

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-
ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Горбачов П.Ф.

СИСТЕМОЛОГІЯ ТРАНСПОРТУ

Конспект лекцій

Харків ХНАДУ

2020

Системологія транспорту: Конспект лекцій для здобувачів рівня доктор філософії 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Викладено основні теоретичні положення системного підходу і системного аналізу транспортних об'єктів. Наводиться порядок прийняття ефективних рішень при розгляді транспортних систем і особливості виконання його етапів. Розглядаються окремі методи моделювання і конкретні моделі, що використовуються для вирішення питань організації перевезень і дорожнього руху

СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Элементы общей теории систем.....	4
1.1. Место понятия системы при исследовании транспортных объектов..	4
1.2 Элементы классификации систем.....	21
1.3 Системный анализ транспортных систем	36
Тема 2. Особенности исследования транспортных систем.....	67
2.1 Порядок исследования транспортных систем	67
2.2 Списки элементов транспортных систем.....	85
Тема 3. Определение структуры внешней среды. Грузовые перевозки. ..	92
Тема 4. Определение структуры внешней среды. Пассажирские перевозки.....	120
Тема 5. Моделирование транспортных сетей.....	143
5.1 Координатный метод моделирования транспортных сетей	144
5.2 Топологические метод моделирования транспортных сетей	150
Тема 6. Показатели системных свойств объектов Ошибка! Закладка не определена.	
6.1 Устойчивость транспортных систем	174
6.2 Надежность транспортных систем	179
Тема 7. Системологія міста, зручного для життя.....	184
Тема 8. Система громадського транспорту як основного засобу задоволення потреб населення міст у пересуваннях.....	189
Литература	210

ТЕМА 1. ЕЛЕМЕНТИ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

У цій темі розглядаються основні аспекти загальної теорії систем (ОТС), які покликані допомогти в освоєнні порядку і методики дослідження транспортних об'єктів з метою вироблення керуючих впливів.

1.1. Місце поняття системи при дослідженні транспортних об'єктів

Передумовою для появи ЗТС стала необхідність пояснення можливості виникнення та існування складних об'єктів, так як раз-працювати до того часу концепції не могли пояснити існування таких складних форм навколишнього світу, як живі організми або соціальні структури. Прикладом таких концепцій може служити механізм, який прирівнював всі форми життя механічного руху або руху енергії.

Тому не дивно, що родоначальником ЗТС став біолог за фахом Л. фон Берталанфі [13], оскільки соціальна наука на початку двадцятого століття тільки зароджувалася, а біологія до цього часу досягла вже досить високого рівня розвитку. Притому саме в сфері її діяльності знаходиться таке важливе явище нашого світу, як поява нового живого організму, нового життя.

Ключовим моментом ЗТС стала формулювання властивості **емергентності** систем. *Воно полягає в появі нових якісних властивостей у групи об'єктів, які пов'язані між собою будь-якими зв'язками.* Наприклад, це може бути здатність виконувати нові функції для штучних об'єктів або забезпечувати можливість існування і розвитку для природних систем.

Цю властивість можна проілюструвати багатьма прикладами, як з області техніки, так і з інших розділів знання. Рух однієї черепахи на обмеженому просторі, наприклад в порожній картонній коробці, виглядає без сумніву випадковим. Але при збільшенні кількості черепах в тому ж просторі, напрямок руху кожної з них вже виглядає досить цілеспрямованим, вся група виглядає як єдиний організм зі своїми правилами існування і цілями, рисунок 1.1.

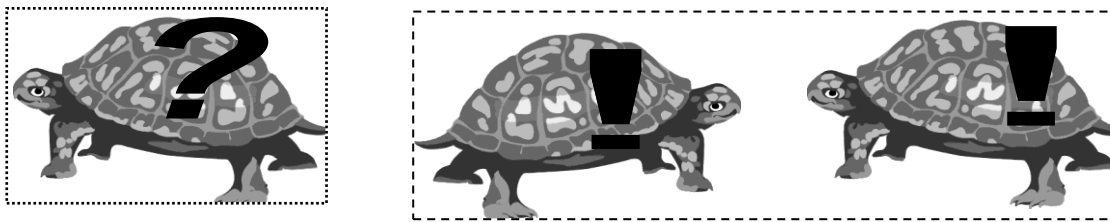


Рисунок 1.1

Так як поведінка однієї черепахи в одних і тих же умовах можна вважати постійними, то зміна її поведінки в групі обумовлено впливом на неї інших черепах. З подібних міркувань сформульовано твердження, що властивості системи визначаються не стільки властивостями елементів, які її складають, скільки характером взаємозв'язку між ними.

Звичайно ж, це твердження є надто суворим, так як і властивості елементів системи багато в чому визначають властивості системи в цілому. Якщо в якості об'єкта вивчення в тому ж експерименті взяти не черепаху, а інша тварина, то зрозуміло, що результати спостережень будуть іншими. По крайній мере, швидкість руху елементів нової системи, швидше за все, буде вище.

