настільки просунулись, що стали можливими нові концепції транспортної інфраструктури (наприклад, дигіталізація автомобільного транспорту), систем руху (наприклад, автоматизовані поїзди без машиністів) та електронних платежів (наприклад, смарт-карт, відео-оплата). Мобільні телефони та GPS-послуги змінюють спосіб надання корисної інформації про мандрівників та оплату за користування транспортними засобами. Особливий інтерес для теми цієї роботи викликає поява недорогих та високошвидкісних обчислень; це практично усунуло обчислювальну потужність як слабе місце у транспортному моделюванні. Зараз основними напрямком розвитку є теоретично обґрунтовані методи моделювання з компетентними впровадженнями в програмне

забезпечення. Країни, що розвиваються, стають все більш розвинені в транспортній сфері, але вони також зазнають серйозних транспортних проблем. Це вже не просто відсутність доріг, щоб зв'язати далекі сільські райони з ринками. Справді, нові транспортні проблеми мають деяку схожість із тими, що переважають у постіндустріальному світі: затори, забруднення тощо. Однак вони мають ряд дуже відмінних рис, що заслуговують на специфічне ставлення: відносно низькі доходи, швидка урбанізація та зміни, високий попит на громадський транспорт, дефіцит ресурсів, включаючи капітал, надійні дані та кваліфікований персонал.

На початку двадцять першого століття домінували дві потужні тенденції, що вплинули на більшість аспектів життя та економічний прогрес. Сильнішою тенденцією є глобалізація, яку підтримує та заохочує інша тенденція - дешевий телекомунікаційний зв'язок великої ємності. Поєднання обох тенденцій змінює спосіб сприйняття та вирішення багатьох сучасних проблем; їх вплив на транспортне планування починає відчуватися. Деякі з цих впливів полягають у ролі належної транспортної інфраструктури у підвищенні економічної конкурентоспроможності сучасних економік; більш широке визнання переваг більшого залучення приватного сектору до транспортних поставок та операцій; можлива роль телекомунікацій у зменшенні потреби у поїздках. Важливі технічні розробки в моделюванні транспорту відбулися з середини 70-х років, зокрема у великих науково-дослідних центрах; ці розробки вдосконалила та впровадила невелика група винахідливих консультантів. Однак багатьом із цих нововведень та додатків приділяється обмежена увага за межами більш академічних журналів. Після років експериментів сьогодні краще визнається роль моделювання в розвитку транспортного планування. У цій роботі зроблено спробу огляду кращих сучасних практик моделювання транспорту.

Транспортне моделювання не є транспортним плануванням; воно може підтримувати планування, і в деяких випадках може відігравати ключову роль у процесі. Справді, планування та реалізація мають

потенціал змінити світ, а транспортне моделювання може допомогти в цьому лише у тому випадку, якщо воно буде сприйматися як ефективна допомога для прийняття рішень. Для цього потрібні мудрі планувальники та, насамперед, кращі модельєри.

1.1.2 Моделі та їх роль

Модель - це спрощене представлення частини реального світу - системи інтересів, яка фокусується на певних елементах, які вважаються важливими з певної точки зору. Отже, моделі мають специфічні проблеми та точки зору. Таке широке визначення дозволяє нам включати як фізичну, так і абстрактну моделі. У першій категорії ми знаходимо, наприклад, ті, що використовуються в архітектурі або в механіці рідин, які в основному спрямовані на проектування. В другій діапазон охоплює ментальні моделі, які ми всі використовуємо у своїй щоденній взаємодії зі світом, до офіційних та абстрактних (типово аналітичних) уявлень якоїсь теорії про систему інтересів та як вона працює. Психічні моделі відіграють важливу роль у розумінні та інтерпретації реального світу та наших аналітичних моделей. Вони покращуються за допомогою обговорень, тренінгів і, перш за все, досвіду. Однак психічні моделі важкі для спілкування та обговорення.

У цій роботі розглянуто головним чином важливі класи абстрактних моделей: математичні моделі. Ці моделі намагаються відтворити систему інтересу та її поведінку за допомогою математичних рівнянь, заснованих на певних теоретичних твердженнях про неї. Хоча вони все ще є спрощеними поданнями, ці моделі можуть бути дуже складними і часто вимагають використання великих обсягів даних. Однак вони мають безцінне значення, пропонуючи "спільну точку зору" для обговорення політики та вивчення неминучих компромісів, необхідних на практиці, з рівнем об'єктивності. Ще однією важливою перевагою математичних моделей є те, що під час їх формулювання, калібрування

та використання планувальник може багато чого дізнатись, експериментуючи, про поведінку та внутрішню роботу системи, що перевіряється. Таким чином, ми також збагачуємо наші розумові моделі, дозволяючи більш розумне управління транспортною системою.

Модель реалістична лише з певної точки зору . Можливо, використовувати ніж і виделку на столі, щоб моделювати положення автомобілів перед зіткненням, але цього не достатньо для відображення їх механічних особливостей або схем вибору маршруту. Те саме стосується аналітичних моделей: їх значення обмежується цілим рядом проблем за певних умов. Доцільність моделі, як обговорювалося в решті цього розділу, залежить від контексту, де вона буде використовуватися. Можливість вибору та адаптації моделей до конкретного контексту є одним із найважливіших елементів у комплекті інструментів планувальника.

Ця робота стосується того, який вклад може зробити транспортне моделювання для вдосконалення процесу прийняття рішень та планування у транспортній галузі. Стверджується, що використання моделей неминуче. Однак моделювання транспорту є лише одним елементом транспортного планування: адміністративна практика, інституційна база, кваліфіковані фахівці та хороший рівень комунікації з особами, що приймають рішення, ЗМІ та громадськістю - деякі інші умови для ефективної системи планування. Більше того, моделювання транспорту та прийняття рішень можуть поєднуватися по-різному залежно від місцевого досвіду, традицій та досвіду. Однак перед тим, як розглядати, як вибрати підхід до моделювання та планування, варто окреслити деякі основні характеристики транспортних систем та пов'язані з ними проблеми.

1.2 Характеристика транспортних проблем

Транспортні проблеми стали більш поширеними і важкими, ніж будь-коли, як у промислово розвинутих, так і в країнах, що розвиваються. Дефіцит палива (тимчасово) не є проблемою, але загальне збільшення дорожнього руху та транспортного попиту призвело до заторів, затримок, аварій та екологічних проблем, що значно перевищує те, що вважалося прийнятним на сьогодні. Ці проблеми не обмежуються лише дорогами та автомобільним рухом. Економічне зростання, схоже, породило рівні попиту, що перевищує потужність більшості транспортних засобів. Тривалі періоди недостатнього інвестування в деяких режимах та регіонах призвели до крихких систем постачання, які, здається, руйнуються, коли щось дещо відрізняється від середніх умов. Ці проблеми найімовірніше не зникнуть найближчим часом. Минуло достатньо часу з поганим або відсутнім транспортним плануванням, щоб забезпечити необхідність значних зусиль для вдосконалення більшості видів транспорту в міському та міжміському контексті. Враховуючи те, що ресурси не безмежні, ці зусилля допоможуть зваженим та продуманим рішенням, орієнтованим на максимізацію переваг нового забезпечення транспортом при мінімізації їхніх грошових витрат та небажаних побічних ефектів.

1.2.1 Характеристика транспортного попиту

Попит на транспорт є наслідком, це не є самоціллю. За винятком оглядових пам'яток, люди подорожують з метою задоволення потреби (робота, відпочинок, здоров'я), здійснюючи діяльність у певних місцях. Це однаково важливо для руху товарів. Для того, щоб зрозуміти попит на транспорт, необхідно зрозуміти спосіб розподілу цих видів діяльності у просторі як в міському, так і в регіональному контексті. Хороша транспортна система розширює можливості для задоволення цих потреб; сильно перевантажена або погано пов'язана система обмежує можливості та обмежує економічний та соціальний розвиток.

Попит на транспортні послуги є вимогливим до якості та диференційованим. Існує цілий ряд специфічних вимог до транспорту, які диференціюються за часом доби, днем тижня, метою подорожі, типом вантажу, значенням швидкості та частоти тощо. Транспортна послуги без атрибутів, що відповідають цьому диференційованому попиту, цілком може бути марними. Ця характеристика ускладнює аналіз та прогнозування попиту на транспортні послуги: тонни та пасажирські кілометри є надзвичайно грубими одиницями продуктивності, що приховують величезний спектр потреб та послуг.

Транспортний попит відбувається в просторі. Це виглядає тривіальним твердженням, але саме розподіл діяльності в просторі обумовлює транспортний попит. Є кілька транспортних проблем, які можна вирішити, хоча і на дуже загальному рівні, без явного врахування простору. Однак у переважній більшості випадків явного врахування простору є критичним. Найбільш поширеним підходом до обробки простору є розподіл досліджуваних територій на зони та кодування їх разом із транспортними мережами у формі, придатній для обробки за допомогою комп'ютерних програм. У деяких випадках досліджувані області можна спростити, припускаючи, що зони, що представляють інтерес, утворюють коридор, який можна перевести в лінійну форму. Однак різні методи обробки відстані та розподілу рунку походження та пункту призначення (та їх атрибутів) за простором є важливим елементом транспортного аналізу.

Просторовий попит часто призводить до проблем відсутності координатії, що може сильно вплинути на рівновагу між попитом та пропозицією транспорту. Наприклад, послуга таксі може бути безуспішно затребувана в частині міста, тоді як в інших районах для пасажирів можуть курсувати різні таксі. З іншого боку, концентрація населення та економічна активність у чітко визначених коридорах може призвести до економічного обґрунтування високоякісної системи масового транзиту, яка не була б життєздатною в більш рідкісному районі.

Нарешті, транспортний попит та пропозиція мають дуже важливі динамічні елементи. Значна частина попиту на транспорт концентрується на декількох годинах дня, особливо в міських районах, де більша частина заторів відбувається в певні пікові періоди. Цей змінний у часі характер транспортного попиту ускладнює аналіз та прогнозування. Цілком може бути, що транспортна система могла б добре справлятися із середнім попитом на поїздки в певному районі, але вона руйнувалася в пікові періоди. Існує ряд методів, які намагаються розподілити пікове та середнє навантаження на систему: гнучкий робочий час, приголомшливий робочий час, ціноутворення преміум-класу тощо. Однак пікові коливання попиту залишаються центральною та захоплюючою проблемою у моделюванні та плануванні транспорту. 1.2.2 Характеристика транспортної пропозиції

Першою відмінною характеристикою транспортного пропозиції є те, що це послуга, а не товар. Тому неможливо запасти її, наприклад, використовуючи у часи вищого попиту. Транспортну послугу потрібно споживати, тоді і там, де вона виробляється, інакше її вигода втрачається. З цієї причини дуже важливо оцінювати попит з якомога більшою точністю, щоб заощадити ресурси, пристосувавши до нього транспортні послуги.

Багато характеристик транспортних систем впливають з їх природи послуги. Дуже широко кажучи, транспортна система вимагає ряду основних засобів, інфраструктури та ряду мобільних підрозділів - транспортних засобів. Саме їх поєднання разом із набором правил їх функціонування робить можливим переміщення людей і товарів.

Часто трапляється так, що інфраструктура та транспортні засоби ні належать, ні експлуатуються одній групі чи компанії. Це, безумовно, стосується більшості видів транспорту, за важливим винятком багатьох залізничних систем. Це розділення між постачальником інфраструктури та постачальником кінцевої транспортної послуги породжує досить складний набір взаємодій між державними органами (центральними або

місцевими), будівельними компаніями, забудовниками, транспортними операторами, мандрівниками та вантажовідправниками та широкою громадськістю. Остання категорія відіграє кілька ролей у постачанні транспортних послуг: вона включає мешканців, які постраждали від нової схеми, або безробітних у районі, який прагне покращити доступ для сприяння економічному зростанню; це можуть бути навіть власники автомобілів, які бажають безперешкодно подорожувати по чужому житловому району.

Забезпечення транспортної інфраструктури особливо важливо з точки зору пропозиції. Транспортна інфраструктура «кускова», не можна забезпечити половину злітно-посадкової смуги або одну третину залізничної станції. У деяких випадках може бути поле для забезпечення поступового нарощування інфраструктури, щоб відповідати зростаючому попиту. Наприклад, можна почати надавати ґрунтову дорогу, згодом модернізувати її до однієї або двох смуг з обробкою поверхні; на більш пізньому етапі можна побудувати добре побудовану одно- та подвійну проїзну частину дороги, що завершиться, можливо, стандартами автомагістралей. Таким чином, забезпечення інфраструктури можна пристосувати до попиту та уникнути зайвих ранніх інвестицій у дорогі споруди. Це складніше в інших районах, таких як аеропорти, лінії метро тощо.

Інвестиції в транспортну інфраструктуру не лише “кускові”, але й вимагають тривалого часу. Зазвичай це великі проекти. Будівництво великого об’єкта може зайняти від 5 до 15 років планування до повної реалізації. Це ще важливіше у міських районах, де для їх забудови також потрібно багато порушень. Ці порушення спричиняє додаткові витрати як для користувачів, так і для не-користувачів.

Більше того, транспортні інвестиції відіграють важливу політичну роль. Наприклад, політики в країнах, що розвиваються, часто вважають дорожній проект безпечним вибором: він показує, що вони піклуються про громадян і важко довести неправоту або економічну невигоду. В

індустріальних країнах транспортні проекти, як правило, несуть ризик відчуження великої кількості жителів або мандрівників, які страждають від заторів та затримки в переповнених об'єктах. Політичне судження є важливим у виборах подібного роду, але коли ці рішення не підтримуються плануванням, аналізом та дослідженнями, ці рішення призводять до реагування лише на основні проблеми та кризи; у випадку транспорту це неминуче занадто непередбачено. Передбачення і планування є важливими.

Розрив постачальників інфраструктури та постачальників послуг також вводить економічні складності. Для початку не завжди зрозуміло, що всі мандрівники та вантажовідправники насправді сприймають загальні витрати, понесені на надання послуг, якими вони користуються. Наприклад, нарахування плати за дорожній простір рідко здійснюється безпосередньо, і коли це трапляється, ціна не включає витрати на затори чи інші зовнішні ефекти, можливо, найближчим наближенням до цього є платні дороги та сучасні схеми ціноутворення на дорогах. Використання податків на транспортні засоби та паливе є лише приблизним наближенням до сплати за надання інфраструктури.

Але чому це важливо? Хіба це не так, що інші товари та послуги, такі як громадські парки, бібліотеки та поліція, часто надаються без прямої плати за них? Що поганого у наданні вільного місця на дорозі? Відповідно до елементарної економічної теорії це має значення. На ідеальному ринку хороший розподіл ресурсів для задоволення людських потреб досягається лише тоді, коли граничні витрати товарів дорівнюють їх граничній корисності. Ось чому часто виступають за те, що ціну товарів і послуг, тобто їхню передбачувану вартість, слід встановлювати на рівні їх граничних витрат. Звичайно, реальні ринки не є досконалими, а платоспроможність не є належним показником потреби; однак ця загальна структура забезпечує основу для протиставлення інших способів організації цінових систем та їх впливу на розподіл ресурсів.

Транспорт - це дуже важливий елемент добробуту націй та

добробуту міських і сільських жителів. Якщо ті, хто користується транспортними засобами, не усвідомлюють наслідків їхнього вибору на ресурси, вони, швидше за все, створять баланс між попитом та пропозицією, який за своєю суттю є неефективним. Занижені дефіцитні ресурси будуть розтрачені, тоді як інші рясні, але недорогі ресурси можуть не використовуватися. Той факт, що в цілому деякі галузі економіки (як правило, власники автомобілів) більш ніж платять за вартість наданого дорожнього простору, не є гарантією більш раціонального розподілу ресурсів. Власники автомобілів, напевно, вважають ці річні податки фіксованими, неминучими, витратами, які найбільше впливають на рішення про купівлю автомобіля, але не на його використання.

Додатковим елементом недорозуміння є кількість супутніх або побічних ефектів, пов'язаних з виробництвом транспортних послуг: аварій, забруднення та погіршення стану навколишнього середовища в цілому. Ці ефекти рідко інтерналізуються; користувач транспортної послуги рідко сприймає та оплачує витрати на прибирання навколишнього середовища або догляд за постраждалими внаслідок транспортних аварій. Інтерналізація цих витрат може також допомогти прийняти кращі рішення та покращити розподіл попиту на альтернативні режими. Однією з найважливіших особливостей транспортної пропозиції є затори. Цей термін важко визначити, оскільки всі ми вважаємо, що точно знаємо, що це означає. Однак більшість практикуючих дійсно знають, що те, що вважається заторами в Лідсі чи Лампангу, часто приймається як нормальне явище в Лондоні чи Лагосі. Затори виникають, коли рівні попиту наближаються до загруженості доріг і час, необхідний для їх використання (подорожі ними), збільшується значно вище середнього за умов низького попиту. У випадку транспортної інфраструктури включення додаткового транспортного засобу також створює додаткову затримку для всіх інших користувачів, (див. рисунок 1.1). Зауважте, що внесок, який додатковий автомобіль вносить у

затримку всіх користувачів, більший при великих потоках, ніж при низьких.

Це зовнішній ефект заторів, сприйманий іншими, але не водієм, що їх спричиняє. Це вартість, яку такі схеми, як електронне ціноутворення, намагаються узагальнити, щоб допомогти більш обґрунтованому прийняттю рішень особою.

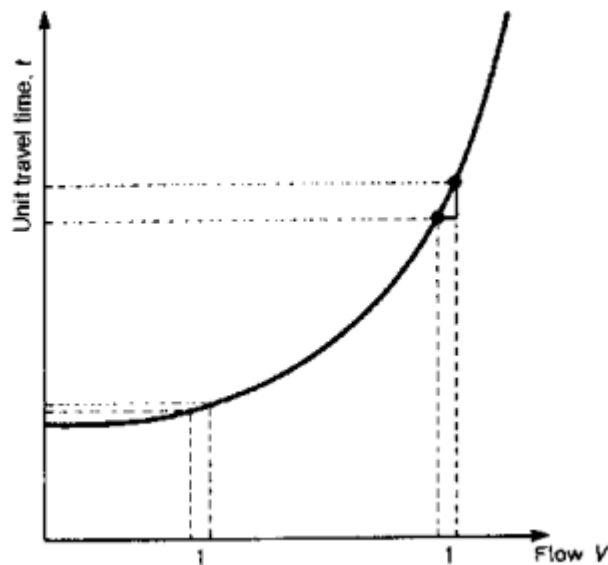


Рисунок 1.1 – Затори та їх зовнішні наслідки

1.2.1 Урівноваження попиту та пропозиції

Загалом роль транспортного планування полягає у забезпеченні задоволення певного попиту D на переміщення людей та вантажів з різними цілями поїздки, в різний час доби та року, використовуючи різні режими, отримавши транспортну систему з певною експлуатаційною здатністю. Саму транспортну систему можна розглядати як складену з:

- інфраструктури (наприклад, дорожня мережа);
- системи управління (тобто набір правил, наприклад, їзда праворуч, та стратегії управління, наприклад, на дорожній сигнал);

– сукупності видів транспорту та їх операторів.

Розглянемо набір обсягів у мережі V , відповідний набір швидкостей S та робочу ємність Q за системою управління M . У дуже загальних рисах швидкість у мережі може бути представлена:

$$S = f(Q, V, M) \quad (1.1)$$

Швидкість може бути прийнята як початкове наближення для більш загального показника рівня обслуговування (level of service - LOS), що надається транспортною системою. У більш загальних рисах LOS визначається поєднанням швидкості або часу поїздки, часу очікування та прогулянки та цінкових ефектів. Система управління M може включати схеми управління дорожнім рухом, контроль за дорожнім рухом та правила, що застосовуються до кожного режиму. Ємність Q залежала б від системи управління M та рівнів інвестицій I протягом багатьох років, таким чином:

$$Q = f(I, M) \quad (1.2)$$

Система управління може також використовуватися для перерозподілу потужності, надаючи пріоритет певним типам користувачів над іншими, або з точки зору ефективності (користувачі громадського транспорту, велосипедисти), екології (електричні транспортні засоби) або справедливості (пішоходи).

Як і у випадку з більшістю товарів та послуг, можна було б очікувати, що рівень попиту D залежатиме від рівня послуг, що надаються транспортною системою, а також від розподілу видів

діяльності A в просторі:

$$D = f(S, A) \quad (1.3)$$

Поєднуючи рівняння 1.1 та 1.3 для системи фіксованої активності, можна було б знайти набір точок рівноваги між попитом та пропозицією на транспорт. Але знову ж таки, сама система діяльності, ймовірно, зміниться, коли рівні обслуговування змінюватимуться у просторі та в часі. Тому можна було б мати два різні набори точок рівноваги: короткострокові та довгострокові. Завданням транспортного планування є прогнозування та управління розвитком цих точок рівноваги з часом, щоб соціальний добробут був максимально можливим. Це, звичайно, непросте завдання: моделювання цих точок рівноваги повинно допомогти краще зрозуміти цю еволюцію та допомогти у розробці та реалізації стратегій управління M та інвестиційних програм I .

Іноді дуже прості причинно-наслідкові зв'язки можна зобразити графічно для кращого розуміння природи деяких транспортних проблем. Типовим прикладом є замкнене коло автомобілів / громадського транспорту, зображене на рисунку 1.2.

Економічне зростання дає перший поштовх для збільшення частки власності автомобілів. Більше власників автомобілів означає більше людей, які бажають перейти з громадського транспорту на автомобіль; це, у свою чергу, означає меншу кількість пасажирів громадського транспорту, на що оператори можуть реагувати збільшенням тарифів, зменшенням частоти (рівня обслуговування) або того й іншого. Ці заходи роблять використання автомобіля ще більш привабливим, ніж раніше, і спонукають більше людей купувати машини, тим самим посилюючи порочне коло. Через кілька циклів (років) водії автомобілів стикаються з підвищеним рівнем заторів; автобуси затримуються, стають все дорожчими і їздять рідше; накопичення розумних індивідуальних рішень

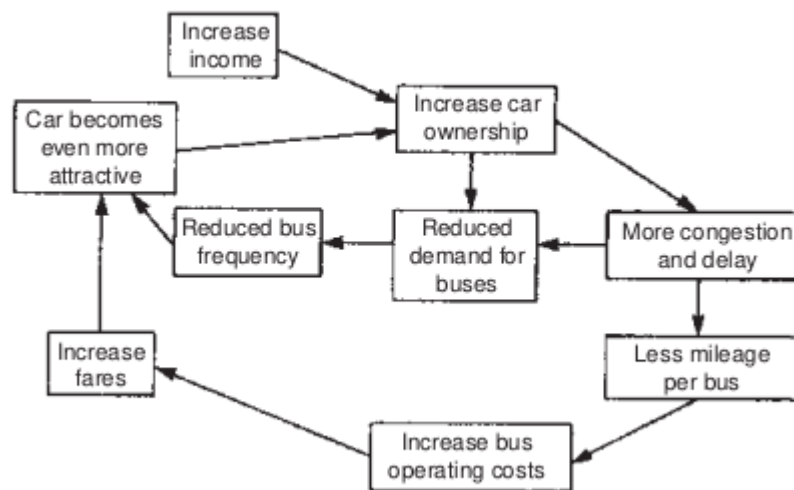


Рисунок 1.2 – Порочне коло автомобілів та громадського транспорту

призводить до остаточного стану, в якому майже всі переживають гірший стан, ніж спочатку.

Більше того, є більш підступний ефект у довгостроковій перспективі, який не зображений на рисунку 1.2, оскільки власники автомобілів вибирають місце роботи та проживання, не враховуючи доступності (або інших видів) громадського транспорту. Це породжує розростання міст, забудову низької щільності, яку важче та дорожче обслуговувати більш ефективними видами громадського транспорту. Це «пастка розвитку», яка веде до подальших заторів та більшої частки нашого часу, проведеного в повільних автомобілях.

Це просте подання також може допомогти визначити, що можна зробити, щоб уповільнити або змінити це порочне коло. Ці ідеї узагальнені на рисунку 1.3. Фізичні заходи, такі як смуги руху автобусів або інші схеми пріоритетів автобусів, особливо привабливі, оскільки вони також призводять до більш ефективного розподілу дорожнього простору. Субсидії на громадський транспорт мають сильних прихильників і недоброзичливців; вони можуть зменшити потребу у збільшенні вартості проїзду, принаймні в короткостроковій перспективі, але, як правило, створюють значні дефіцити та захищають погане управління від

наслідків власної неефективності. Обмеження кількості автомобілів, і зокрема розрядка заторів, можуть допомогти інтерналізувати зовнішні фактори та створити потік доходу, який можна розподілити в інших сферах, що потребують транспорту.

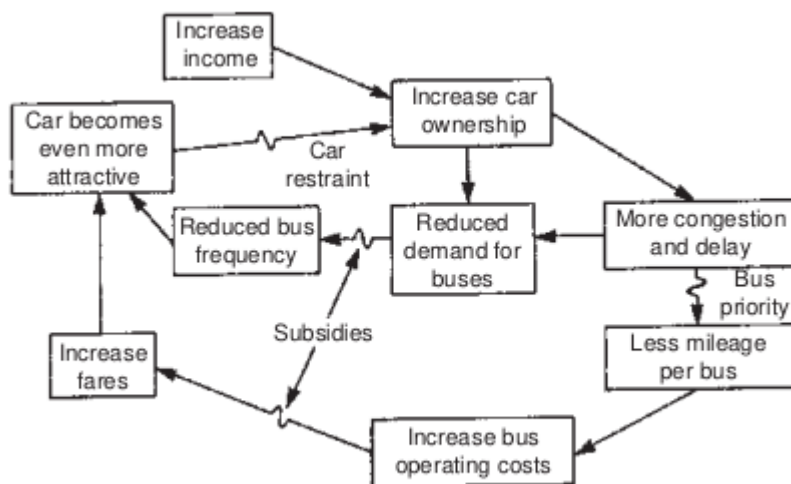


Рисунок 1.3 – Розрив замкненого кола автомобілів / громадського транспорту

Тип моделі, що стоїть за рисунками 1.2 та 1.3, іноді називають структурною моделлю; це прості, але потужні конструкції, зокрема тому, що вони дозволяють обговорювати ключові питання у досить простій формі. Однак вони не звільняють від небезпек, коли застосовуються до різних контекстів. Подумайте, наприклад, про модель порочного кола в контексті країн, що розвиваються. Зростання населення підтримуватиме попит на громадський транспорт набагато довше, ніж у промислово розвинених країнах. Дійсно, деякі автобусні потоки, які зараз переживають країни, що розвиваються, надзвичайно високі, досягаючи 400-600 автобусів на годину в одну сторону вздовж деяких коридорів. Контекст також актуальний при пошуку рішень; аргументовано, що однією з головних цілей запровадження схем пріоритетного використання автобусів у країнах, що розвиваються, є не захист автобусів від

автомобільних заторів, а організація руху автобусів (Gibson et al. 1989). Великі обсяги автобусів часто реалізують фактичний пріоритет, і взаємодія між автобусами може стати більшим джерелом затримки, ніж автомобільні затори. Щоб мати цінність, модель порочного кола повинна бути переглянута в цьому новому контексті.

Слід зрозуміти, що неможливо охарактеризувати всі транспортні проблеми в унікальній, універсальній формі. Транспортні проблеми залежать від контексту, і, такими повинні бути способи їх вирішення. Моделі можуть запропонувати свій внесок у питання виявлення проблем та вибору способів їх вирішення.

2 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ, ВИКОРИСТОВУВАНИХ У СИСТЕМАХ ОБМІНУ ПОВІДОМЛЕННЯМИ ІЗ ПІДВИЩЕНИМИ ВИМОГАМИ ДО БЕЗПЕКИ

2.1 Моделювання та прийняття рішень

2.1.1 Стили прийняття рішень

Перед тим, як вибрати структуру моделювання, потрібно визначити загальний підхід до прийняття рішень, прийнятий у країні, уряді чи підрозділі прийняття рішень. Слід визнати, що на практиці існує кілька стилів прийняття рішень, і що не всі з них використовують моделювання як основний будівельний матеріал. Спробуємо виділити дві різні парадигми: "substantive rationality" та "Muddling through".

Основний погляд на раціональність світу передбачає, що ми знаємо, якими є наші цілі, і ми можемо передбачити всі альтернативні шляхи їх досягнення і, за певної удачі, кількісно визначити витрати та вигоди, пов'язані з кожним підходом. Це стосується важливих рішень, таких як вибір місця для проживання, та менш важливих, таких як вибір місця для їжі. Це раціональний або нормативний підхід до прийняття рішень, передбачений у більшості підручників про планування транспорту. Іноді його називають «системним підходом» до планування. Тут кількісна оцінка є дуже важливою. Проблема прийняття рішення розглядається як один із варіантів вибору з повного набору альтернатив і сценаріїв з оцінками щодо їх вірогідності виникнення; корисність кожної альтернативи визначається кількісно з точки зору вигод та витрат та інших критеріїв, таких як охорона навколишнього середовища, безпека тощо.

У деяких випадках може бути навіть можливо спроектувати проблему прийняття рішення на можливості математичного програмування. Це означає, що цільова функція добре зрозуміла і

конкретизована, і те саме стосується обмежень, що визначають простір рішення. Однак для більшості реальних проблем деякі елементи цільової функції або обмеження може бути важко кількісно визначити або перетворити на загальні одиниці виміру, скажімо гроші чи час. Також може бути важко включити деякі імовірнісні елементи в кожен випадок, але процес дозволяє багато чого дізнатися про проблему. Моделювання є основою цього підходу. Оцінка планів або проектів за допомогою аналізу вигід та багатокритеріальної системи також базується на такому погляді на реальність.

Деякі проблеми застосування нормативної теорії прийняття рішень:

- Труднощі у фактичному визначенні, які цілі виходять за рамки загальних значень, таких як зменшення заторів або покращення доступності; як тільки ми розробляємо міру або показник для цієї мети, ми виявляємо, що це насправді вводить в оману щодо того, чого ми хочемо досягти.

- Звинувачення у нечутливості до прагнень громадськості; люди насправді не піклуються про «оптимізовані» системи, вони просто хочуть бачити прогрес, який підтримується на шляху, який важко визначити: вони вимагають швидкості, але коли вона досягається, вони незадоволені відповідним шумом та викидами.

- Високі витрати; суттєва раціональність є дорогою у впровадженні, вимагає вдосконалених моделей та багатьох спроб альтернативних механізмів та аналізу чутливості; зусилля щодо застосування цього підходу часто перевищують час і бюджет.

- Відчуження осіб, які приймають рішення, які можуть не розуміти та не приймати аналітичного трактування проблеми. Це поширена скарга в моделюванні; періодичний реквізит, щоб продемонструвати корисність моделювань, може дратувати, але відображає справжню потребу зробити моделі та результати доречними та комунікабельними.

Більше того, є дуже обмежені докази того, що країни чи організації, які не дотримуються цього підходу, відчувають себе гірше, ніж ті, хто це

робить. Кей(2010) стверджує, що багато компаній, яких колись називали взірцями доброго раціонального прийняття рішень, через кілька років вражаюче провалились; прикладів цього, здається, безліч.

Основним альтернативним підходом до суттєвої раціональності є те, що Ліндблом (1959) назвав неприємністю. Назва, що вводить в оману, не означає, що інтуїтивне та неструктуроване прийняття рішень є бажаним. Навпаки, в очах Ліндблома нерозуміння - це дисциплінований процес, але не той, що заснований на суттєвому раціональному вирішенні визначених цілей. У підході використовується комбінація цілей високого рівня (часто не піддаються кількісному вимірюванню), проміжних цілей та безпосередніх дій чи експериментів. Muddling through, або те, що Кей називає «косим або непрямим підходом», характеризується:

- Використання цілей високого рівня, які визначені лише слабо, не намагаючись їх кількісно визначити.
- Відмова від будь-якої чіткої різниці між ціллю, цілями та діями; ми дізнаємось про цілі високого рівня, приймаючи цілі та здійснюючи дії.
- Визнаючи, що навколишнє середовище є невизначеним і що ми навіть не можемо знати діапазон подій, які можуть відбутися в майбутньому, і
- Приймаючи те, що ми ніколи не можемо ідентифікувати та описати весь спектр доступних варіантів; ми можемо мати справу лише з обмеженим набором, не прагнучи вичерпати пошук. Наступна таблиця, адаптована з ідей Кея, визначає додаткові контрасти між двома основними підходами:

На практиці жодна організація не покладається (намагається) на суттєву раціональність. Більшість застосовує еклектичну суміш підходів із використанням моделей, наративів, політичного контексту та джерел доказів. Моделювання відіграє важливу роль у кожному з цих підходів, і професійний модельєр повинен бути готовим запропонувати гнучкість та здатність адаптуватися, включаючи нові змінні за необхідності та швидко реагуючи на аналіз інноваційної політики та конструкцій.

Substantive rationality	Issue	Indirect approach
Interactions with others are limited and their response depend on our actions alone	Interactions	The outcome of interactions with others depend on context and their interpretation of our intentions
The relationships between objectives, states, goals and actions are understandable	Complexity	Our understanding of the relationships between objectives, states, goals and actions is imperfect but can be improved by experience
The problem and context can be described by a well specified and estimated analytical model	Abstraction	Appropriate simplification of complex problems must rely on judgement and understanding of context
What happens is what we intended to happen	Intentionality	What happens is the result of complex processes whose totality nobody fully understands
Decisions are made on the basis of the fullest possible information	Information	Decisions are recommended and made acknowledging that only limited knowledge is or can be available
The best outcome is achieved through a conscious process of maximisation	Adaptation	Good results are obtained through continual adaptation to constantly changing conditions
Rules and guidelines can be defined that allow people to find the correct solutions	Expertise	Experts can do things that others cannot – and can only learn with difficulty

Таблиця 2.1 – Контрасти між двома основними підходами

2.1.2 Вибір підходів до моделювання

Ця робота передбачає, що прийнятий стиль прийняття рішень включає використання моделей, але вона не підтримує єдиний “правильний” (тобто нормативний) підхід до прийняття рішень. Прийнятність моделювання або конкретного підходу до моделювання в рамках стилю прийняття рішень дуже важлива. Моделі, які в кінцевому підсумку ігноруються особами, що приймають рішення, не лише представляють даремно витрачені ресурси та зусилля, але призводять до розчарування аналітиків та плановиків. Далі пропонується декілька особливостей транспортних проблем та моделей, які необхідно враховувати при визначенні аналітичного підходу:

1) Потрібна точність та акуратність. Ці поняття іноді плутають. Точність - це ступінь, в якій результат вимірювання або моделі відповідає дійсним або прийнятим значенням. Акуратність - це поняття, що стосується якості даних та моделі. Рівень акуратності, необхідний для конкретних застосувань, сильно варіюється. Часто буває, що потрібна акуратність саме така, щоб розрізнити хорошу схему та менш хорошу. У деяких випадках найкраща схема може бути цілком очевидною, що вимагає менш точного моделювання. Однак слід пам'ятати, що в минулому здоровий глузд виливався в деякі дуже невдалі транспортні рішення. Точність відноситься до рівня або одиниць виміру, що використовуються для збору даних та доставки вихідних даних моделі. Можна виміряти час подорожі між двома точками частками секунди, але люди можуть оцінювати та стверджувати те ж саме набагато рідше через п'ятихвилинні інтервали. Точність - це не акуратність, що часто путають. Звітність з оцінками з високою точністю часто трактується як впевненість у їх акуратності, тоді як транспортні моделі часто використовують точні цифри для подання невизначених оцінок. Існує різниця між заявою про те, що “вчора з 8:00 до 9:00 ранку за лінією X

було виміряно 2347 транспортних засобів”, і тим, що “через п’ять років трафік за лінком X між 8:00 та 9:00 ранку буде 3148 транспортних засобів””: перше твердження може бути одночасно точним і акуратним, якщо друге однозначно точне, але, безумовно, неакуратне. Менше вводить в оману повідомлення про другу цифру як 3150. Як і в цитаті, приписаній Джону Мейнاردу Кейнсу, «набагато краще бути приблизно правильним, ніж точно неправильним».

2) Контекст прийняття рішень. Це передбачає прийняття певної точки зору та вибір сфери дії або охоплення системи інтересів. Вибір перспективи визначає тип рішень, які будуть розглядатися: стратегічні питання або схеми, тактичні схеми (управління транспортом) або навіть конкретні операційні проблеми. Вибір обсягу передбачає вказівку рівня аналізу: це просто транспорт або це також передбачає місце діяльності? Що стосується транспортної системи, чи цікавимося ми лише попитом, а також стороною пропозиції на різних рівнях: ефективність системи чи постачальників, проблеми мінімізації витрат у постачальників тощо? Питання про те, скільки варіантів потрібно розглянути, щоб задовольнити різні групи інтересів або розробити єдину найкращу схему, також є вирішальним. Отже, контекст прийняття рішень також допоможе визначити вимоги до моделей, які будуть використовуватися, змінних, які будуть включені в модель, або вважатимуться даними чи екзогенними.

3) Необхідний рівень деталізації. Рівень роздільної здатності модельної системи можна описати за чотирма основними вимірами: географія, одиниця аналізу, поведінкові реакції та обробка часу. Простір дуже важливий, і його можна обробляти у сукупності, у вигляді декількох зон із кривими швидкості потоку на всій території або на детальному рівні окремих адрес для поїздок із детально описаними сполученнями. У цій галузі є широкий спектр варіантів, і вибір буде залежати від конкретного додатка: якщо питання стосується детального проекту для руху на невеликій території, сильно дезаггеговані зони з точним урахуванням фізичних характеристик посилянь будуть доречно в

мікросимуляційній моделі. Стратегічне планування може вимагати більш загальної системи зонування зі сполученнями, описаними лише з точки зору їх взаємозв'язку швидкості та потоку. Одиницею, що представляє інтерес для моделювання, може бути та сама зона, коли поїздки виникають і закінчуються там, або, на іншому кінці спектра, вибірки або синтезовані особи; десь посередині будуть різні верстви домогосподарств або людей як представників подорожуючого населення. Включені поведінкові відповіді можуть варіюватися від досить простих дій щодо вибору маршруту в моделі дорожнього руху до змін у часі подорожі, режиму, пункту призначення, частоти туру і навіть впливу землекористування та економічної діяльності. Час, у свою чергу, може трактуватися як дискретна, так і неперервна змінна. У першому випадку модель може охоплювати цілий день (як у багатьох національних моделях), піковий період або менший інтервал часу: усі релевантні відклики відбуватимуться в цей період, хоча можуть бути взаємодії з іншими періодами. Крім того, час можна розглядати як безперервну змінну, що дозволяє більш динамічно обробляти дорожній рух та поведінкові реакції, такі як вибір часу подорожі. Розгляд дискретних часових зрізів є загальним варіантом, оскільки трактування часу як неперервної змінної набагато вибагливіше.

4) Наявність відповідних даних, їх стабільність та труднощі, пов'язані з прогнозуванням їх майбутніх цінностей. У деяких випадках може бути доступно дуже мало даних; тут можуть бути причини сумніватися в інформації або мати меншу впевненість у майбутніх прогнозах щодо ключових змінних планування, оскільки система недостатньо стабільна. У багатьох випадках наявні дані будуть ключовим фактором при виборі підходу до моделювання.

5) Сучасний рівень моделювання для конкретного виду втручання в транспортну систему. Це, в свою чергу, можна поділити на:

- Поведінкове багатство;
- Математична та комп'ютерна придатність;

– Наявність хороших алгоритмів рішення.

Слід мати на увазі, що на практиці всі моделі припускають, що деякі змінні є екзогенними для неї. Більше того, багато інших змінних не включено в рамки моделювання на підставі того, що вони не мають відношення до даного завдання, занадто важкі для прогнозування або, як очікується, мало що змінять і не вплинуть на систему інтересів. Явний розгляд того, що залишилось поза моделлю, може допомогти визначитися з її доцільністю для даної проблеми.

6) Ресурси, доступні для дослідження. Сюди входять гроші, дані, апаратне та програмне забезпечення комп'ютера, технічні навички тощо. Однак тут варто виділити два типи ресурсів: час та рівень спілкування з особами, що приймають рішення, та громадськістю. Час, мабуть, найважливіший: якщо для вибору між схемами залишається мало часу, потрібні будуть спрощення для надання своєчасної поради. Особи, що приймають рішення, схильні встановлювати абсурдно короткі терміни для оцінки проектів, які вимагатимуть років, щоб розібратись за допомогою декількох інстанцій прийняття рішень, років реалізації та ще багато років, щоб підтвердити їх як правильні чи неправильні. З іншого боку, хороший рівень спілкування з особами, що приймають рішення, та громадськістю пом'якшить цю проблему: виникне менше нереальних очікувань щодо здатності модельєра точно моделювати транспортні схеми, а краще розуміння переваг та обмежень моделювання пом'якшить крайність сліпого прийняття або повного відхилення рекомендацій дослідження.

7) Вимоги до обробки даних. Раніше цей аспект трактувався як щось на зразок „наскільки великий комп'ютер вам потрібен?” Відповідь на це питання сьогодні „не дуже великий”, оскільки хороший мікрокомп'ютер у більшості випадків зробить свою справу. Справжнім вузьким місцем в обробці даних є здатність людини збирати, кодувати, вводити дані, запускати програми та інтерпретувати вихідні дані. Чим більший рівень деталізації, тим складнішими будуть усі ці людські

завдання. Використання автоматизованого збору даних та графіки для введення-виведення програм дещо зменшує навантаження.

8) Рівні підготовки та вміння аналітиків. Витрати на навчання зазвичай досить високі; настільки, що іноді краще використовувати існуючу модель або програмне забезпечення, яке добре себе зарекомендувало, ніж приступати до придбання та навчання трохи більш досконалого. Звичайно, це виглядає як рецепт придушення інновацій та прогресу; однак завжди слід мати можливість витратити деякий час на нарощування сил у нових передових техніках, не відкидаючи досвід, отриманий з попередніми моделями.

9) Перспектива моделювання та сфера застосування. Флоріан та ін. (1988) формалізують контекст прийняття рішень, використовуючи двовимірну структуру: рівень аналізу та перспективу. Рівні аналізу можуть включати шість різних груп процедур, де процедура зосереджується на одній або декількох моделях та їх конкретних алгоритмах рішення. Це:

- Процедури розміщення діяльності L;
- Процедури попиту D;
- Процедури функціонування транспортної системи P, які дають як рівень випуску послуг, витрат і практичних можливостей, і залежать від рівня попиту та умов транспортного постачання;

- Процедури дій щодо пропозиції S, які визначають дії, що здійснюються постачальниками транспортних послуг та інфраструктури; вони залежать від їх цілей (максимізація прибутку, соціальний добробут), інституційного середовища, їх витрат та оцінок майбутнього стану системи;

- Процедури мінімізації витрат CM;
- Виробничі процедури PR. Останні два мають більше спільного з мікроекономічними проблемами, що впливають на постачальників при виборі ними комбінацій вводу, щоб мінімізувати витрати. Вимір перспектив враховує шість рівнів процедур L, D, P, S, CM, PR та три

перспективи: стратегічну перспективу STR, тактичну перспективу TAC та операційну перспективу OPE. Це, звичайно, пов'язано з горизонтами планування та рівнями інвестицій; однак у цьому контексті їх слід розглядати як загальні поняття, що стосуються спроможності:

- візуалізувати рівні L, D, P, S, CM, PR у їх справжньому та відносному значенні;
- вибрати на будь-якому рівні, що слід вважати фіксованим, а що змінним.

Рисунок 2.1 узагальнює спосіб взаємодії різних перспектив та рівнів. Найбільшим і найбільш сукупним є, звичайно, стратегічний рівень; аналіз та вибір на цьому рівні мають значні загальносистемні та довгострокові наслідки та, як правило, передбачають залучення ресурсів та проектування мережі. Тактичні проблеми мають вузьку перспективу і стосуються таких питань, як найкраще використання існуючих об'єктів та інфраструктури. Найвузьча перспектива, операційна, стосується короткотермінових проблем постачальників транспортних послуг; тим не менше, фактичні рішення щодо, наприклад, рівнів обслуговування або розміру транспортного засобу, є важливим екзогенним вкладом у деякі з моделей, і це зображено на рисунку 2.1.

Це, звичайно, досить абстрактний та ідеалізований спосіб візуалізації проблем планування. Однак це допомагає пояснити вибір, з яким повинен зіткнутися аналітик при розробці підходу до транспортного моделювання. У цій роботі в основному розглянуто стратегічні та тактичні питання на рівні попиту та ефективності.

2.2 Проблеми транспортного моделювання

Ми вже визначили взаємодію між транспортними проблемами, стилями прийняття рішень та підходами до моделювання. Зараз нам потрібно виявити деякі найважливіші питання моделювання, які мають відношення до вибору моделі. Ці питання охоплюють деякі загальні

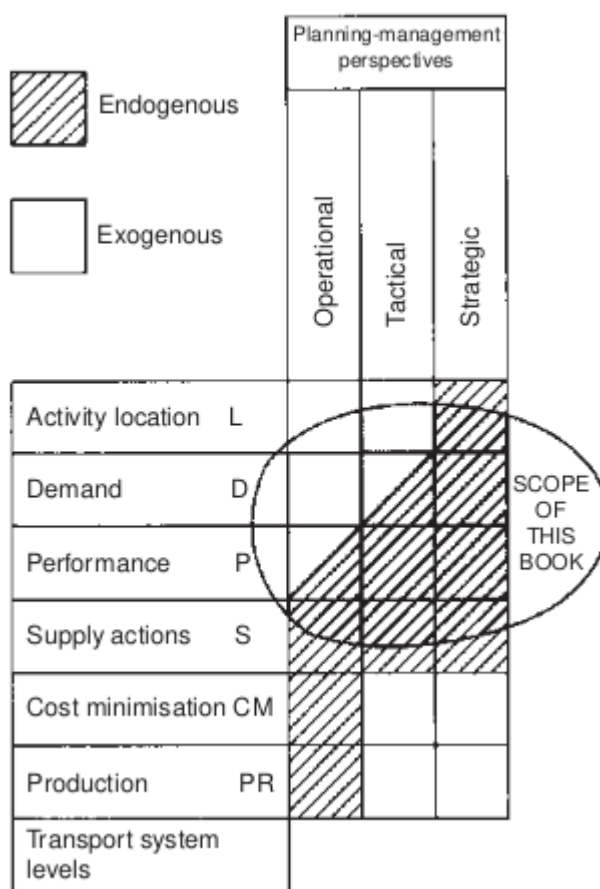


Рисунок 2.1 – Двовимірна концептуальна основа

моменти, такі як роль теорії та даних, специфікація моделі та калібрування. Але, мабуть, найбільш критичним вибором є вибір між використанням сукупного або дезагрегованого підходів, моделями поперечного перерізу чи часових рядів та виявленими або заявленими методами переваг.

2.2.1 Загальні питання моделювання

Уїлсон (1974) пропонує цікавий перелік питань, на які повинен відповісти будь-який потенційний модельєр; вони варіюються від широких питань, таких як мета, що лежить в основі побудови моделі, до детальних аспектів, таких як те, які методи доступні для побудови

моделі. Деякі з них будуть розглянуті нижче, а також інші питання моделювання, які особливо актуальні для розвитку цієї книги.

Ролі теорії та даних

Багато людей схильні пов'язувати слово "теорія" з нескінченними серіями формул та алгебраїчними маніпуляціями. У галузі моделювання міського транспорту ця асоціація в основному була правильною: важко зрозуміти та відтворити складні взаємодії між людьми, які є неминучою особливістю транспортних систем.

Деякі теоретичні розробки, що намагаються подолати ці труднощі, призвели до того, що моделям не вистачає адекватних даних та / або обчислювального програмного забезпечення для їх практичної реалізації. Це призвело до думки, яку категорично дотримуються деякі практики, що розрив між теорією і практикою постійно збільшується.

Важливим міркуванням щодо оцінки внеску нової теорії є те, чи накладає вона якісь суттєві обмеження, наприклад, на форму функції попиту. Є принаймні один задокументований випадок "практичного" дослідження планування транспорту, яке тривало кілька років і коштувало кілька мільйонів доларів, яке спиралося на "прагматичні" моделі попиту з дефектною структурою (тобто деякі його еластичності мали неправильний знак; див. Williams and Senior 1977). Хоча це могли б діагностувати заздалегідь прагматичні практики, якби вони не зневажали теорію, це було відкрито лише теоретиками пост фактум.

На жаль (або, можливо, на щастя, сказав би прагматик), іноді можна вивести подібні функціональні форми з різних теоретичних ракурсів. Однак інтерпретація виходу моделі сильно залежить від прийнятої теоретичної бази. Наприклад, та сама функціональна форма гравітаційної моделі може бути виведена з аналогії з фізикою, максимізації ентропії та формалізмів максимальної корисності. Однак інтерпретація результату може залежати від прийнятої теорії. Якщо

когось просто цікавлять потоки за посиланнями, може не мати значення, яка теоретична основа лежить в основі функції аналітичної моделі. Однак, якщо потрібен оціночний захід, ситуація змінюється, оскільки лише економічно обґрунтована теорія поведінки людини буде корисною для цього завдання. В інших випадках будуть використовуватися фрази на кшталт: «гравітаційне тяжіння цього пункту призначення збільшиться», або «це найбільш вірогідне розташування поїздок» або «матриця найімовірніших поїздок, що відповідає нашій інформації про систему»; вони не надають ніякої допомоги у розробці оціночних заходів, але допомагають інтерпретувати природу знайденого рішення. Теоретична основа також надасть певної довіри здатності моделі прогнозувати майбутню поведінку. У цьому сенсі цікаво поміркувати про вплив практики та теорії, які можуть мати один на одного. Наприклад, було зазначено, що моделі чи аналітичні форми, що використовуються на практиці, традиційно мали провідний вплив на припущення, що застосовуються при розробці наступних теоретичних основ. Також добре відомо, що широко впроваджені форми, такі як гравітаційно-логічна модель, стали предметом сильної пост фактум раціоналізації:

"Теоретичні досягнення особливо вітаються,
коли вони зміцнюють існуючу практику, якій бракує
особливо переконливого обґрунтування"

(Williams and Ortúzar, 1982b).

Два класичні підходи до розвитку теорії відомі як дедуктивний (побудова моделі та перевірка її прогнозів на основі спостережень) та індуктивний (починаючи з даних і намагаючись зробити висновок про загальні закони). Дедуктивний підхід виявився більш продуктивним у чистих науках, а індуктивний підхід - кращим в аналітичних соціальних науках. Цікаво відзначити, що дані є центральними для обох; насправді, загальновідомо, що доступність даних зазвичай залишає мало місця для переговорів і компромісів у компромісі між актуальністю моделювання та

складністю моделювання. Дійсно, у дуже багатьох випадках природа даних обмежує вибір моделі одним варіантом.

Питання про дані тісно пов'язане з такими питаннями, як тип змінних, які будуть представлені в моделі, і це, звичайно, тісно пов'язано з питаннями про теорію. Моделі передбачають ряд залежних (або ендогенних) змінних, враховуючи інші незалежні (або пояснювальні) змінні. Для тестування моделі нам зазвичай потрібні дані про кожну змінну. Особливий інтерес представляють змінні політики, якими вважаються ті, що перебувають під контролем того, хто приймає рішення, наприклад ті, які аналітик може варіювати, щоб перевірити значення альтернативних політик або схем.

Іншим важливим питанням у цьому контексті є питання агрегації:

- Скільки верств населення чи типів людей нам потрібно, щоб досягти належного уявлення та розуміння проблеми?
- Наскільки детально нам потрібно виміряти певні змінні для відтворення даного явища?
- Простір має вирішальне значення у транспорті; на якому рівні деталізації нам потрібно кодувати походження та пункт призначення мандрівників, щоб моделювати поведінку їх подорожей?

Специфікація моделі

У найширшому та цікавішому розумінні це питання розглядає наступні теми.

Структура моделі Чи можна відтворити систему для моделювання за допомогою простої структури, яка передбачає, наприклад, що всі альтернативи незалежні? Або потрібно будувати більш складні моделі, які продовжують, наприклад, обчислювати ймовірності вибору залежно від попередніх виборів? Дезаггредовані моделі, зазвичай мають параметри, що представляють аспекти структури моделі, а розширення методології, досягнуте в середині 1980-х років, дозволяють оцінювати все більш загальні форми моделей. Однак, як зауважив Дейлі (1982b), хоча можна

було б припустити, що в кінцевому підсумку всі питання, що стосуються форми моделі, можуть бути вирішені шляхом емпіричного тестування, таке вирішення не є ані можливим, ані доречним.

Функціональна форма Чи можна використовувати лінійні форми, чи проблема вимагає постулювання складніших нелінійних функцій? Останні можуть представляти систему інтересу, більш точно, але, безумовно, будуть більш вимогливими з точки зору ресурсів та методів для калібрування та використання моделі. Хоча теоретичні міркування можуть зіграти велику роль у вирішенні цього питання, також можливо дослідити його індуктивно за допомогою «лабораторного моделювання», наприклад, в експериментах із заявленими намірами / уподобаннями.

Специфікація змінних Це більш звичне значення, що додається до питання специфікації; які змінні використовувати і як (яку форму) вони повинні вводити в задану модель. Наприклад, якщо передбачається, що дохід впливає на індивідуальний вибір, чи повинна змінна входити в модель як така чи зменшувати змінну витрат? Методи просування цього питання варіюються від дедуктивного («конструктивного») використання теорії до індуктивного статистичного аналізу даних за допомогою перетворень.

Калібрування, перевірка та використання моделі

Модель може бути просто представлена у вигляді математичної функції змінних X та параметрів Θ , таких як:

$$Y = f(X, \Theta) \quad (2.1)$$

Цікаво згадати, що подвійні концепції калібрування моделі та оцінка моделі традиційно набули різного значення в транспортній галузі. Калібрування моделі вимагає вибору її параметрів, які, як вважається, мають ненульове значення, з метою оптимізації одного або декількох показників відповідності, які є функцією спостережуваних даних. Ця

процедура була пов'язана з фізиками та інженерами, відповідальними за ранні сукупні моделі транспорту, які не надто турбувались про статистичні властивості цих показників, наприклад наскільки великими можуть бути будь-які помилки калібрування.

Оцінка включає пошук значень параметрів, які роблять спостережувані дані більш імовірними згідно специфікації моделі; в цьому випадку один або декілька параметрів можна оцінити як несуттєві та залишити поза моделлю. Оцінка також включає можливість емпіричного вивчення певних специфікаційних питань; наприклад, можуть бути оцінені структурні та / або функціональні параметри форми. Ця процедура, як правило, була пов'язана з інженерами та економетриками, відповідальними за дезагреговані моделі, які надавали великого значення можливостям статистичного тестування, що пропонуються їх методами. Однак по суті обидві процедури однакові, оскільки спосіб вирішити, які значення параметрів є кращими, полягає у вивченні певних раніше визначених показників належності. Різниця полягає в тому, що ці показники, як правило, мають добре відомі статистичні властивості, що, в свою чергу, дозволяють будувати межі довіри навколо розрахункових значень та прогнозів моделей.

Оскільки переважна більшість транспортних моделей побудована на основі даних поперечного перерізу, спостерігається тенденція інтерпретувати перевірку моделі виключно з точки зору відповідності, досягнутої між спостережуваною поведінкою та прогнозами базового року. Хоча це і необхідно, це аж ніяк не є достатньою умовою для перевірки моделі; це було продемонстровано в ряді випадків, які змогли порівняти прогнози моделей із спостережуваними результатами в дослідженнях до та після (див. обговорення у Williams and Ortúzar, 1982a). Валідація вимагає порівняння передбачень моделі з інформацією, яка не використовується в процесі оцінки моделі. Це, очевидно, ставить більш суворий тест на модель і вимагає додаткової інформації або більше ресурсів.

Одне з перших завдань, з яким стикається модельєр, - це вирішити, які змінні передбачатиме модель, а які, можливо, потрібні як вхідні дані до неї. Деякі з них не будуть включені взагалі, або тому, що модельєр не має над ними контролю, або просто тому, що теорія, що лежить в основі моделі, ігнорує їх (див. Рисунок 1.5). Це негайно передбачає певний ступінь похибки та невизначеності, що, звичайно, ускладнюється іншими помилками, які також властиві моделюванню; наприклад, помилки вибірки та, що більш важливо, помилки через неминучі спрощення реальності, яких вимагає модель, щоб бути практичним (див. рисунок 1.5). Таким чином, основне використання моделей на практиці полягає в умовному прогнозуванні: модель буде виробляти оцінки залежних змінних з урахуванням набору незалежних змінних. Насправді типові прогнози зумовлені двома способами (Wilson 1974):

- Стосовно значень, присвоєних змінним політики у плані, вплив яких перевіряється за допомогою моделі;
- Відносно передбачуваних значень інших змінних.

Модель зазвичай використовується для тестування ряду альтернативних планів для ряду можливих припущень щодо майбутнього значення інших змінних (наприклад, сценарії з низьким та високим доходом). Це означає, що його можна «запускати» багато разів у контексті вивчення певної проблеми. З цієї причини може мати вирішальне значення те, що його специфікація дозволяє швидко обертати час у комп'ютері; це непросте завдання у випадку повномасштабної транспортної моделі, яка включає складні процеси рівноваги між попитом та пропозицією.

Моделювання, прогнозування та судження

Існує тонка різниця між моделюванням та прогнозуванням. Моделювання зосереджується на побудові та застосуванні відповідних інструментів, чутливих до вибору інтересів та логічно реагуючих на зміни у ключових інструментах політики. Успішний модельєр надасть корисні

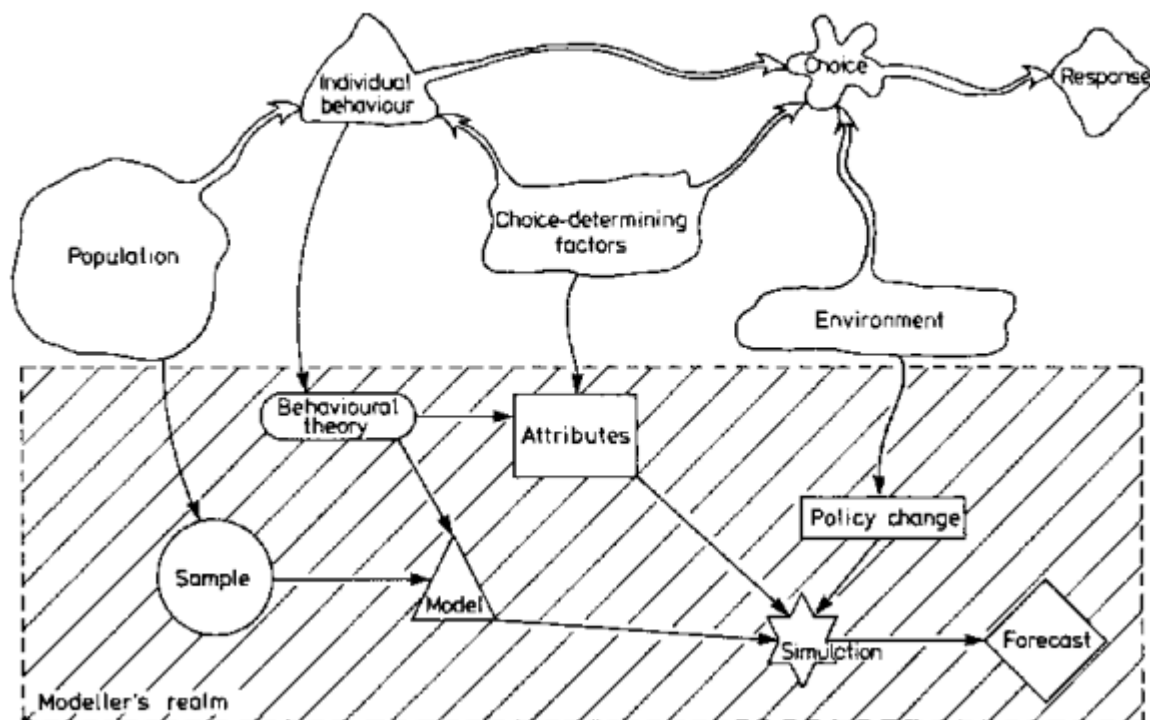


Рисунок 2.2 – Моделювання та вибірка

та своєчасні поради щодо процесу прийняття рішень, навіть якщо дані та часові рамки обмежені. У цьому випадку важливо, щоб модель давала послідовні результати для всіх очікуваних втручань, політики та проектів, щоб їх можна було класифікувати справедливо, навіть якщо відповідність дійсності не є досконалою.

Прогнозування - це спроба передбачити та кількісно визначити майбутні умови. Зазвичай це передбачає оцінку майбутнього попиту на подорожі та мультимодальних потоків та витрат, що виникають в результаті, з часом. Що стосується проектів приватного сектору, ці прогнози, як правило, супроводжуються прогнозами доходів, і інвестори прийматимуть зважені ризики на основі цих прогнозів. Прогнозування, як правило, базується на формальних моделях, але лише вони не можуть дати повну картину; необхідно включити інші аналізи та припущення. З огляду на невизначеність щодо майбутнього, для прогнозування може бути використано кілька допоміжних підходів. Наприклад, офіційна

модель може бути підтверджена розглядом основних економічних факторів майбутньої туристичної діяльності в регіоні; таким чином стає ясно, наскільки прогнози залежать від майбутнього цієї діяльності. Успіх прогнозів можна об'єктивно виміряти лише до і після досліджень.

Важливість формальних моделей зростає, оскільки розглянуті втручання розходяться далі від того, що є на місцях і відомо на сьогодні. Наприклад, при введенні режиму, який в даний час не доступний у місті, моделі часто доведеться спиратися на заявлені дані про переваги, інформацію з інших регіонів або раціональну теорію прийняття рішень. Те саме стосується оцінки будь-якої політики, що не існує на даний момент (стягнення заторів) або при розгляді цін на паливо або умов заторів, що кардинально відрізняються від сучасних. Загалом, хороші поради з цих питань не можна давати лише на основі хорошого моделювання, хоч і чудового. Це вимагає розумного врахування інших факторів та припущень, зокрема щодо обмежень будь-якого підходу до моделювання.

Враховуючи природу аналітичних моделей, інтерпретація їх результатів є дуже важливою. Інтерпретація вимагає розумного судження, і це набувається лише з досвідом та глибоким розумінням теорій, що лежать в основі моделей, та їх обмежень. Наприклад, більшість моделей, описаних у цьому тексті, підтримуються теорією випадкових корисностей, яка, в свою чергу, передбачає раціональне прийняття рішень з боку подорожуючих. Однак є дедалі міцніші докази, представлені здебільшого за допомогою поведінкової економіки та психології, що люди не є ні цілком раціональними, ні послідовними у своєму виборі. Ці докази (див. Ariely 2009) пробивають теорію, що лежить в основі моделей - навіть найдосконаліших підходів, заснованих на діяльності - і роблять застосування судження при інтерпретації результатів моделей ще більш важливим.

2.2.2 Агреговане та дезагреговане моделювання

Рівень агрегації, обраний для вимірювання даних, є важливим питанням у загальній структурі дослідження транспортного планування. Центральний інтерес представляє сукупність екзогенних даних, тобто інформація про предмети, крім поведінки мандрівників, яка вважається ендегенною (тобто модель намагається її відтворити). Наприклад, протягом багатьох років це викликало занепокоєння, чи представляє даний елемент даних середнє значення для групи подорожуючих, а не збирається спеціально для однієї особи. Коли модель в основі має на меті представити поведінку кількох осіб (наприклад, сегмент населення, такий як власники автомобілів, які проживають у зоні), як, наприклад, у випадку сукупних моделей, агрегування екзогенних даних неминуче. Але коли модель в основі намагається відобразити поведінку людей, наприклад, у випадку з дезагрегованими моделями, можна уявити, що екзогенна інформація може бути отримана та використана окремо для кожного мандрівника. Тоді важливим питанням є те, чи, як це часто буває, може бути кращим з точки зору вартості чи інших підстав використовувати менш докладні дані (див. Daly та Ortúzar 1990).

Прогнозування майбутнього попиту є вирішальним елементом більшості досліджень планування транспорту. Можливість передбачити ймовірне використання нових об'єктів є важливою попередницею прийняття раціональних рішень щодо переваг чи іншого надання таких засобів. Також може бути важливо мати уявлення про чутливість попиту до важливих змінних під контролем аналітика (наприклад, ціна, яка стягується за його використання). У більшості випадків прогнози та оцінки чутливості повинні надаватися на сукупному рівні, тобто вони повинні відображати поведінку всієї сукупності, що представляє інтерес. Отже, аналітик, який використовує дезагреговані моделі, повинен знайти обґрунтований метод агрегування результатів моделі для забезпечення

цих показників.

Сукупні моделі використовувались майже без винятку в транспортних дослідженнях до кінця 1970-х; вони стали розповсюдженими, вимагали від аналітика порівняно невеликих навичок (але вимагали певних комп'ютерних знань) і мали властивість пропонувати "рецепт" повного процесу моделювання, починаючи від збору даних і забезпечуючи прогнозами на рівні посилянь в мережі. Результат цих моделей, можливо тому, що вони були створені неясними комп'ютерними програмами, часто вважався більш точним, ніж передбачалося, наприклад, передбачаючи поворотні потоки руху на 15 років у майбутньому. Сукупні моделі жорстко (а іноді і виправдано) критикували за їх гнучкість, неточність та вартість. На жаль, багато дезагрегованих підходів, які застосовували складні методи вибору та обмеження, з якими стикаються окремі мандрівники, не змогли переробити процес до вироблення прогнозів, іноді тому, що вони вимагають даних, які неможливо обґрунтовано прогнозувати.

Дезагреговані моделі, які ставали дедалі популярнішими у 1980-х роках, дають значні переваги перед традиційними методами, залишаючись практичними в багатьох прикладних дослідженнях. Однак одна важлива проблема на практиці полягає в тому, що вони вимагають від аналітика досить високого рівня статистичних та економетричних навичок для їх використання (зокрема, для інтерпретації результатів), безумовно, набагато вищого, ніж у випадку сукупних моделей. Більше того, відмінності між агрегованими та дезагрегованими модельними системами часто завищені. Наприклад, дезагреговані моделі спочатку продавались як радикальний відхід від класичних методів, „революція” на місцях, тоді як врешті-решт стало ясно, що „еволюційна” точка зору є більш адекватною (див. Williams and Ortúzar 1982b). Насправді, у багатьох випадках існує повна еквівалентність між формами моделей прогнозування (Daly 1982a). Суттєва відмінність полягає у трактуванні опису поведінки, особливо в процесі розробки моделі; у багатьох випадках

дезагрегований підхід явно перевершує групування поведінки за зонами та заздалегідь визначеними сегментами.

Спроби пояснити питання, чи слід віддавати перевагу дезагрегованому чи сукупному підходам, і за яких обставин, в основному дійшли висновку, що не існує такого поняття, як остаточний підхід, відповідний для всіх ситуацій (див. Daly and Ortúzar 1990). Ці спроби також встановили необхідність в керівних принципах, які допоможуть зневіреному практику вибрати найбільш підходящі моделі інструментів, які застосовуватимуться у певному контексті.

2.2.3 Поперечний переріз та часові ряди

Переважаюча більшість досліджень транспортного планування до кінця 1980-х років спиралася на інформацію про схеми поїздки, виявлених перерізом окремих людей у певний момент часу. Справді, традиційне використання підходу з поперечним перерізом перевершило відмінності між сукупною та дезагрегованою моделями.

Фундаментальним припущенням перехресного підходу є те, що міра реакції на поступові зміни може бути просто знайдена шляхом обчислення похідних функції попиту щодо відповідних змінних політики. Це чітко висловлює припущення, що реалістичне співвідношення стимул-реакція може бути отримане з параметрів моделі, оцінених за спостереженнями в один момент часу. Це було б розумно, якби завжди було достатньо людей, які змінювали свій вибір, скажімо, режим чи пункт призначення, в обох напрямках та без ефектів звички чи затримки.

Однак припущення про поперечний переріз має два потенційно серйозні недоліки. По-перше, заданий набір даних перетину може відповідати певній «історії» змін значень певних ключових змінних, що впливають на вибір. Наприклад, зміни режиму чи місцезнаходження в часі могли бути спричинені низкою різних стимулів (ціни на бензин, наслідки життєвого циклу тощо) та, мірою, в якій система вважається

нерівноважною (через, скажімо, інерцію) буде залежати від них. Проблема полягає в тому, що можна продемонструвати, що реакція груп з абсолютно однаковими поточними характеристиками, але які зазнали іншого шляху змін, може бути насправді дуже різною. По-друге, дані, зібрані лише в один момент часу, зазвичай не можуть розрізняти альтернативні формулювання моделей, навіть між деякими, що виникають із абсолютно різних теоретичних постулатів. Завжди можна знайти параметри, що найкраще підходять, за даними базового року, навіть якщо модель страждає від серйозних проблем із специфікацією помилок; Проблема, звичайно, полягає в тому, що вони не гарантують належних властивостей реагування для майбутньої ситуації.

Хороша відповідність базовому року не є достатньою умовою для перевірки моделі. Таким чином, загалом неможливо розрізнити велику різноманітність можливих джерел дисперсії в межах набору даних поперечного перерізу (тобто розподіл переваг, наслідки звички, обмеження тощо). Однак реальний прогрес у розумінні та оцінці ефективності моделей прогнозування може бути досягнутий лише за умови наявності інформації про реакцію з часом. З теоретичної точки зору також бажано створити відповідні рамки для аналізу, які дозволяють в кінцевому підсумку спростувати гіпотези, що стосуються відповіді. Поки цього не буде досягнуто, загальна проблема потенційного викривлення буде продовжувати викликати сумнів у правильності досліджень у поперечному перерізі.

Обговорене вище призвело до того, що багато людей вважали, що, де це можливо, дані поздовжнього або часового ряду повинні використовуватися для побудови більш надійних моделей прогнозування. Цей тип даних включає інформацію про відклик проекту. Таким чином, в принципі, він може запропонувати засоби для безпосереднього тестування і навіть, можливо, відхилення гіпотез, що стосуються відклику.

Поздовжні дані можуть мати форму панелей або, простіше, інформацію до та після. На жаль, моделі, побудовані на даному типі

даних, мають власні серйозні технічні проблеми; насправді, до кінця 1990-х прогрес у цій галузі був обмеженим.

2.2.4 Виявлені та заявлені переваги

Розробка хороших та надійних моделей є досить складною, якщо аналітик не може організувати експерименти для спостереження за поведінкою системи в широкому діапазоні умов. Експерименти такого роду не є ні практичними, ні життєздатними в транспорті, і аналітик має обмеження, як і астроном, робити спостереження за подіями та рішеннями, які вони не контролюють. До середини 80-х років майже аксіоматично було, що моделювання транспортного попиту має базуватися на інформації про спостережуваний вибір та рішення, тобто даних про виявлені переваги. Згідно з цим підходом, оцінка проекту вимагає висловлення політики з точки зору змін атрибутів, які «відображаються» на тих, які, як вважається, впливають на поточну поведінку. Однак це має практичні обмеження, в основному пов'язані з витратами на обстеження та труднощами розрізнення ефектів атрибутів, які непросто спостерігати, наприклад ті, що пов'язані з такими поняттями, як якість чи зручність. Іншим практичним проблемою традиційно є проблема "нового варіанту завдяки якій потрібно прогнозувати ймовірне використання об'єкта, який зараз не доступний і, можливо, навіть кардинально відрізняється від усіх існуючих.

Методи заявлених переваг / намірів, запозичені в галузі маркетингових досліджень, були висунуті до кінця 1970-х років як спосіб експериментувати з виборами, пов'язаними з транспортом, вирішуючи тим самим деякі вищезазначені проблеми. Методи заявлених переваг базують оцінки попиту аналізуючи реакції на гіпотетичний вибір; вони, звичайно, можуть охоплювати ширший спектр атрибутів та умов, ніж реальна система. Однак на початку ці прийоми були жорстко дискредитовані, оскільки не було відомо, як знижувати з-за надмірного

ентузіазму певних респондентів (наприклад навіть половина осіб, які заявляють, що вони будуть вживати певний курс дій, насправді не робили цього, коли врешті з'явилася можливість).

Ситуація змінилася тільки через ціле десятиліття, але до кінця 1980-х багато хто сприймав методи заявлених переваг, як реальний шанс вирішити згадані вище труднощі. Більше того, було встановлено, що у відповідних випадках дані та методи виявлених та заявлених переваг можуть застосовуватися у взаємодоповнюючих сенсах з урахуванням сильних сторін обох підходів. Зокрема, вважається, що вони пропонують безцінний інструмент для сприяння моделюванню абсолютно нових альтернатив.

2.3 Структура класичної транспортної моделі

Роки експериментів та розробок дали загальну структуру, яка отримала назву класичної транспортної моделі. По суті, ця структура є результатом практики в 1960-х роках, але залишається більш-менш незмінною, незважаючи на значні вдосконалення методів моделювання з тих пір. Загальний вигляд моделі зображено на рисунку 1.6. Підхід починається з розгляду зонування та мережевої системи, а також збору та кодування даних планування, калібрування та перевірки. Ці дані включатимуть рівні базового року для населення різних типів у кожній зоні досліджуваного району, а також рівні економічної активності, включаючи зайнятість, торгові площі, освітні та рекреаційні об'єкти. Потім ці дані використовуються для оцінки моделі загальної кількості поїздок, що генеруються та залучаються кожною зоною досліджуваної області (генерація поїздок). Наступним кроком є розподіл цих поїздок за певними пунктами призначення, іншими словами їх розподіл по простору, таким чином, створюючи матрицю поїздки. Наступний етап зазвичай включає моделювання вибору режиму, і це призводить до модального розбиття, тобто розподілу поїздок у матриці до різних режимів. Нарешті,

останній етап класичної моделі вимагає віднесення поїздки кожним режимом до відповідних мереж: зазвичай приватного та громадського транспорту.

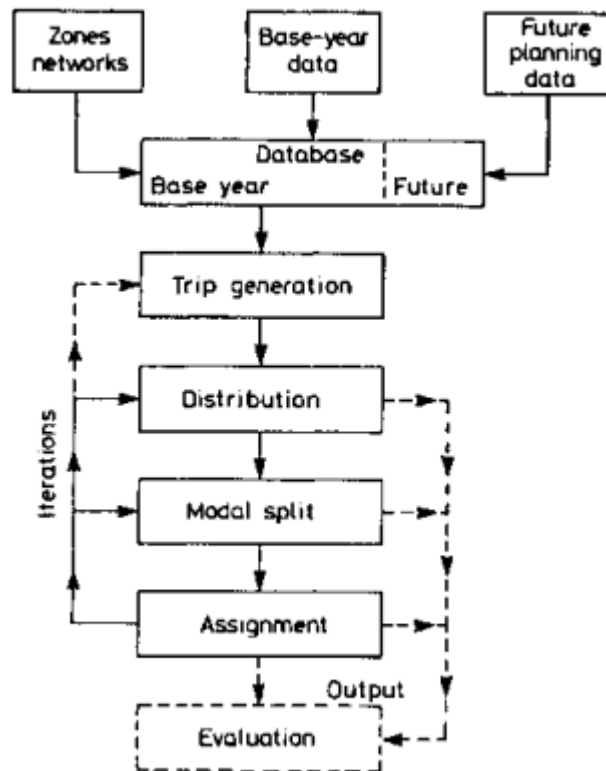


Рисунок 2.3 – Класична чотириступінчаста транспортна модель

Класична модель представлена у вигляді послідовності з чотирьох підмоделей: генерація поїздки, розподіл, модальний розподіл та призначення. Загальновизнано, що рішення про поїздки насправді не приймаються в такій послідовності; сучасна точка зору полягає в тому, що «розташування» кожної підмоделі залежить від форми функції корисності, яка передбачається керувати всіма цими виборами подорожей (див. Williams 1977). Більше того, чотириступенева модель розглядається як концентрація уваги лише на обмеженому діапазоні відповідей мандрівників. Сучасне мислення вимагає аналізу ширшого спектру реакцій на транспортні проблеми та схеми. Наприклад, зіткнувшись із підвищеною перевантаженістю, виробник поїздки може відповісти цілим

рядом простих змін:

- Маршрут, яким слідують, щоб уникнути перевантажень або скористатися перевагами нових посилок; сюди входить вибір місця для паркування або поєднання послуг у випадку громадського транспорту;
- Режим, який використовується для досягнення пункту призначення;
- Час відправлення, щоб уникнути найбільш перевантажено періоду трафіку;
- Призначення поїздки в менш перевантажений район;
- Частота поїздок; здійснюючи поїздку в інший день, можливо, поєднуючи це з іншими видами діяльності.

Крім того, інші більш складні реакції відбуваються в довгостроковій перспективі, наприклад, зміни роботи, місця проживання, вибору торгових районів тощо; всі вони реагуватимуть, принаймні частково, на зміни доступності, що надаються транспортною системою.

Незважаючи на ці зауваження, чотириступенева послідовна модель забезпечує орієнтир для контрастних альтернативних методів. Наприклад, деякі сучасні підходи намагаються одночасно трактувати вибір частоти поїздок (поїздок на тиждень), пункту призначення та способу подорожі, таким чином, згортаючи генерацію поїздки, розподіл та вибір режиму в одній моделі. Інші підходи наголошують на ролі домашніх справ та виборах подорожей, які вони спричиняють; у цьому контексті для моделювання рішень та обмежень на подорожі використовуються такі поняття, як перебування, схеми та бюджети часу та грошей. Ці стратегії моделювання важче застосувати з точки зору чотирьох основних рішень або підмоделей, наведених вище. Однак покращене розуміння поведінки подорожей, що забезпечують ці моделі, засновані на діяльності, швидше за все, покращить більш традиційні підходи до моделювання.

Generation–distribution–modal послідовність розподілу та призначення є найпоширенішою, але не єдино можливою. Деякі минулі дослідження ставили модальний розподіл до розподілу поїздки та відразу

після (або з генерацією поїздки). Це дозволяє більше акцентувати увагу на змінних прийняття рішень залежно від одиниці генерації поїздки, людини чи домогосподарства. Однак примусове розподіл модального режиму до того, як відоме місце призначення, вимагає “усереднення” атрибутів подорожі та режимів у моделі. Це зменшує актуальність політики від моделі модального розбиття. Іншим підходом є одночасне здійснення розподілу та вибору режиму. Слід зауважити, що класична модель робить генерацію поїздок нееластичною, тобто незалежною від рівня обслуговування, що надається в транспортній системі. Це, мабуть, нереально, але лише нещодавно були розроблені методи, які можуть систематично враховувати ці ефекти.

Після того, як модель відкалібрована та затверджена для умов базового року, вона повинна застосовуватися до одного або декількох горизонтів планування. Для цього необхідно розробити сценарії та плани, що описують відповідні характеристики транспортної системи та змінні планування в умовах альтернативного майбутнього. Підготовка реалістичних і послідовних сценаріїв не є простим завданням, оскільки дуже легко потрапити в пастку побудови ф’ючерсів, які не є ні фінансово вигідними, ні реалістичними в контексті ймовірного розвитку землекористування та діяльності на досліджуваній території. Незважаючи на ці труднощі, написання сценаріїв все-таки більше мистецтво, ніж техніка, і вимагає значної інженерної експертизи в поєднанні з обґрунтованим політичним судженням; на жаль, це дефіцитні ресурси, які рідко зустрічаються у командах з планування.

Підготувавши реалістичні сценарії та плани тестування, знову запускається та сама послідовність моделей, щоб імітувати їх ефективність. Потім проводиться порівняння між витратами та вигодами, як би вони не вимірювались, різних схем за різними сценаріями; ідея полягає у виборі найбільш привабливої програми інвестиційної та транспортної політики, яка задовольняє попит на пересування в досліджуваній зоні.

Важливою проблемою класичної чотириступеневої моделі є послідовне використання змінних, що впливають на попит. Наприклад, наприкінці етапу присвоєння трафіку будуть отримані нові рівні потоку, а отже, і новий час руху. Навряд чи це будуть однакові часи подорожі, передбачені при запуску моделей розподілу та вибору режиму, принаймні, коли моделі використовуються в режимі прогнозування. Іноді це вимагає повторного запуску моделей розподілу та модального розбиття, заснованих на нових часах подорожей. Подальше застосування моделі присвоєння цілком може призвести до нового набору часу подорожі; буде видно, що загалом наївні результати моделі не призводять до стабільного результату моделей розподілу, модального розбиття та присвоєння трафіку з постійним часом подорожі. Особлива актуальність цієї проблеми полягає у ризику неправильного вибору плану залежно від того, скільки циклів тестової “прогонки” моделі та оцінки отриманих результатів, з подальшої перевіркою модельєр готовий провести.

3 ПОБУДОВА ВЛАСНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ

В цьому розділі буде наведено основні етапи розробки транспортної моделі попиту та пропозиції грузів. Будуть охоплені всі етапи моделювання:

- Збір даних
- Визначення тенденцій існуючих даних
- Аналіз можливостей прогнозу та їх розробка моделі
- Опис сценаріїв використанні моделі

Транспортна модель - це складна, комплексна система. Поведінка цієї системи залежить від багатьох факторів:

- учасників дорожнього руху
- зовнішніх зв'язків об'єкту, трафік якого досліджується
- періодичності руху транспорту
- тарифів на різні види трафіку

Перелічувати такі впливаючі фактори можна нескінченно довго; постійно враховуючи нові елементи, знаходячи нові залежності та покращуючи якість моделі. Можна зібрати дані щомісяця, щотижня, щодня, щогодини; і кожен наступний варіант буде краще і адекватніше описувати реальну транспортну ситуацію. Проте основна задача аналітика полягає в знаходженні компромісу між точністю моделі та кількості ресурсів, затрачених на її побудову.

Це впливає з того факту, що початкова задача транспортної моделі - це практичне застосування задля вирішення існуючих транспортних проблем. Так, наприклад, транспортна аналітик, будуючи модель країни, може не враховувати двохколісний транспорт, так як він слабо впливає на загальну картину. Але такого спрощення не може собі дозволити аналітик, який будує модель міста (наприклад Амстердам, де відсоток тільки велосипедистів - 62%), бо це є важливою частиною трафіку. Таким чином, збір даних про велосипедистів є невиправданим марнуванням ресурсів, які можуть бути використані в інших цілях.

Стофер та Джонс (2003) надають конкретне, повне та корисне керівництво щодо елементів, які необхідно враховувати в опитуванні. Для цілей цієї роботи зосередимося лише на певних ключових елементах, необхідних для підвищення корисності даних як основного засобу для калібрування моделі стратегічного планування транспортного плану рівноваги попиту та пропозиції. У цьому випадку, найкраща практика свідчить про те, що набір даних, швидше за все, матиме такі характеристики (Ampt та Ortuzar 2004):

- Розгляд поетапних даних про поїздки, гарантуючи, що аналіз може пов'язати конкретні види транспорту з конкретними місцями / часом доби, тривалістю поїздки тощо.

- Включення всіх суттєвих видів подорожей.

- Фіксування цілей поїздки.

- Висвітлення максимально широкого періоду часу, напр. 24 години на добу, сім днів на тиждень і, можливо, 365 днів на рік (щоб охопити всі пори року).

- Дані репрезентативної вибірки населення.

- Включити різні джерела опитування, задля опису внутрішніх та заовнішніх подорожей.

На жаль, збір даних на такому рівні точності є непростим завданням, і це часто поскладнюється необхідністю переконання досить великої вибірки людей взяти участь у таких опитуваннях. Тоді, залежно від цілей моделювання, аналітику може знадобитися зменшити навантаження на респондентів і погодитися на менш детальну інформацію.

Так як ціллю цієї роботи є академічне дослідження транспортної моделі, у автора не було бажання витрачати власні кошти на проведення всіх досліджень та оплати опитувань. Рішенням стало взяти дані доступні в open-source, що, виключає використання найактуальніших та всіх необхідних даних і безсумнівно погіршає потенціальну точність моделі. Тим не менш, побудована модель дозволяє побачити важливі

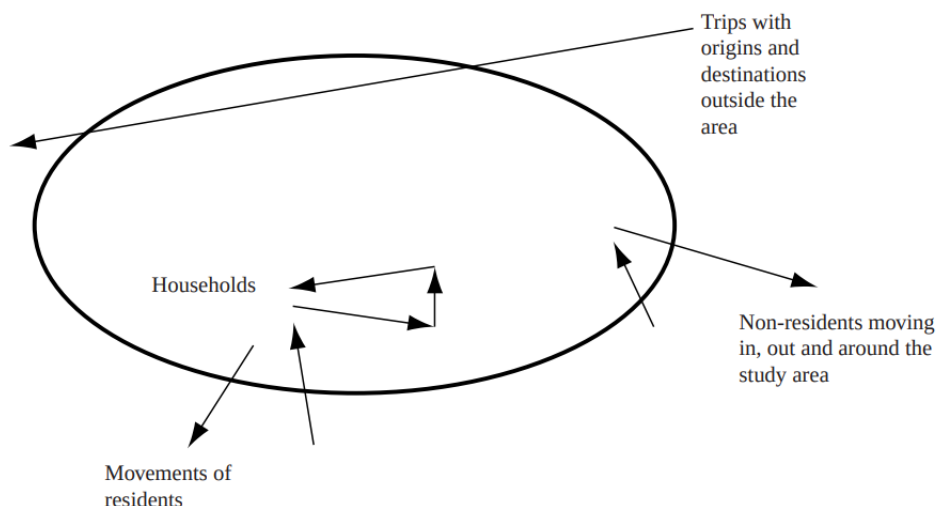


Рисунок 3.1 – Можливі джерела вхідних даних моделі

закономірності і має можливість для масштабування за умови доступності даних та бажання.

Об'єктом дослідження було взято транспортну модель України. Це рішення базується на наявності відносно недавніх (2018 рік) транспортних опитувань на території всієї України та актуальності транспортних проблем України.

Зона дослідження розбита на 640 транспортних зон (далі TAZ - Transport Analysis Zone) (множина зон $Z = [1..640]$). Зони розділяються на внутрішні (domestic zones - D) (райони або об'єднання районів + Київ) та зовнішні = external zones (E) (пункти перетину кордону), які використовуються для моделювання зовнішнього трафіку. В моделі розглядатимуться потоки товарів з точністю до виду товару, виду транспорту та зони прибуття/відправлення.

3.1 Вхідні дані для моделі

Перейдемо до опису даних, що були використані при розробці моделі. Були використані наступні ресурси:

- Household survey (Опитування громадян)

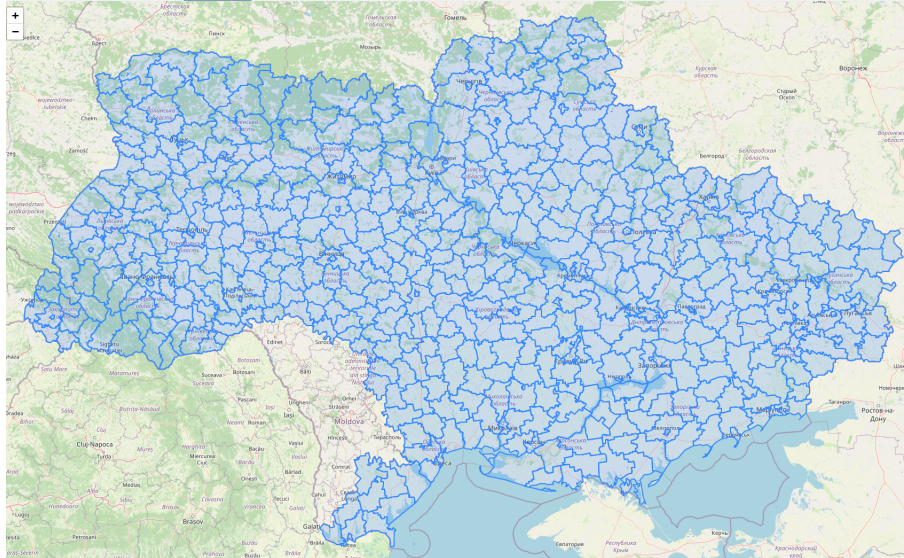


Рисунок 3.2 – Розбиття України на транспортні зони

- Traffic counts data (Підрахунки трафіку на локаціях)
- Customs data (Статистика митних департаментів)
- Seaports data (Статистика морських портів)
- Rail data (Статистика залізниці)

3.1.1 Rail data

Rail data - це офіційна статистика УкрЗалізниці, тому дані в ній заздалегідь розбиті по типам тоавру та зонам відправки/прибуття і представлені в одиницях маси. Це дозволяє без проблем будувати матриці трафіку в виді:

$\mathbb{R}_t$ - матриця трафіку товару $t \in T$. r_{ijt} - потік товару t (в тонах) з зони i в зону j .

3.1.2 Household survey

Household survey - це опитування про поїздки, здійснені всіма членами домогосподарства всіма видами транспорту, як у межах зони вивчення так і виїзд / прибуття ззовні зони протягом періоду обстеження;

це опитування повинно включати соціально-економічну інформацію (доходи, власність автомобілем, розмір та структура сім'ї тощо). Ця інформація повинна бути різносторонньою та максимально повною. Адже на цьому етапі формується ресурс для побудови майбутньої моделі; краще зібрати зайві дані, ніж пропустити важливий фактор, адже повторний збір даних це нові фінансові, людські та часові ресурси.

Опитування було проведене в 72 локаціях (множина локацій опитування $S = [1..72]$) на всій території України. Локації були вибрані таким чином, щоб охопити максимальну кількість різних маршрутів. Метаструктура опитування має такий вигляд:

- зафіксовано зону відправлення та прибуття.
- інформація про країну відправки/прибуття у випадково зовнішніх подорожей
- фіксація виду транспорту; виду товару (далі - type) та маса товару.

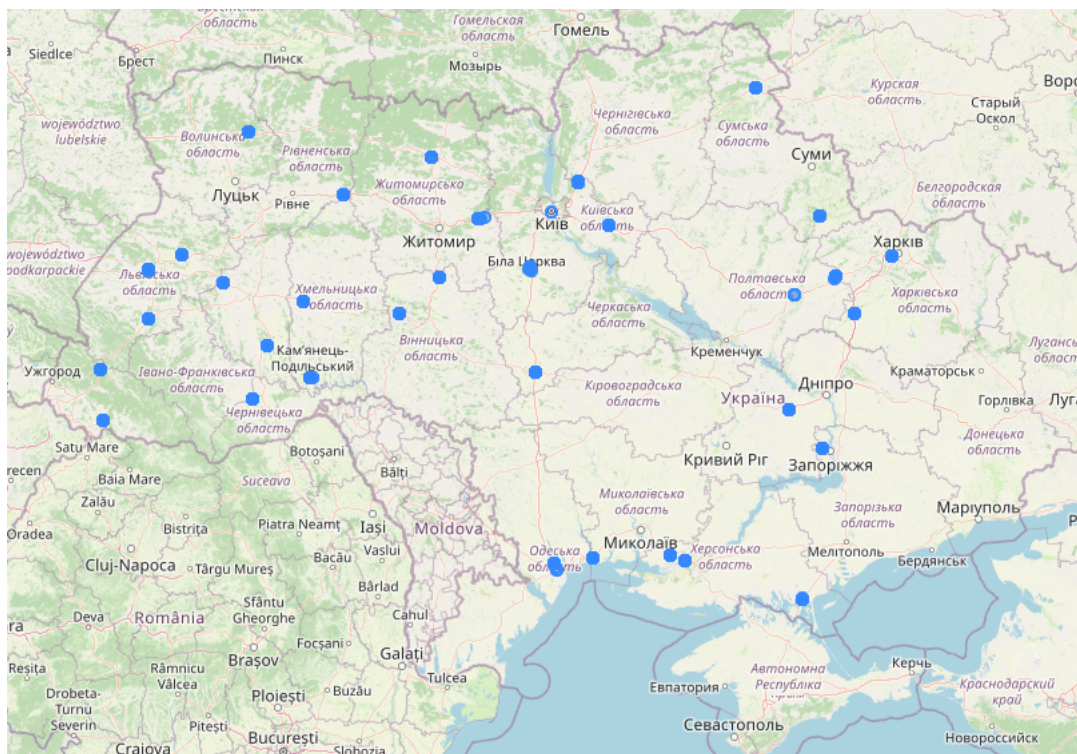


Рисунок 3.3 – Локації household опитування

На відміну від даних залізниці household потребує певної обробки.

Для вантажної моделі нас цікавитиме тільки дані про вантажівки з товарами. Ці дані необхідно спочатку відкалібрувати по абсолютним значенням кількості вантажівок, а потім перевести вантажівки в тони. Результатом обробки household опитування:

- OD-матриці (Origin-Destination Matrix) $\mathbb{ROAD}_s$, де $g_{ijs} > 0$ - кількість вантажівок, що їдуть з зони $i \in Z$ в зону $j \in Z$ через локацію $s \in S$.

- Type-матриці $\mathbb{T}_{st}$, де $t_{ijst} > 0$ - доля вантажівок, що їдуть з зони $i \in Z$ в зону $j \in Z$ через локацію $s \in S$, з типом $t \in T$; і виконується $\sum_t t_{ijst} = 1$.

- Scale-матриці $\mathbb{S}_{st}$, де $s_{ijst} > 0$ - коефіцієнт переведення одиниць вантажівок в кг товару для локації s .

Цей набір матриць характеризує розподіл трафіку по зонам, по type; дозволяє перейти від кількості транспортних одиниць до маси перевезеного товару. Але OD-матриці не описують реальну кількість транспортних засобів на дорогах України. Для калібрування абсолютних значень використаємо дані traffic counts, що описано в розділі 3.3.2.

3.1.3 Traffic counts data

Traffic counts - вони мають низьку вартість і потрібні для калібрування, перевірки та подальшого використання даних з інших опитувань. Є 2 основних підходи для збирання traffic counts:

- підрахунок вручну - в точках підрахунку стоїть людина та записує кількість транспортних засобів, що проїхала повз неї.

- автоматичний підрахунок - інформація збирається з камер чи сенсорів.

Інформація з використаних в цій роботі traffic counts:

- була зібрана вручну;

- диференціюється на такі види транспортних засобів - автобуси, авто та вантажівки. Для транспортної моделі використовуються дані про

вантажівки;

– на кожній точці заміру трафік підраховано в обидві сторони.

Дані по traffic counts мають наступний вигляд:

TC_s - кількість вантажівок, що проїхали повз локацію s .

3.1.4 Customs data та Seaports data

Customs data та Seaports data - це статистика сухопутних митних пунктів та митних пунктів в морських портах про зовнішні потоки товарів України. Кожен окремий митний пункт вважається зовнішнім TAZом. Дані розбиті по типу вантажу та країнам-партнерам; представлені у вигляді:

exp_{cte} - потік товару типу $t \in T$ з України через зовнішній таз $e \in E$ до країни c .

imp_{cte} - потік товару типу $t \in T$ до України через зовнішній таз $e \in E$ з країни c .

$tr_{c_1c_2te_1e_2}$ - потік товару типу $t \in T$ через Україну; з зовнішнього тазу $e_1 \in E$ до зовнішнього тазу $e_2 \in E$; з країни c_1 до країни c_2 .

3.2 Калібрування

Потреба в калібруванні виникає внаслідок відсутності точної статистики по об'ємам товару, що транспортується дорогами України. Калібрування проходитиме в 2 етапа:

- 1) Калібрування кількості характеристики дорожнього трафіку
- 2) Калібрування якісної характеристики дорожнього трафіку

3.2.1 Traffic counts

Traffic counts дозволяють оцінити значення загальної кількості вантажівок на дорогах. Інтеграція цих даних у методологію опитування

виглядає так.

TC_s - результати заміру traffic counts кількості вантажівок, що їдуть через локацію $s \in S$.

$C_s = TC_s / \sum_{i,j} g_{ijs}$ - коефіцієнт розширення трафіку.

Кожна матриця $\mathbb{G}_s$ домножується на відповідний коефіцієнт для отримання відкаліброваного варіанту.

$\mathbb{G}C_s = \mathbb{G}_s * C_s$ - відкалібрована матриця $\mathbb{G}_s$ кількості вантажівок по локації замірів.

З матриць $\mathbb{G}C_s$ обраховуєм часткові матриці по type ($@ : [m * n] * [m * n] \rightarrow [m * n]$ - поелементне множення матриць):

– $\mathbb{G}C_{st} = \mathbb{G}C_s @ T_{st}$ - матриці в одиницях транспортних засобів.

– $Q_{st} = \mathbb{G}C_{st} @ S_{st}$ - матриці в тонах.

Після того, як були пораховані відкалібровані, дизагреговані по type та локації матриці, їх можна додавати по всім 3 індексам. Очевидно, що для дослідження загальної картини транспорту України треба додати матриці по всім локаціям.

$Q_t = \sum_s Q_{st}$ - матриці вантажівок внутрішнього трафіку в тонах по type.

3.2.2 Калібрування по даним зовнішнього трафіку

На даному етапі роботи вже є готові відкалібровані до реальних абсолютних значень матриці базового року трафіку України. Ці матриці дизагреговані по типам грузів, що вони перевозять. Матриці є в виді:

- кількості транспортних засобів
- тон перевезеного грузу

Проте, враховуючи специфіку household survey, а саме відсутність точної інформації про переміщення за межі України, матриці потребують подальшого калібрування. На цьому кроці калібрується не кількісні характеристики матриць (вони вже відкалібровані на досить точних даних traffic counts), а якісні - виділення трафіку, що є зовнішнім для

Sum of aadit_voh	Column																								
Row Labels	Одесса	Одесса	Одесса	Дніпропетровськ	Дніпро	Київська	М. Київ	Черномор	Хмельницьк	Вінниця	Львів	Миколаїв	Одеса	Полтава	Хмельницьк	Суми	Тернопіль	Вінниця	Львів	Т. Київська	Львів	Т. Київська	Львів	Т. Київська	Grand Tot
Chekas	1056	21	13	42	13	8	20	25	16	281	1,177	4	12	165	330	9	12	16	17	46	15	6	10	54	3,370
Che mivsk	21	16	3	37	32	7	68	7	2	3	1,087	18	6	30	2	6	32	16	16	7	8	11	67	2,388	
Che mivsk	13	18	78	34	38	1614	4	3	1,001	12	142	187	4	32	3	11	38	154	181	13	44	1	120	3,552	
Dnipro petrovsk	42	37	34	2,285	78	7	415	113	16	75	420	7	34	31	83	19	13	23	17	12	4	24	2,356	43	5,991
Donetsk	13	32	1	78	78	7	49	22	11	363	2	9	10	21	18	3	12	11	9	4	18	3	672	1,672	
Kharkiv	8	36	1,614	78	78	7	49	22	11	363	2	9	10	21	18	3	12	11	9	4	18	3	672	1,672	
Kharkivsk	19	68	3	415	49	4	11,424	43	9	15	361	12	21	12	35	1,399	4	238	4	11	4	8	184	24	14,167
Khersonsk	25	7	3	113	22	3	41	15,726	6	13	142	3	8	986	331	72	7	3	1	25	9	5	194	31	15,760
Khomyivsk	16	2	1,001	16	38	114	39	4,375	31	680	214	25	70	15	17	2	673	680	9	49	3	54	8,566	54	8,566
Kyivohradsk	283	3	12	75	23	15	13	31	93	153	7	25	138	10	15	12	12	19	11	7	17	17	976	17	976
Kyivsk	1,172	1,994	142	420	363	127	429	142	647	157	14,190	88	481	259	1,419	873	349	417	153	850	229	136	385	2,389	27,787
Lvivsk	4	7	2	3	12	3	21	3	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	133
Lvivsk	12	18	187	34	9	316	25	8	212	7	491	5	14,846	20	40	10	356	8	948	120	88	509	18	96	18,387
Mykolavsk	165	6	4	31	10	9	12	986	25	25	258	20	235	1,396	8	9	2	9	85	2	7	17	6	3,327	3,327
Odessa	930	30	37	83	21	26	35	331	70	138	1,415	9	40	1,396	4,000	69	31	19	28	183	18	11	41	110	8,475
Poltavsk	9	2	1	19	18	1	1,007	72	14	10	874	15	30	8	69	16	12	172	3	21	7	1	67	27	2,655
Rivnensk	12	6	11	16	3	7	4	7	17	15	349	356	9	32	12	929	8	9	45	382	38	3	492	2,763	
Sumsk	16	32	3	23	12	3	237	3	3	3	419	8	2	19	172	8	1,761	391	8	14	86	2,832	14	86	2,832
Ternopolsk	17	35	194	17	16	65	5	2	673	12	161	948	9	28	31	8	1,094	128	1	41	2	26	3,602	26	3,602
Vinnitsk	46	16	181	12	9	112	12	25	680	19	849	1	120	85	183	21	45	10	122	2,871	24	18	15	805	6,282
Volynsk	15	7	13	4	4	6	4	9	9	11	219	98	2	18	3	382	3	24	550	91	5	67	1,510	67	1,510
Zakarpatsk	6	3	47	18	1	119	9	9	49	7	136	509	7	30	3	38	3	41	13	83	4,154	3	24	5,395	
Zaporizk	10	11	5	2,148	18	3	183	194	7	17	229	2	15	17	41	67	2	14	3	15	2	3	1,210	12	4,227
Zhytomirsk	34	67	12	43	18	18	27	11	34	17	2,389	98	37	114	27	482	86	26	803	67	24	16	3,112	7,379	7,379
Grand Total	3,368	2,396	3,514	5,379	672	2,617	14,251	15,761	8,030	979	27,430	142	18,386	3,329	8,483	2,647	2,798	2,831	3,388	6,270	1,540	5,312	4,399	7,566	152,378

Рисунок 3.4 – Матриця кількості вантажівок агрегована по областям

країни.

Як орієнтир для такого калібрування використаємо дані з митниць та морських портів про імпорт та експорт України. В подальшому будемо називати митні пункти та порти - border crossing points (точки перетину кордону) - bc points. Як вже обговорювалося раніше, всі bc points прив'язані до певного внутрішнього та зовнішнього TAZів (насправді множина bc бієктивно відражається в множини зовнішніх TAZів). Таким чином у нас є інформація про те скільки тонн і якого товару потрапило/вийшло до/з країни і через які зовнішні/внутрішні TAZи.

Задача полягає в тому, щоб "забрати" зайвий трафік з внутрішньої матриці та перерозподілити його як зовнішній, не змінивши суму матриці. Будемо вважати, що трафік, який в поточних матрицях іде в прикордонні TAZи, насправді частково йде на експорт. Враховуючи неточності вхідних даних, можливі ситуації коли внутрішнього трафіку не вистачає для компенсації зовнішнього. На цьому етапі варто оцінити рівень довіри до джерел даних, що були використані. Дані щодо імпорту/експорту/транзиту отримані з офіційної статистики. Отже відкалібровані матриці повинні максимально точно співпадати з цією статистикою: Для виконання цієї вимоги запропоновано наступний алгоритм .

Нехай

Q_t - матриця в тонах потоків товару $t \in T$ без зовнішнього трафіку.

A_t - бажана матриця в тонах потоків товару $t \in T$, що містить

зовнішній трафік.

В описі алгоритму опущений індекс t , що відповідає за тип грузу; алгоритм необхідно виконати для $\forall t \in T$.

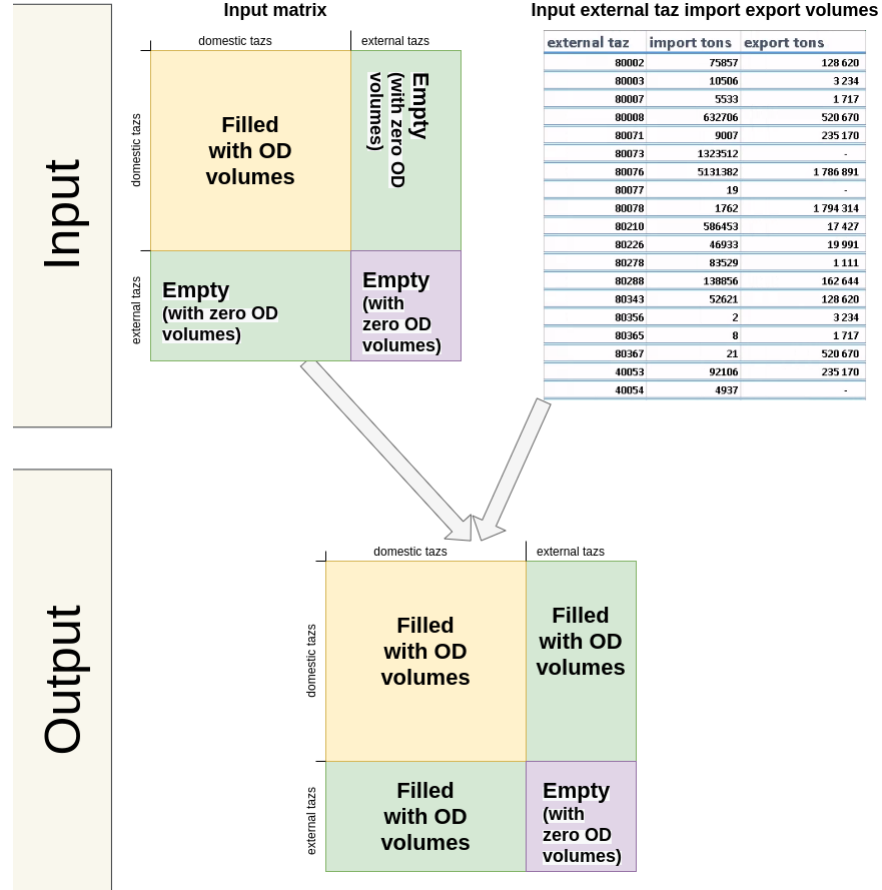


Рисунок 3.5 – Схема перерозподілу зовнішнього трафіку

Для зовнішнього TAZy e "забиратимемо" трафік саме з прив'язаного до нього внутрішнього TAZy d_e .

$$a_{ie} = \frac{exp_e * q_{id_e}}{\sum_{i \in D} q_{id}}, \forall e \in E \quad (3.1)$$

$$a_{ej} = \frac{imp_e * q_{d_ej}}{\sum_{j \in D} q_{dj}}, \forall e \in E \quad (3.2)$$

$$a_{e_1 e_2} = tran_{e_1 e_2}, \forall e_1, e_2 \in E \quad (3.3)$$

D - множина внутрішніх TAZів E - множина зовнішніх TAZів

Таким чином отримана матриця включає експорт, імпорт та транзит.

$$\sum_{i \in D} a_{ie} = exp_e, \forall e \in E \quad (3.4)$$

$$\sum_{j \in D} a_{ej} = imp_e, \forall e \in E \quad (3.5)$$

Тепер треба відняти "забраний" трафік з внутрішньої підматриці.

1) Ініціалізуємо попередні значення внутрішнього трафіку

$$a_{ij} = q_{ij}, \forall i, j \in D \quad (3.6)$$

2) Віднімаємо трафік "забраний" на імпорт

$$a_{dej} = \begin{cases} a_{dej} - a_{ej}, & a_{dej} - a_{ej} > 0 \\ 0, & a_{dej} - a_{ej} \leq 0 \end{cases}, \forall e \in E \quad (3.7)$$

3) Віднімаємо трафік "забраний" на експорт

$$a_{ide} = \begin{cases} a_{ide} - a_{ie}, & a_{ide} - a_{ie} > 0 \\ 0, & a_{ide} - a_{ie} \leq 0 \end{cases}, \forall e \in E \quad (3.8)$$

4) Віднімаємо трафік "забраний" на транзит

$$a_{d_{e_1}d_{e_2}} = \begin{cases} a_{d_{e_1}d_{e_2}} - a_{e_1e_2}, & a_{d_{e_1}d_{e_2}} - a_{e_1e_2} > 0 \\ 0, & a_{d_{e_1}d_{e_2}} - a_{e_1e_2} \leq 0 \end{cases}, \forall e_1, e_2 \in E \quad (3.9)$$

5) "Вирівнюємо" суму внутрішньої матриці

$$a_{ij} = a_{ij} * \left(1 - \frac{\sum_{m,n \in D \cup E} q_{mn}}{\sum_{m,n \in D \cup E} a_{mn}}\right), \forall i, j \in D \quad (3.10)$$

3.2.3 Результат калібрування

Як результат, маємо відкалібровані дорожні матриці Q_t для різних типів вантажів t . Об'єднавши їх з залізничними матрицями R_t , отримаємо:

$$\mathbb{A}_{t,road} = Q_t \quad (3.11)$$

$$\mathbb{A}_{t,rail} = R_t \quad (3.12)$$

Ці матриці будуть вхідними для моделі прогнозування.

$\mathbb{A}_{tm}$ -матриці потоків товару t транспортом m .

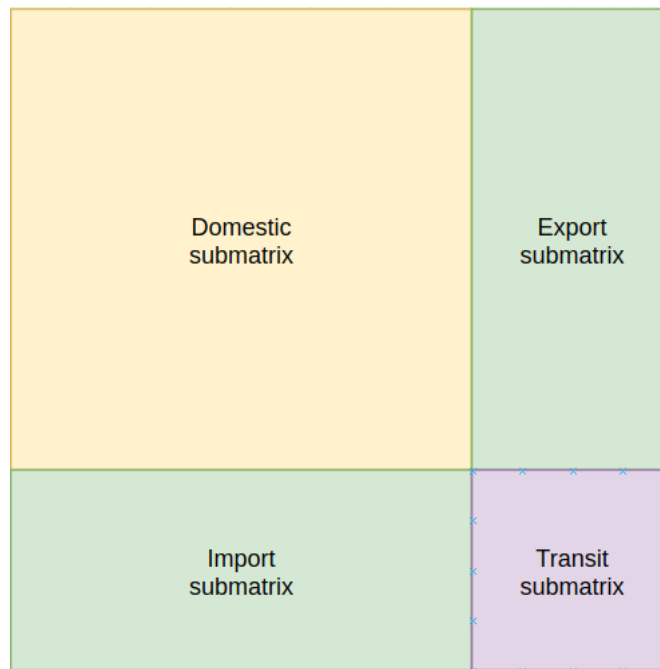


Рисунок 3.6 – Загальний вид відкаліброваної матриці

3.3 Прогнозування

На даному етапі отримані матриці є статичною моделлю транспорту України. Вони відображають трафік різних видів грузів різними транспортними засобами в базовому році. Останнім кроком є розподіл трафіку по дорожній/залізничній транспортній системі. Етап Assignment є широко дослідженим і сильно залежить від наявної моделі пропозиції. В цій роботі не будемо зупинятися на описі цього процесу. Його перебіг можна прочитати [7].

Набагато цікавішим та складнішим завданням є прогнозування та побудова сценаріїв. Вони мають важливе практичне значення. Адже дозволяють вибирати різні можливості розвитку інфраструктури країни на основі порівняння сценаріїв і вибору бажаного.

Ключову роль в прогнозуванні грає наявність даних, що характеризують систему в різних умовах та в різні періоди часу. Вони дозволяють моделювати поведінку системи в нових умовах.

Стосовно національної транспортної моделі, збір такої інформації

потребує великих затрат, як фінансових, так і часових. В Україні статистика транспорту поки що не така обширна, тому є можливість прогнозувати тільки окремі частини транспортної системи.

Простою і водночас потужною архітектурою моделі є блокова система. Поділ на окремі блоки дозволить незалежно прогнозувати різні частини системи і, що найважливіше незалежно розробляти ці блоки. Таким чином відсутність частини даних не зупинить розвиток моделі, а збір нових дозволить швидко впроваджувати їх в процес моделювання.

В момент написання роботи автору доступні такі дані пов'язані з розвитком транспортної інфраструктури України за хоча б якийсь термін:

- Загальний об'єм перевезених товарів за 2007-2019 роки різними видами транспорту;
- Зміна ВВП;
- Статистика імпорту/експорту та оцінка експертів на наступні 10 років.

Такий набір доступних ресурсів зумовив постановку наступних задач для побудови моделі прогнозування попиту:

- 1) Побудувати статистичну модель прогнозування загального обігу товарів від відомих соціо-економічних показників країни;
- 2) Розробити засіб оцінки розподілу нових потоків грузів при змін імпорту/експорту залежно від країни-партнера та виду грузу
- 3) Врахувати можливі зміни тарифів на різні види транспорту.

3.3.1 Прогноз загального трафіку країни

Загальний об'єм обігу товарів України є величиною з достатньою вибіркою для проведення статистичних досліджень. Центр транспортних стратегій наводить статистику по об'ємам трафіку товарів по Україні за 2007-2019 роки.

За наявності даних по різних типах транспорту очевидним рішенням є робити різні прогнози. Проте дослідження такого рівня

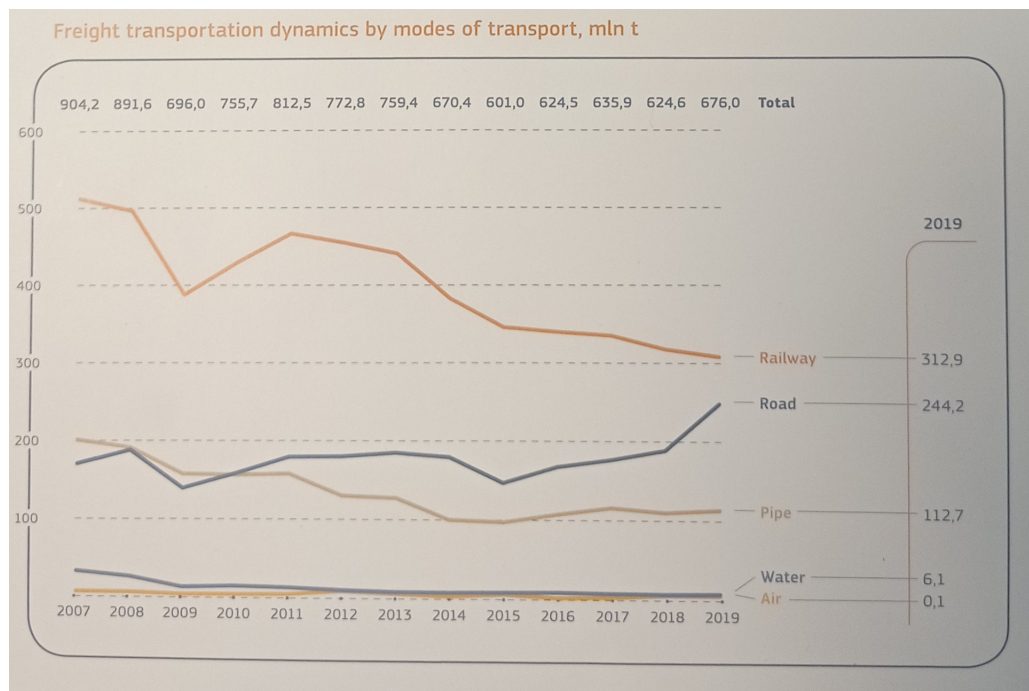


Рисунок 3.7 – Статистика вантажного трафіку України

деталізації, з врахуванням транспорту чи товару є надто комплексними і потребують багатьох ресурсів (статистика тарифів, врахування соціальних, політичних та економічних показників) для якісного прогнозування. Тому було прийняте рішення взяти загальний ВВП країни для дослідження його зв'язку з трафіком. Гіпотеза полягає в тому, що і ВВП, і трафік це різні характеристики загального розвитку країни. На рисунку 3.8 наведено статистику трафіку та ВВП (в аналізі не було враховану потоки через трубопровід, адже вони не впливають на трафік).

Для відновлення залежності між рівнем ВВП та об'ємами трафіку було побудовану лінійну регресію, графік якої наведено ТУТ.

Тепер, знаючи ВВП країни, можна оцінити загальний об'єм потоків товарів. В умовах відсутності щорічних зборів даних traffic counts, така модель дозволить легко оцінити трафік. Ще одним аргументом використання такого підходу є якісні, набагато ширше досліджені, прогнози ВВП, які дохвлять прогнозувати і трафік.

Процес прогнозу виглядає так. Нехай

GDP_b - ВВП базового року,

Traffic (from statistics with pipeline)	GDP (bln UAH)	Traffic without pipeline (mln tonn)	year
904,2	1190	793,27	2007
891,6	1213	782,22	2008
696	1038	610,62	2009
755,7	1083	662,99	2010
812,5	1140	712,82	2011
772,8	1185	677,99	2012
759,4	1185	666,24	2013
670,4	1066	588,16	2014
601	962	527,27	2015
624	985	547,45	2016
635,5	1010	557,54	2017
624,6	1043	547,97	2018

Рисунок 3.8 – Статистика вантажного трафіку та ВВП України

GDP_f - прогноз ВВП,

A_{tm} - матриці базового року.

Тоді

$$\begin{cases} Traffic_b = \alpha * \ln GDP_b + \beta \\ Traffic_f = \alpha * \ln GDP_f + \beta \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\Delta Traffic = \frac{Traffic_f}{Traffic_b} = \left(1 + \frac{\alpha * \ln \frac{GDP_f}{GDP_b}}{Traffic_b}\right) \quad (3.14)$$

$$GDP_{GDP_f}(\{A_{tm} | \forall t \in T, \forall m \in M\}) = \{A_{tm} * (1 + \frac{\alpha * \ln \frac{GDP_f}{GDP_b}}{Traffic_b}) | \forall t \in T, \forall m \in M\} \quad (3.15)$$

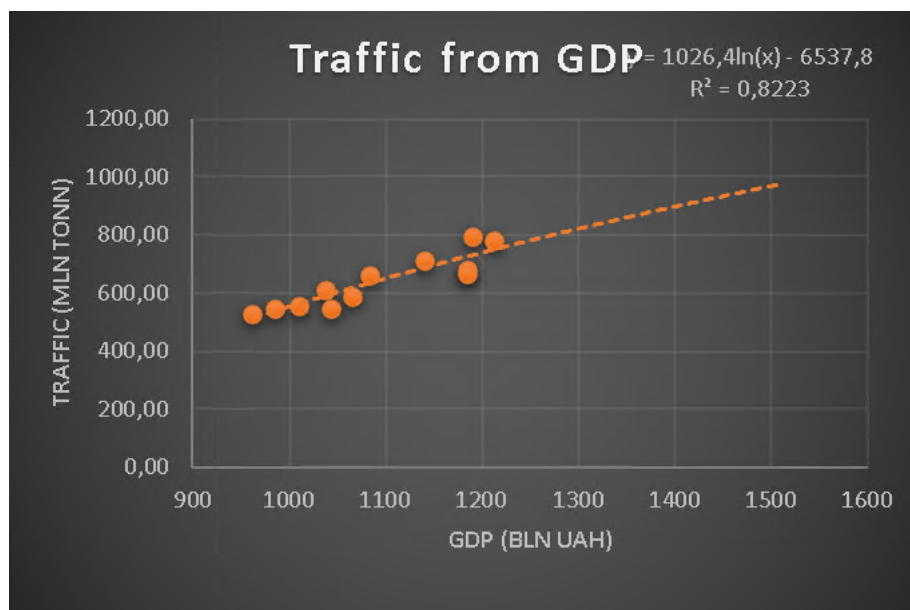


Рисунок 3.9 – Результат регресії

3.3.2 Додатковий трафік та його розподіл при зміні зовнішніх потоків товару

Зовнішня торгівля країни повинна підтримуватися сучасною транспортною інфраструктурою. При плануванні розвитку зовнішніх зв'язків доцільно також планувати можливості країни раціонально розподіляти нові потоки транспорту. Особа, що приймає такі рішення повинна розуміти, як нові потенційні потоки товарів спроектуються на реальну фізичну транспортну систему.

Статистика border crossings показує через які пункти пропуску певні товари для певних країн-партнерів проходять кордон України. Таким чином можна передбачити в яких зовнішніх TAZax будуть зміни трафіку і як вони розподіляться в середині країни.

Було розроблено алгоритм по нанесенню додаткового трафіку на існуючі матриці. В ньому беруться матриці агреговані по транспортному типу. Це зумовлено тим, що при зміні зовнішнього трафіку важко передбачити вид транспорту, яким піде новий потік; будемо вважати, що розбиття нових потоків на транспортні засоби в базовому відношенні є

адекватним рішенням. Нехай

$\mathbb{A}_t = \sum_{m \in M} \mathbb{A}_{tm}$ - матриці базового року

$\mathbb{A}'_t$ - прогнозовані матриці

exp_{ct} - базовий експорт в країну-партнера с товару типу t,

exp'_{ct} - прогнозований експорт в країну-партнера с товару типу t,

imp_{ct} - базовий імпорт з країни-партнера с товару типу t,

imp'_{ct} - прогнозований імпорт з країни-партнера с товару типу t,

$tr_{c_1c_2t}$ - базовий транзит з країни-партнера C_1 до країни-партнера c_2

товару типу t,

$tr'_{c_1c_2t}$ - прогнозований транзит з країни-партнера C_1 до

країни-партнера c_2 товару типу t,

p_{cte}^e - розподіл базового експорту по зовнішнім TAZам e, так що

$$\sum_{e \in E} p_{cte}^e = 1,$$

p_{cte}^i - розподіл базового імпорту по зовнішнім TAZам e, так що

$$\sum_{e \in E} p_{cte}^i = 1,$$

$p_{c_1c_2te_1e_2}^t$ - розподіл базового транзиту по зовнішнім TAZам $e_1 e_2$, так

що $\sum_{e_1, e_2 \in E} p_{c_1c_2te_1e_2}^t = 1$

$p_{ijtm} = \frac{a_{ijtm}}{\sum_{m \in M} a_{ijtm}}$ - базове розбиття на mode

$c \in C, t \in T, e \in E$

Тоді

$$\Delta exp_{ct} = exp'_{ct} - exp_{ct} \quad (3.16)$$

$$\Delta imp_{ct} = imp'_{ct} - imp_{ct} \quad (3.17)$$

$$\Delta tr_{c_1c_2t} = tr'_{c_1c_2t} - tr_{c_1c_2t} \quad (3.18)$$

1) Розподілимо зміну завнішнього трафіку кожної країни у базових відношеннях по зовнішнім TAZам

$$\Delta exp_{cte} = \Delta exp_{ct} * p_{cte}^e, \forall c \in C, \forall t \in T, e \in E \quad (3.19)$$

$$\Delta imp_{cte} = \Delta imp_{ct} * p_{cte}^i, \forall c \in C, \forall t \in T, e \in E \quad (3.20)$$

$$\Delta tr_{c_1 c_2 t e_1 e_2} = \Delta tr_{c_1 c_2 t} * p_{c_1 c_2 t e_1 e_2}^t, \forall c_1, c_2 \in C, \forall t \in T, e_1, e_2 \in E \quad (3.21)$$

2) Просумуємо трафік по всім країнам

$$\Delta exp_{te} = \sum_{c \in C} \Delta exp_{cte}, \forall t \in T, e \in E \quad (3.22)$$

$$\Delta imp_{te} = \sum_{c \in C} \Delta imp_{cte}, \forall t \in T, e \in E \quad (3.23)$$

$$\Delta tr_{te_1 e_2} = \sum_{c_1, c_2 \in C} \Delta tr_{c_1 c_2 t e_1 e_2}, \forall t \in T, \forall e_1, e_2 \in E \quad (3.24)$$

3) Розподілимо походження нового трафіку з середини країни у

базових відношеннях

$$a'_{tij} = a_{tij}, \forall t \in T, \forall i, j \in D \quad (3.25)$$

$$a'_{tie} = a_{tie} * (1 + \frac{\Delta exp_{te}}{exp_{te}}), \forall t \in T, \forall i \in D, e \in E \quad (3.26)$$

$$a'_{tej} = a_{tej} * (1 + \frac{\Delta imp_{te}}{imp_{te}}), \forall t \in T, \forall j \in D, e \in E \quad (3.27)$$

$$a'_{te_1e_2} = a_{te_1e_2} + \Delta tr_{te_1e_2}, \forall t \in T, \forall e_1, e_2 \in E \quad (3.28)$$

4) Розбиття на mode

$$\mathbb{A}'_{tm} = \mathbb{A}'_t @ \mathbb{P}_{tm}, \forall t \in T, m \in M \quad (3.29)$$

Виразимо цей процес однією функцією.

Позначимо

$$EXT_{ext}(\{\mathbb{A}_{tm} | \forall t \in T, \forall m \in M\}) = \{\mathbb{A}'_{tm} | \forall t \in T, \forall m \in M\} \quad (3.30)$$

- результат вище наведеного алгоритму для прогнозу матриць $\mathbb{A}_{tm}$ за

$$ext = \{\Delta exp_{ct} | \forall c \in C, \forall t \in T\} \cup$$

$$\cup \{\Delta imp_{ct} | \forall c \in C, \forall t \in T\} \cup$$

$$\cup \{\Delta tr_{c_1 c_2 t} | \forall c_1, c_2 \in C, \forall t \in T\}$$

3.3.3 Mode Choice

Важливою характеристикою транспортної мережі є відношення навантаження на різні види транспорту. Як вже обговорювалося вище, в Україні є 2 домінуючі види грузових перевезень:

- автомобільними дорогами
- залізницею

Транспортний аналіз не буде аналізом, якщо не враховувати розподіл трафіку по видам транспорту. Вантажні перевезення - це перш за все торгові та виробничі транзакції. Це зумовлює вибір виду транспорту питаннями рентабельності; тому пропонується вважати, що розбиття на види транспорту більшою частиною залежить від тарифів на вантажні перевезення.

Нехай

$\mathbb{A}_t = \sum_{m \in M} \mathbb{A}_{tm}$ - матриці базового року

$tarif_{rail}, tarif_{road}$ - базові тарифи

$tarif'_{rail}, tarif'_{road}$ - нові тарифи

$p_{ijtm} = \frac{a_{ijtm}}{\sum_{m \in M} a_{ijtm}}$ - базове розбиття на mode

Відношення трафіку по видам транспорту шукатимемо у такій формі:

$$p_{ijt,rail} = e^{\alpha_{ijt} \frac{tarif_{rail}}{tarif_{road}}} \quad (3.31)$$

$$p_{ijt,road} = 1 - p_{ijt,rail} \quad (3.32)$$

α_{ijt} - параметр для потоку вантажу t з зони i до зони j

Вибір такої функції зумовлений тим, що вона зростаюча по $tarif_{rail}$ та її чутливістю до великих різниць тарифів. Параметр α знаходимо, знаючи $p_{ijt,rail}$, $tarif_{rail}$, $tarif_{road}$ базового року.

Тоді

1) Знаходження параметрів α_{ijt}

$$\alpha_{ijt} = \frac{\ln p_{ijt,rail} * tarif_{road}}{tarif_{rail}} \quad (3.33)$$

2) Прогноз нового розбиття $\mathbb{P}'_{tm}$

$$p'_{ijt,rail} = e^{\alpha_{ijt} \frac{tarif'_{rail}}{tarif'_{road}}} \quad (3.34)$$

$$p'_{ijt,road} = 1 - p'_{ijt,rail} \quad (3.35)$$

3) Розбиття на mode

$$\mathbb{A}'_{tm} = \mathbb{A}_t @ \mathbb{P}'_{tm}, \forall t \in T, m \in M \quad (3.36)$$

Виразимо цей процес однією функцією

$$MODE_{\frac{tarif'_{rail}}{tarif'_{road}}}(\{\mathbb{A}_{tm} | \forall t \in T, \forall m \in M\}) = \{\mathbb{A}'_{tm} | \forall t \in T, \forall m \in M\} \quad (3.37)$$

- результат вище наведеного алгоритму для прогнозу матриць $\mathbb{A}_{tm}$ за змін тарифів $tarif_{rail}, tarif_{road} \rightarrow tarif'_{rail}, tarif'_{road}$.

3.4 Результати

Як результат моделі, маємо прогноз по трьом параметрам:

- зміна ВВП $\rightarrow$ зміна загального трафіку
- зміна зовнішніх потоків $\rightarrow$ розподіл їх всередині країни
- зміна тарифів перевезення товарів $\rightarrow$ перерозподіл трафіку по видам транспорту

Схематично побудована модель виглядає, як вказано на рисунку 3.10.

Процес прогнозування проходить наступним чином. Композицію отриманих в попередніх розділах функцій 3.15, 3.30, 3.37 можна застосовувати на матриці базового року. Параметри цих функцій дозволяють досліджувати різні сценарії. Більш детально процес моделювання описано в Додатку А.

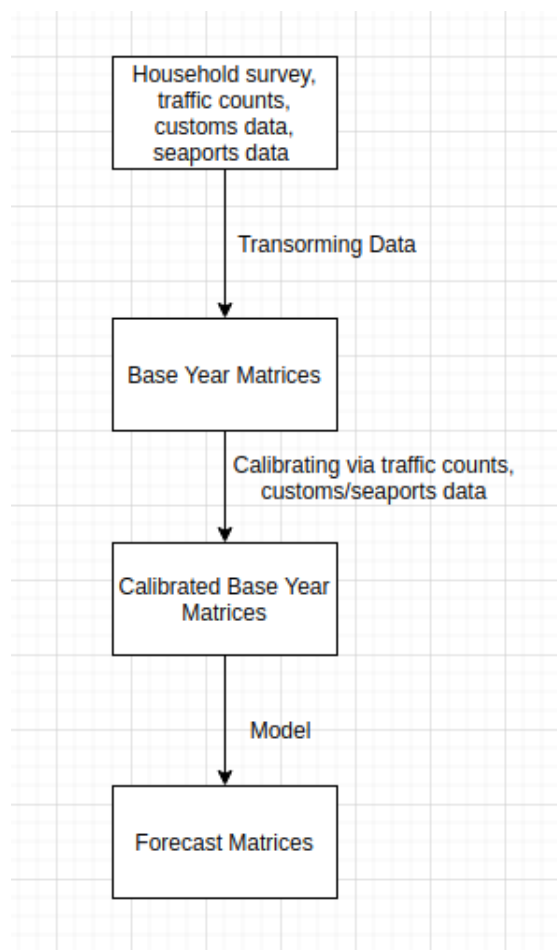


Рисунок 3.10 – Схема моделі

4 ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

У даному розділі проводиться оцінка основних характеристик програмного продукту, розробленого для вирішення задач прогнозування транспорту.

Нижче наведено аналіз різних варіантів реалізації модулю з метою вибору оптимальної, з огляду при цьому як на економічні фактори, так і на характеристики продукту, що впливають на продуктивність роботи і на його сумісність з апаратним забезпеченням. Для цього було використано апарат функціонально-вартісного аналізу.

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) – це технологія, яка дозволяє оцінити реальну вартість продукту або послуги незалежно від організаційної структури компанії. ФВА проводиться з метою виявлення резервів зниження витрат за рахунок ефективніших варіантів виробництва, кращого співвідношення між споживчою вартістю виробу та витратами на його виготовлення. Для проведення аналізу використовується економічна, технічна та конструкторська інформація.

Алгоритм функціонально-вартісного аналізу включає в себе визначення послідовності етапів розробки продукту, визначення повних витрат (річних) та кількості робочих часів, визначення джерел витрат та кінцевий розрахунок вартості програмного продукту.

4.1 Постановка задачі проектування

У роботі застосовується метод ФВА для проведення техніко-економічного аналізу розробки системи прогнозування вантажного трафіку. Оскільки рішення стосовно проектування та реалізації компонентів, що розробляється, впливають на всю систему, кожна окрема підсистема має її задовольняти. Тому фактичний

аналіз представляє собою аналіз функцій програмного продукту, призначеного для збору, обробки та проведення аналізу даних по коронавірусу.

Технічні вимоги до програмного продукту є наступні:

- функціонування на персональних комп'ютерах із стандартним набором компонентів;
- зручність та зрозумілість для користувача;
- швидкість обробки даних та доступ до інформації в реальному часі;
- можливість зручного масштабування та обслуговування;
- мінімальні витрати на впровадження програмного продукту.

4.2 Обґрунтування функцій програмного продукту

Головна функція F_0 – розробка програмного продукту, який вирішує задачу короткострокового прогнозування COVID-19 та будує його модель. Беручи за основу цю функцію, можна виділити наступні:

F_1 – вибір мови програмування;

F_2 – вибір фреймворку машинного навчання;

F_3 – вибір середовища розробки.

Кожна з цих функцій має декілька варіантів реалізації:

Функція F_1 :

а) Python

б) C++

Функція F_2 :

а) Tensorflow;

б) Excel

Функція F_3 :

а) Jupyter Notebook;

б) Visual Studio.

Варіанти реалізації основних функцій наведені у морфологічній карті системи (рис. 4.1).

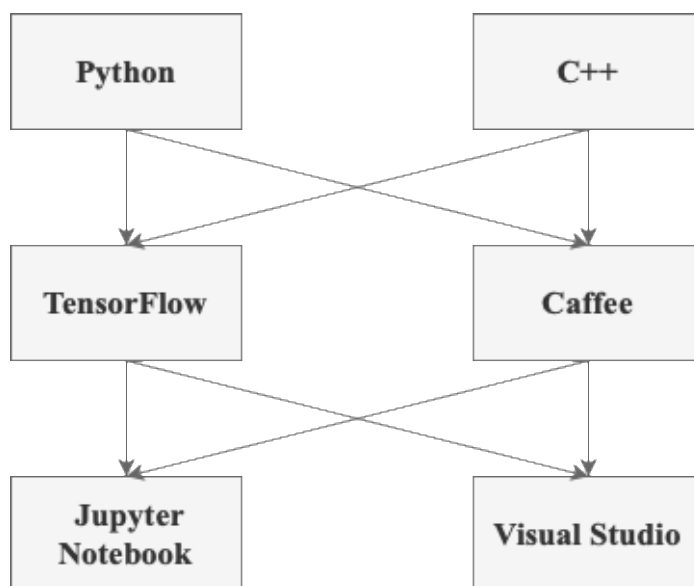


Рисунок 4.1 – Морфологічна карта

Морфологічна карта відображає множину всіх можливих варіанти основних функцій.

Таблиця 4.2 - Позитивно-негативна матриця

Функції	Варіанти реалізації	Переваги	Недоліки
F_1	A	Швидка розробка програми, доступність бібліотек, кросплатформеність	Низька швидкість роботи, особливо, якщо потрібно обробляти велику кількість даних
	B	Код швидко виконується	Іде багато часу на розробку програми
F_2	A	Надійно працює з складними проектами	Не підтримується багатьма мовами

	<i>Б</i>	Надійність	Додатковий час на інсталяцію та вивчення
<i>F₃</i>	<i>А</i>	Підтримується багатьма мовами програмування, легко запускається на будь-якому сервері	Відсутня можливість роботи без інтернету
	<i>Б</i>	Багато інструментів, безпечна	Підтримує одночасно лише одну мову програмування

На основі цієї карти будуюмо позитивно-негативну матрицю варіантів основних функцій (Таб.4.2). Робимо висновок, що при розробці програмного продукту деякі варіанти реалізації функцій варто відкинути, тому що вони не відповідають поставленим перед програмним продуктом задачам. Ці варіанти відзначені у морфологічній карті.

Функція *F₁*:

Перевагу віддаємо швидкості вивчення, простоті використання та наявності стандартних бібліотек для обчислення. Для спрощення роботи по написанню коду варіант Б має бути відкинтий.

Функція *F₂*:

Обидва варіанти можна використовувати в розробці.

Функція *F₃*:

Віддаємо перевагу варіанту А в разі вибору мови програмування Python.

Таким чином, будемо розглядати такі варіанти реалізації ПП:

$F_1a - F_2a - F_3a$

$F_1a - F_2b - F_3a$

Для оцінювання якості розглянутих функцій обрана система параметрів, описана нижче.

4.3 Обґрунтування системи параметрів ПП

На основі даних, розглянутих вище, визначаються основні параметри вибору, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня.

Для того, щоб охарактеризувати програмний продукт, будемо використовувати наступні параметри:

- X_1 – швидкодія мови програмування;
- X_2 – об'єм пам'яті для обчислень та збереження даних;
- X_3 – час навчання даних;
- X_4 – потенційний об'єм програмного коду.

Гірші, середні і кращі значення параметрів вибираються на основі вимог замовника й умов, що характеризують експлуатацію ПП як показано у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Основні параметри ПП

Назва Параметра	Умовні позначе ння	Одиниці виміру	Значення параметра		
			гірші	середні	кращі
Швидкодія мови програмування	X_1	оп/мс	10000	14000	19000
Об'єм пам'яті	X_2	Мб	420	128	64
Час попередньої обробки даних	X_3	мс	4	3	2
Потенційний об'єм програмного коду	X_4	кількість рядків коду	4000	2500	1000

За даними таблиці 4.3 будуються графічні характеристики параметрів – рис. 4.2 – рис. 4.5.

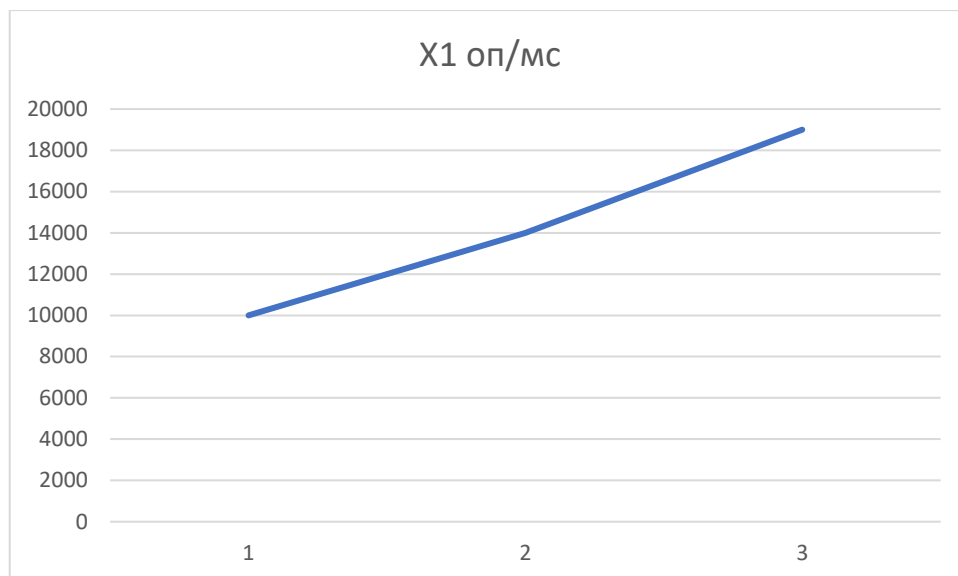


Рисунок 4.2 – X1, швидкодія мови програмування

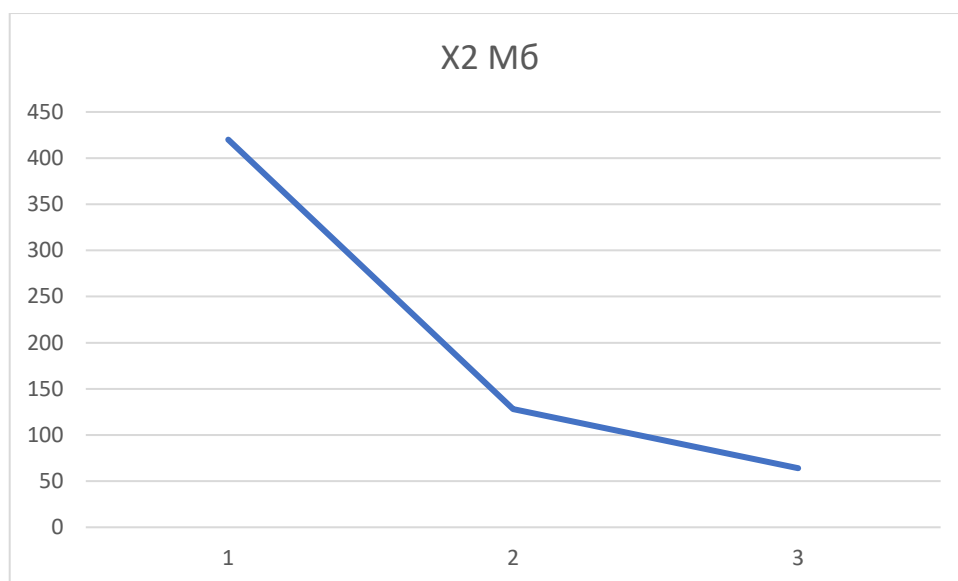


Рисунок 4.3 – X2, об'єм пам'яті

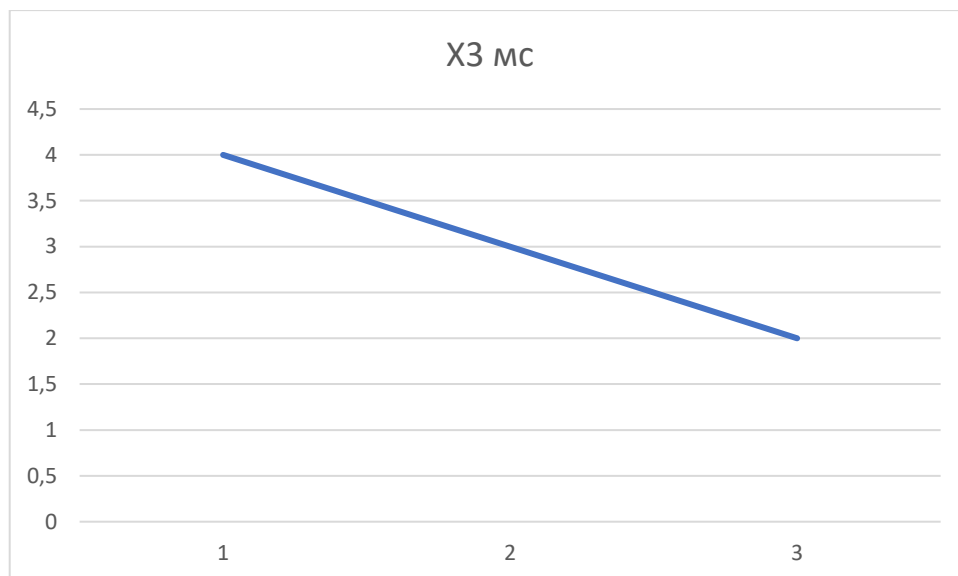


Рисунок 4.4 – X3, час попередньої обробки даних

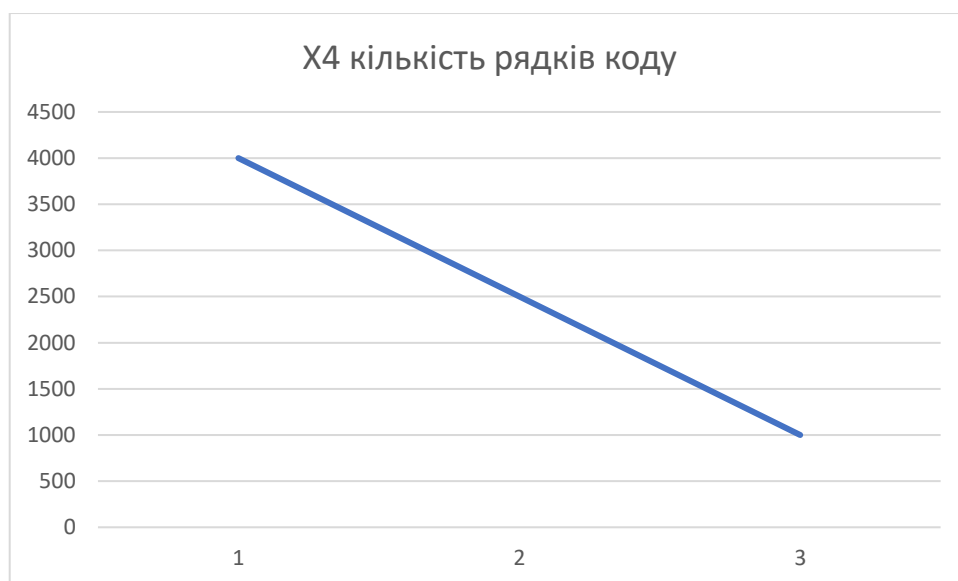


Рисунок 4.5 – X4, потенційний об'єм програмного коду

4.4 Аналіз експертного оцінювання параметрів

Після детального обговорення й аналізу кожний експерт оцінює ступінь важливості кожного параметру для конкретно поставленої цілі – розробка

програмного продукту, який дає найбільш точні результати при знаходженні параметрів моделей адаптивного прогнозування і обчислення прогнозних значень.

Значимість кожного параметра визначається методом попарного порівняння. Оцінку проводить експертна комісія із 7 людей. Визначення коефіцієнтів значимості передбачає:

- визначення рівня значимості параметра шляхом присвоєння різних рангів;
- перевірку придатності експертних оцінок для подальшого використання;
- визначення оцінки попарного пріоритету параметрів;
- обробку результатів та визначення коефіцієнту значимості.

Результати експертного ранжування наведені у таблиці 5.4.

Таблиця 4.4 - Результати ранжування параметрів

Позначення параметра	Назва параметра	Одиниці виміру	Ранг параметра за оцінкою експерта							Сума рангів R_i	Відхилення Δ_i	Δ_i^2
			1	2	3	4	5	6	7			
X_1	Швидкодія мови програмування	Оп/мс	4	5	2	5	3	4	5	28	3,5	12,25
X_2	Об'єм пам'яті	Мб	2	1	3	1	2	1	2	12	-12,5	156,25
X_3	Час попередньої обробки даних	мс	5	3	5	5	4	5	3	30	5,5	30,25

<i>X4</i>	Потенційний об'єм програмного коду	Кількість рядків коду	3	5	4	3	5	4	4	28	3,5	12,25
	Разом		14	14	14	14	14	14	14	98	0	211

Для перевірки степені достовірності експертних оцінок, визначимо наступні параметри:

а) сума рангів кожного з параметрів і загальна сума рангів:

$$R_i = \sum_{j=1}^N r_{ij} R_{ij} = \frac{Nn(n+1)}{2} = 98, \quad (4.1)$$

де N – число експертів,
 n – кількість параметрів;
 б) середня сума рангів:

$$T = \frac{1}{n} R_{ij} = 24,5 \quad (4.2)$$

в) відхилення суми рангів кожного параметра від середньої суми рангів:

$$\Delta_i = R_i - T. \quad (4.3)$$

Сума відхилень по всіх параметрах повинна дорівнювати 0;

г) загальна сума квадратів відхилення:

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta_i^2 = 211. \quad (4.4)$$

Порахуємо коефіцієнт узгодженості:

$$W = \frac{12S}{N^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 211}{7^2(4^3 - 4)} = 0,86 > W_k = 0,67. \quad (4.5)$$

Ранжування можна вважати достовірним, тому що знайдений коефіцієнт узгодженості перевищує нормативний, котрий дорівнює 0,67.

Скориставшись результатами ранжирування, проведемо попарне порівняння всіх параметрів і результати занесемо у таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 - Попарне порівняння параметрів.

Параметри	Експерти							Кінцева оцінка	Числове значення
	1	2	3	4	5	6	7		
X1 і X2	>	>	<	<	>	>	>	>	1,5
X1 і X3	<	>	<	=	<	<	>	<	0,5
X1 і X4	>	>	<	=	<	=	>	>	1,5
X2 і X3	<	<	<	<	<	<	<	<	0,5
X2 і X4	<	<	<	<	<	<	<	<	0,5
X3 і X4	>	<	>	>	<	>	<	>	1,5

Числове значення, що визначає ступінь переваги i -го параметра над j -тим, a_{ij} визначається по формулі:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1.5 \text{ при } X_i > X_j \\ 1.0 \text{ при } X_i = X_j \\ 0.5 \text{ при } X_i < X_j \end{cases} \quad (4.6)$$

З отриманих числових оцінок переваги складемо матрицю $A = \|a_{ij}\|$.

Для кожного параметра зробимо розрахунок вагомості K_{bi} за наступними формулами:

$$K_{bi} = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (4.7)$$

$$b_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} \quad (4.8)$$

Відносні оцінки розраховуються декілька разів доти, поки наступні значення не будуть незначно відрізнятися від попередніх (менше 2%). На другому і наступних кроках відносні оцінки розраховуються за наступними формулами:

$$K_{bi} = \frac{b'_i}{\sum_{i=1}^n b'_i}, \quad (4.9)$$

$$b'_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j \quad (4.10)$$

Як видно з таблиці 4.6, різниця значень коефіцієнтів вагомості не перевищує 2%, тому більшої кількості ітерацій не потрібно.

Таблиця 4.6 - Розрахунок вагомості параметрів

Параметрих _i	Параметрих _j				Перша ітер.		Друга ітер.		Третя ітер	
	X1	X2	X3	X4	b_i	K_{bi}	b_i^1	K_{bi}^1	b_i^2	K_{bi}^2
X1	1,0	1,5	0,5	1,5	4,5	0,36	17,75	0,25	73,38	0,25
X2	0,5	1,0	1,5	0,5	3,5	0,28	15,75	0,22	65,63	0,23
X3	1,5	1,5	1,0	1,5	5,5	0,44	22,75	0,33	93,6	0,32
X4	0,5	1,5	0,5	1,0	3,5	0,28	13,75	0,2	57,63	0,2
Всього:					12,5	1	70	1	290,25	1

4.5 Аналіз рівня якості варіантів реалізації функцій

Визначаємо рівень якості кожного варіанту виконання основних функцій окремо.

Абсолютні значення параметрів X_2 (Об'єм пам'яті), X_3 (час попередньої обробки даних) та X_4 (потенційний об'єм програмного коду) відповідають технічним вимогам умов функціонування даного ПП.

Абсолютне значення параметра X_1 (швидкість роботи мови програмування) обрано не найгіршим.

Коефіцієнт технічного рівня для кожного варіанта реалізації ПП розраховується так (таблиця 4.7):

$$K_K(j) = \sum_{i=1}^n K_{ei,j} B_{i,j}, \quad (4.11)$$

де n – кількість параметрів;

K_{ei} – коефіцієнт вагомості i -го параметра;

B_i – оцінка i -го параметра в балах.

Таблиця 4.7 - Розрахунок показників рівня якості варіантів реалізації основних функцій ПП

Основні функції	Варіант реалізації функції	Параметри	Абсолютне значення параметра	Бальна оцінка параметра	Коефіцієнт вагомості параметра	Коефіцієнт рівня якості
F1	A	X1	10000	6	0,25	1,5
F2	A	X2	64	5	0,23	1,15
	Б	X2	128	2	0,32	0,64
F3	A	X3	1000	8	0,2	1,6

За даними з таблиці 4.7 за формулою:

$$K_K = K_{\text{ТУ}}[F_{1k}] + K_{\text{ТУ}}[F_{2k}] + \dots + K_{\text{ТУ}}[F_{zk}], \quad (4.12)$$

визначаємо рівень якості кожного з варіантів:

$$K_{K1} = 2,5 + 1,25 + 3,6 = 5,35;$$

$$K_{K2} = 1,35 + 1,64 + 1,6 = 4,59.$$

Як видно з розрахунків, кращим є перший варіант, для якого коефіцієнт технічного рівня має найбільше значення.

4.6 Економічний аналіз варіантів розробки ПП

Для визначення вартості розробки ПП спочатку проведемо розрахунок трудомісткості.

Всі варіанти включають в себе два окремих завдання:

1. Розробка проекту програмного продукту;
2. Розробка програмної оболонки;

Завдання 1 за ступенем новизни відноситься до групи А, завдання 2 – до групи Б. За складністю алгоритми, які використовуються в завданні 1 належать до групи 1; а в завданні 2 – до групи 3.

Для реалізації завдання 1 використовується довідкова інформація, а завдання 2 використовує інформацію у вигляді даних.

Проведемо розрахунок норм часу на розробку та програмування для кожного з завдань.

Загальна трудомісткість обчислюється як

$$T_0 = T_P \cdot K_{\Pi} \cdot K_{СК} \cdot K_M \cdot K_{СТ} \cdot K_{СТ.М}, \quad (4.13)$$

де T_P – трудомісткість розробки ПП;

K_{Π} – поправочний коефіцієнт;

$K_{СК}$ – коефіцієнт на складність вхідної інформації;

K_M – коефіцієнт рівня мови програмування;

$K_{СТ}$ – коефіцієнт використання стандартних модулів і прикладних програм;

$K_{СТ.М}$ – коефіцієнт стандартного математичного забезпечення

Для першого завдання, виходячи із норм часу для завдань розрахункового характеру степеню новизни А та групи складності алгоритму 1, трудомісткість дорівнює: $T_P = 90$ людино-днів. Поправочний коефіцієнт, який враховує вид нормативно-довідкової інформації для першого завдання: $K_{\Pi} = 1.7$. Поправочний коефіцієнт, який враховує складність контролю вхідної та вихідної інформації для всіх семи завдань рівний 1: $K_{СК} = 1$. Оскільки при розробці першого завдання використовуються стандартні модулі, врахуємо це за допомогою коефіцієнта $K_{СТ} = 0.8$. Тоді загальна трудомісткість програмування першого завдання дорівнює:

$$T_1 = 90 \cdot 1.7 \cdot 0.8 = 122.4 \text{ людино-днів.}$$

Проведемо аналогічні розрахунки для подальших завдань.

Для другого завдання (використовується алгоритм третьої групи складності, степінь новизни Б), тобто $T_P = 27$ людино-днів, $K_{\Pi} = 0.9$, $K_{СК} = 1$, $K_{СТ} = 0.8$:

$$T_2 = 27 \cdot 0.9 \cdot 0.8 = 19.44 \text{ людино-днів.}$$

Складаємо трудомісткість відповідних завдань для кожного з обраних варіантів реалізації програми, щоб отримати їх трудомісткість:

$$T_I = (122.4 + 19.44 + 4.8 + 19.44) \cdot 8 = 1328,64 \text{ людино-годин.}$$

$$T_{II} = (122.4 + 19.44 + 6.91 + 19.44) \cdot 8 = 1345.52 \text{ людино-годин.}$$

Найбільш високу трудомісткість має варіант II.

В розробці беруть участь два програмісти з окладом 10000 грн., один аналітик в області даних з окладом 12500. Визначимо середню зарплату за годину за формулою:

$$C_{\text{ч}} = \frac{M}{T_m \cdot t} \text{ грн.,} \quad (4.14)$$

де M – місячний оклад працівників;

T_m – кількість робочих днів тижень;

t – кількість робочих годин в день.

$$C_{\text{ч}} = \frac{10000 + 10000 + 12500}{3 \cdot 21 \cdot 8} = 64,48 \text{ грн.} \quad (4.15)$$

Тоді, розрахуємо заробітну плату за формулою:

$$C_{\text{ЗП}} = C_{\text{ч}} \cdot T_i \cdot K_{\text{д}}, \quad (4.16)$$

де $C_{\text{ч}}$ – величина погодинної оплати праці програміста;

T_i – трудомісткість відповідного завдання;

K_d – норматив, який враховує додаткову заробітну плату.

Зарплата розробників за варіантами становить:

$$\text{I. } C_{зп} = 64.48 \cdot 1328.64 \cdot 1.2 = 102811,43 \text{ грн.}$$

$$\text{II. } C_{зп} = 64.48 \cdot 1345.52 \cdot 1.2 = 104117,62 \text{ грн.}$$

Відрахування на єдиний соціальний внесок становить 22%:

$$\text{I. } C_{від} = C_{зп} \cdot 0.22 = 102811,43 \cdot 0.22 = 22618,51 \text{ грн.}$$

$$\text{II. } C_{від} = C_{зп} \cdot 0.22 = 104117,62 \cdot 0.22 = 22905,88 \text{ грн.}$$

Тепер визначимо витрати на оплату однієї машино-години. (C_M)

Так як одна ЕОМ обслуговує одного програміста з окладом 10000 грн., з коефіцієнтом зайнятості 0,2 то для однієї машини отримаємо:

$$C_G = 12 \cdot M \cdot K_3 = 12 \cdot 10000 \cdot 0,2 = 24000 \text{ грн.}$$

З урахуванням додаткової заробітної плати:

$$C_{зп} = C_G \cdot (1 + K_3) = 24000 \cdot (1 + 0.2) = 28800 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальний внесок:

$$C_{від} = C_{зп} \cdot 0.22 = 28800 \cdot 0,22 = 6336 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування розраховуємо при амортизації 25% та вартості ЕОМ – 20000 грн.

$$C_A = K_{TM} \cdot K_A \cdot C_{PP} = 1.15 \cdot 0.25 \cdot 20000 = 5750 \text{ грн.},$$

де K_{TM} – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування та монтаж приладу у користувача;
 K_A – річна норма амортизації;
 C_{PP} – договірна ціна приладу.

Витрати на ремонт та профілактику розраховуємо як:

$$C_P = K_{TM} \cdot C_{PP} \cdot K_P = 1.15 \cdot 20000 \cdot 0.05 = 1150 \text{ грн.},$$

де K_P – відсоток витрат на поточні ремонти.

Ефективний годинний фонд часу ПК за рік розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} T_{EF} &= (D_K - D_B - D_C - D_P) \cdot t_3 \cdot K_B = (365 - 104 - 12 - 16) \cdot 8 \cdot 0.9 = \\ &= 1677.6 \text{ годин,} \end{aligned}$$

де D_K – календарна кількість днів у році;
 D_B, D_C – відповідно кількість вихідних та святкових днів;
 D_P – кількість днів планових ремонтів устаткування;
 t – кількість робочих годин в день;
 K_B – коефіцієнт використання приладу у часі протягом зміни.

Витрати на оплату електроенергії розраховуємо за формулою:

$$C_{\text{ЕЛ}} = T_{\text{ЕФ}} \cdot N_{\text{С}} \cdot K_3 \cdot C_{\text{ЕН}} = 1677.6 \cdot 0,3 \cdot 2,48 \cdot 2 = 2496,27 \text{ грн.},$$

де $N_{\text{С}}$ – середньо-споживча потужність приладу;
 K_3 – коефіцієнтом зайнятості приладу;
 $C_{\text{ЕН}}$ – тариф за 1 КВт-годин електроенергії.

Накладні витрати розраховуємо за формулою:

$$C_{\text{Н}} = C_{\text{ПР}} \cdot 0.67 = 20000 \cdot 0,67 = 13400 \text{ грн.}$$

Тоді, річні експлуатаційні витрати будуть:

$$C_{\text{ЕКС}} = C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ВІД}} + C_{\text{А}} + C_{\text{Р}} + C_{\text{ЕЛ}} + C_{\text{Н}}, \quad (4.17)$$

$$C_{\text{ЕКС}} = 28800 + 6336 + 10589,76 + 5750 + 1150 + 2496,27 + 13400 = 57932,27 \text{ грн.}$$

Собівартість однієї машино-години ЕОМ дорівнюватиме:

$$C_{\text{М-Г}} = C_{\text{ЕКС}} / T_{\text{ЕФ}} = 57932,27 / 1677.6 = 34,53 \text{ грн/год.}$$

Оскільки в даному випадку всі роботи, які пов'язані з розробкою програмного продукту ведуться на ЕОМ, витрати на оплату машинного часу, в залежності від обраного варіанта реалізації, складає:

$$C_{\text{М}} = C_{\text{М-Г}} \cdot T, \quad (4.18)$$

$$\text{I. } C_M = 34,53 \cdot 1328,64 = 45881,69 \text{ грн.}$$

$$\text{II. } C_M = 34,53 \cdot 1345,52 = 46464,61 \text{ грн.}$$

Накладні витрати складають 67% від заробітної плати:

$$C_H = C_{3П} \cdot 0,67, \quad (4.19)$$

$$\text{I. } C_H = 102811,43 \cdot 0,67 = 68883,66 \text{ грн.}$$

$$\text{II. } C_H = 104117,62 \cdot 0,67 = 69758,80 \text{ грн.}$$

Отже, вартість розробки ПП за варіантами становить:

$$C_{ПП} = C_{3П} + C_{ВІД} + C_M + C_H, \quad (4.20)$$

$$\text{I. } C_{ПП} = 102811,43 + 22618,51 + 45881,69 + 68883,66 = 240195,29 \text{ грн.}$$

$$\text{II. } C_{ПП} = 104117,62 + 22905,88 + 46464,61 + 69758,80 = 243246,91 \text{ грн.}$$

4.7 Вибір кращого варіанту ПП техніко-економічного рівня

Розрахуємо коефіцієнт техніко-економічного рівня за формулою:

$$K_{\text{ТЕР}j} = K_{Kj} / C_{Фj}, \quad (4.21)$$

$$K_{\text{TEP1}} = 4,25 / 240195,29 = 1,77 \cdot 10^{-5},$$

$$K_{\text{TEP2}} = 3,74 / 243246,91 = 1,53 \cdot 10^{-5}.$$

Як бачимо, найбільш ефективним є перший варіант реалізації програми з коефіцієнтом техніко-економічного рівня $K_{\text{TEP1}} = 1,77 \cdot 10^{-5}$.

Після виконання функціонально-вартісного аналізу програмного комплексу що розроблюється, можна зробити висновок, що з альтернатив, що залишилися після першого відбору двох варіантів виконання програмного комплексу оптимальним є перший варіант реалізації програмного продукту. У нього виявився найкращий показник техніко-економічного рівня якості $K_{\text{TEP}} = 1,77 \cdot 10^{-5}$.

Цей варіант реалізації програмного продукту має такі параметри:

- мова програмування – Python;
- Використання моделей з великою ємністю
- Використання стандартного інтерфейсу візуалізації, швидкість розробки

Даний варіант виконання програмного комплексу дає користувачу зручний інтерфейс, непоганий функціонал і швидкодію.

4.8 Висновки до розділу 4

Проведено повний функціонально-вартісний аналіз програмного продукту. Визначено та проведено оцінку основних функцій програмного продукту. Визначено параметри, які характеризують програмний продукт.

Проведено експертне оцінювання параметрів та аналіз якості варіантів реалізації функцій.

Проведено економічний аналіз варіантів розробки – трудомісткість, витрати на заробітну плату та інші витрати.

На основі аналізу вибрано варіант реалізації програмного продукту.

ВИСНОВКИ

В роботі була побудована транспортна модель вантажу України. Перш за все, були досліджена відповідна література та методології моделювання описані в ній. Важливим етапом було пошук та підготовка даних, адже транспорт це дуже складна та масштабна система, Автору пощастило знайти достатньо даних про стан вантажних перевезень України для початку роботи. В 3 розділі детально описано аналіз вхідних даних та адаптація 4-рьох крокової моделі транспорту під ці дані.

Модель будувалася з метою зробити її структуру блоковою. Такий підхід дозволяє на простому рівні розробити комплексну модель; деякі кроки реалізовано простіше, деякі більш детально (наскільки дозволяли дані). Побудована модель розв'язати годовні проблеми транспортного моделювання та має великий запас масштабованості, що дозволить покращувати та розширювати її в майбутньому.

Проте, розглянуті вище методи та архітектури адаптовано та переглянуто, щоб застосувати їх до конкретного набору вхідних даних. Важливо розуміти, що описані вище підходи до прогнозування застосовуються у комбінації. Насамкінець, описане дослідження застосовується насамперед до даних про вантажний трафік України, що вносить свої корективи, адже це велике країна з яскраво вираженою проблематикою, що була описана у роботі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. AASHTO (1977) A Manual of User Benefit Analysis of Highway and Bus Transport Improvements. American
2. Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
3. Abdel-Aty, M.A., Kitamura, R. and Jovanis, P.P. (1997) Using stated preference data for studying the effect of advanced traffic information on driver's route choice. Transportation Research 5C, 39–50
4. Abraham, H., Shaw, N. and Willumsen, L. (1992) A micro-based incremental four stage transportation model for London. Proceedings 20th PTRC Summer Annual Meeting, University of Manchester Institute of Science and Technology, September 1992, England.
5. Chihara, T.S. (1978) Introduction to Orthogonal Polynomials. Gordon and Breach, New York.
6. Chiou, L. and Walker, J.L. (2007) Masking identification of discrete choice models under simulation methods. Journal of Econometrics 141, 683–703
7. National transport strategy [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу : <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzypy-stvorenniya-transportnoi-modeli-mista/>
8. Jara-Diaz, S.R. (2000) Allocation and valuation of travel time savings. In D. Hensher and K.J. Button (eds.), Handbook of Transport Modelling, Pergamon, Oxford
9. Jara-Diaz, S.R. (2007) Transport Economic Theory. Elsevier Science, Amsterdam. Overgaard, K.R. (1967) Urban transportation planning: traffic estimation. Traffic Quarterly 21, 197–218
10. Pakes, A. and Pollard, D. (1989) Simulation and the asymptotics of optimisation estimators. Econometrica 57, 1027–1057.
11. Young, W. and Richardson, A.J. (1980) Residential location preference models: compensatory and non-compensatory approaches.

Proceedings 8th PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, July 1980, England.

12. Zahavi, Y. (1979) The UMOT project. Report No. DoT-RSPA-DPB-20-79-3, US Department of Transportation, Washington, DC.

ДОДАТОК А ТЕКСТ ПРОГРАМИ

May 30, 2021

```
[168]: import pandas as pd
import numpy as np
%reload_ext sql
%sql
```

1 base matrix - from__taz, to__taz, tons

```
[2]: %%sql base_matrix <<
select *
from freight_model.base_matrix
```

```
*
26734 rows affected.
Returning data to local variable base_matrix
```

2 export matrix - taz, value

```
[3]: %%sql exp <<
select *
from freight_model.exp_ext_taz
```

```
*
85 rows affected.
Returning data to local variable exp
```

3 import matrix - taz, value

```
[4]: %%sql imp <<
select *
from freight_model.imp_ext_taz
```

```

*
99 rows affected.
Returning data to local variable imp

```

4 domestic/external taz mapping - domestic_taz, external_taz

```

[5]: %%sql dom_ext_taz <<
sELECT domestic_taz,
external_taz
FROM supply.border_crossing
where domestic_taz is not null

UNION

SELECT domestic_taz,
external_taz
FROM supply.seaports
where domestic_taz is not null

```

```

*
161 rows affected.
Returning data to local variable dom_ext_taz

```

4.1 Creating columns/rows for OD external submatrices

```

[160]: def from_ext_to_dom(base_matrix, dom_ext_taz, imp):
    base_matrix = base_matrix[['from_taz', 'to_taz', 'tons']]
    df_gen = base_matrix.merge(base_matrix.groupby(['from_taz']).sum().
    ↪reset_index().drop(columns = ['to_taz']).rename(columns = {'tons':
    ↪'sum_from'}), on = 'from_taz', how = 'left')
    df_gen['percent'] = df_gen['tons']/df_gen['sum_from']
    df_imp = imp.merge(dom_ext_taz, left_on = 'taz', right_on = 'external_taz',
    ↪how = 'left').drop(columns = ['taz']).rename(columns = {'value': 'import'})
    df_gen_ext_tmp = df_imp.merge(df_gen, left_on = 'domestic_taz', right_on =
    ↪'from_taz', how = 'left')
    df_gen_ext_tmp['od'] = df_gen_ext_tmp['import']*df_gen_ext_tmp['percent']
    #df_gen_ext_tmp = df_gen_ext_tmp.drop(columns = ['tons', 'sum_from',
    ↪'percent'])

    ##direct import to generation [must be changed]
    df_gen_ext_tmp['to_taz'] = np.where(df_gen_ext_tmp['od'].isnull(),
    ↪df_gen_ext_tmp['domestic_taz'], df_gen_ext_tmp['to_taz'])
    df_gen_ext_tmp['from_taz'] = np.where(df_gen_ext_tmp['od'].isnull(),
    ↪df_gen_ext_tmp['domestic_taz'], df_gen_ext_tmp['from_taz'])

```

```

    df_gen_ext_tmp['tons'] = np.where(df_gen_ext_tmp['od'].isnull(), 0,
    ↪df_gen_ext_tmp['tons'])
    df_gen_ext_tmp['sum_from'] = np.where(df_gen_ext_tmp['od'].isnull(), 0,
    ↪df_gen_ext_tmp['sum_from'])
    df_gen_ext_tmp['percent'] = np.where(df_gen_ext_tmp['od'].isnull(), 0,
    ↪df_gen_ext_tmp['percent'])
    ##
    df_gen_ext_tmp['od'] = np.where(df_gen_ext_tmp['od'].isnull(),
    ↪df_gen_ext_tmp['import'], df_gen_ext_tmp['od'])
    df_gen_ext = df_gen_ext_tmp[['external_taz', 'from_taz', 'to_taz', 'od']].
    ↪rename(columns = {'external_taz': 'from_taz', 'from_taz': 'old_from_taz'})
    return df_gen_ext

def from_dom_to_ext(base_matrix, dom_ext_taz, exp):
    base_matrix = base_matrix[['from_taz', 'to_taz', 'tons']]
    df_gen = base_matrix.merge(base_matrix.groupby(['to_taz']).sum().
    ↪reset_index().drop(columns = ['from_taz']).rename(columns = {'tons':
    ↪'sum_to'}), on = 'to_taz', how = 'left')
    df_gen['percent'] = df_gen['tons']/df_gen['sum_to']
    df_imp = exp.merge(dom_ext_taz, left_on = 'taz', right_on = 'external_taz',
    ↪how = 'left').drop(columns = ['taz']).rename(columns = {'value': 'export'})
    df_att_ext_tmp = df_imp.merge(df_gen, left_on = 'domestic_taz', right_on =
    ↪'to_taz', how = 'left')
    df_att_ext_tmp['od'] = df_att_ext_tmp['export']*df_att_ext_tmp['percent']
    #df_gen_ext_tmp = df_gen_ext_tmp.drop(columns = ['tons', 'sum_from',
    ↪'percent'])

    ##direct import to generation [must be changed]
    df_att_ext_tmp['to_taz'] = np.where(df_att_ext_tmp['od'].isnull(),
    ↪df_att_ext_tmp['domestic_taz'], df_att_ext_tmp['to_taz'])
    df_att_ext_tmp['from_taz'] = np.where(df_att_ext_tmp['od'].isnull(),
    ↪df_att_ext_tmp['domestic_taz'], df_att_ext_tmp['from_taz'])
    df_att_ext_tmp['tons'] = np.where(df_att_ext_tmp['od'].isnull(), 0,
    ↪df_att_ext_tmp['tons'])
    df_att_ext_tmp['sum_to'] = np.where(df_att_ext_tmp['od'].isnull(), 0,
    ↪df_att_ext_tmp['sum_to'])
    df_att_ext_tmp['percent'] = np.where(df_att_ext_tmp['od'].isnull(), 0,
    ↪df_att_ext_tmp['percent'])
    ##
    df_att_ext_tmp['od'] = np.where(df_att_ext_tmp['od'].isnull(),
    ↪df_att_ext_tmp['export'], df_att_ext_tmp['od'])
    df_att_ext = df_att_ext_tmp[['external_taz', 'from_taz', 'to_taz', 'od']].
    ↪rename(columns = {'external_taz': 'to_taz', 'to_taz': 'old_to_taz'})
    return df_att_ext

#####

```

```
df_ext_gen = from_ext_to_dom(base_matrix, dom_ext_taz, imp)
df_ext_att = from_dom_to_ext(base_matrix, dom_ext_taz, exp)
```

```
[175]: df_ext_gen
```

```
[175]:
```

	from_taz	old_from_taz	to_taz	od
0	80002	31.0	5.0	49.666024
1	80002	31.0	26.0	19.356245
2	80002	31.0	28.0	56.808328
3	80002	31.0	30.0	688.572151
4	80002	31.0	31.0	738.208165
...	...	...	...	...
7624	10333	528.0	549.0	13070.710262
7625	10333	528.0	552.0	990.979837
7626	10333	528.0	553.0	54.670781
7627	10333	528.0	554.0	1117.767484
7628	10333	528.0	555.0	19.212242

```
[7629 rows x 4 columns]
```

5 Subtracting values from OD domestic submatrix

```
[173]: diff_att = df_ext_att.drop(columns = ['to_taz']).groupby(['old_to_taz',
↳ 'from_taz']).sum().reset_index().rename(columns = {'old_to_taz': 'to_taz'})
diff_gen = df_ext_gen.drop(columns = ['from_taz']).groupby(['old_from_taz',
↳ 'to_taz']).sum().reset_index().rename(columns = {'old_from_taz': 'from_taz'})

tmp = base_matrix.merge(diff_gen, on = ['from_taz', 'to_taz'], how = 'outer')
tmp = tmp.rename(columns = {'od': 'od_gen'})
tmp = tmp.merge(diff_att, on = ['from_taz', 'to_taz'], how = 'outer')
tmp = tmp.rename(columns = {'od': 'od_att'})
df = tmp.fillna(0)

df['new_od'] = df['tons'] - df['od_gen'] - df['od_att']
df['new_od_plus'] = np.where(df['new_od'] < 0, 0, df['new_od'])

domestic_expected_sum = base_matrix['tons'].sum()/1000000 - df['od_gen'].sum()/
↳ 1000000 - df['od_att'].sum()/1000000
domestic_new_sum = df['new_od_plus'].sum()/1000000
ratio = domestic_new_sum/domestic_expected_sum
df['new_od_plus'] = df['new_od_plus']/ratio
```

```
final_df = pd.concat([df.drop(columns = ['tons', 'od_gen', 'od_att', 'new_od']).
↳rename(columns = {'new_od_plus':'od'}), df_ext_gen.drop(columns =
↳['old_from_taz']), df_ext_att.drop(columns = ['old_to_taz'])], axis = 0)
final_df[['from_taz', 'to_taz']] = final_df[['from_taz', 'to_taz']].astype(int)
```

```
[174]: final_df
```

```
[174]:
```

	from_taz	to_taz	od
0	1	1	399.285797
1	1	2	545.025113
2	1	3	136.897988
3	1	4	217.800896
4	1	63	214.093242
...	...	...	...
8006	541	90013	47492.765704
8007	542	90013	207.680613
8008	545	90013	370.171951
8009	548	90013	10867.982254
8010	558	90013	21096.633744

```
[40581 rows x 3 columns]
```