Тому в системному дослідженні властивості самих елементів вважаються заданими і постійними, а основний упор робиться на вивченні взаємодії між ними. У розглянутому прикладі це припущення цілком можна визнати коректним. Однак можуть виникати й інші ситуації, коли структура елементів не може вважатися постійною. Вони будуть розглянуті пізніше.

Перейдемо тепер до самого поняття системи. За роки розвитку ЗТС численними авторами було сформульовано дуже велика кількість визначень системи. Але в більшості випадків вони є занадто вузькими, оскільки при складанні, їх автори розглядали відносно обмежений список об'єктів, які, на їхню думку, потрапляють під визначення системи.

Обов'язковими умовами коректності визначення є два со-умови відповідності. Перше відповідність - визначення вірно, якщо не існує об'єктів, що, по суті, повинні підходити під нього, але не підходять. Друге відповідність

- під визначення не повинні потрапляти ті об'єкти, які їй не належать. Обом цим умовам відповідає визначення, яке наводиться в філософському словнику.

Система – сукупність елементів, що знаходяться у взаємозв'язку і взаємини між собою, яка утворює певну єдність, цілісність [25].

З цього визначення можна зробити висновок, що система формується з елементів і зв'язків між ними, і спробувати виділити сферу його дії. Для цього спочатку потрібно знайти приклади об'єктів, які відповідають визначенню системи. Такі приклади можна знайти де завгодно, в тому числі взяти в навчальній аудиторії - приміщення навчальної аудиторії, контингент студентів, стіл, конспект і так далі. Чому це системи? Кожен з цих об'єктів складається з елементів, ці елементи знаходяться у взаємозв'язку між собою, і сам об'єкт легко виділяється з оточення, тобто представляють собою щось ціле.

Складніше знайти приклади об'єктів, які під це визначення не попадають. Такі об'єкти ще можна зустріти хіба що у фізиці, але і там по-просту відкриття частинок дрібніших, ніж кварк, швидше за все, лише в часі.

Таким чином, можна зробити висновок, що під визначення системи потрапляють практично всі об'єкти навколишнього світу.

Це пояснюється ключовим словом визначення системи «**сукупність**». Як тільки об'єкт складається із складових частин - це вже система, так як інші твердження у визначенні виконуються в переважній більшості випадків. Обов'язково існує взаємодія між складовими частинами і об'єкт напевно можна виділити з оточення. Але тоді створюється враження, що в цьому визначенні немає сенсу, так як воно не виділяє якогось класу об'єктів.

Причиною цього є структура цього визначення, яка відрізняється від стандартної структури, яка формується в два етапи: ототожнення і ізоляція. На першому етапі об'єкт, для якого будується визначення, відноситься до якогось класу об'єктів, на другому виділяється з даного класу за допомогою опису його унікальних властивостей. Наприклад, визначення столу: Стіл - предмет домашніх меблів, що представляє собою широку поверхню з дощок (дерев'яних, мар-

мурових і ін.), Укріплених на одній або декількох ніжках і службовець для того, щоб ставити або класти що-небудь на нього [24].

Визначення системи з філософського словника не слід цим правилом, однак сумніватися в його вірності не доводиться. При його складанні авторами не ставилася мета опису приналежності систем до якогось класу об'єктів. У ньому тільки дається загальна характеристика системи, виходячи з її змісту. Аналогічне визначення для автомобіля могло б виглядати приблизно так: це автомобіля - це сукупність двигуна, трансмісії, ходової частини та механізму управління.

Визначення системи [25] виявилось цілком достатньо в рамках ЗТС, але воно не дало ніяких конкретних вказівок до дій при проведенні системних дослідження в прикладній сфері наукової діяльності.

Тому, основне завдання даного матеріалу - віднести поняття системи до конкретного класу об'єктів, щоб на підставі властивостей цього класу визначити цілі і методи системного дослідження транспортних об'єктів.

Спочатку необхідно звернути увагу на одну особливість у визначення системи, а саме на твердження, що система являє визначенню цілісність, тобто, має досить чіткі межі.

У той же час в більшості джерел, присвячених ЗТС, в тому числі і в [25], міститься ще одне твердження:

- для систем характерно нерозривну єдність із зовнішнім середовищем, по відношенню до якої система проявляє свою цілісність.

Однак якщо згадати, що система складається з об'єктів двох класів: елементів і зв'язків, то реалізуватися ця єдність може тільки через взаємодію елементів системи з елементами зовнішнього середовища. А якщо згадати ще й про те, що і всередині системи елементи взаємодіють між собою, то стає не зовсім зрозумілим, в чому ж різниця між елементами системи і зовнішнього середовища? І все ж різниця існує. Будемо вважати, що зовнішнє середовище тільки генерує умови роботи досліджуваної системи і не змінюється під її

впливом, рисунок 1.2.

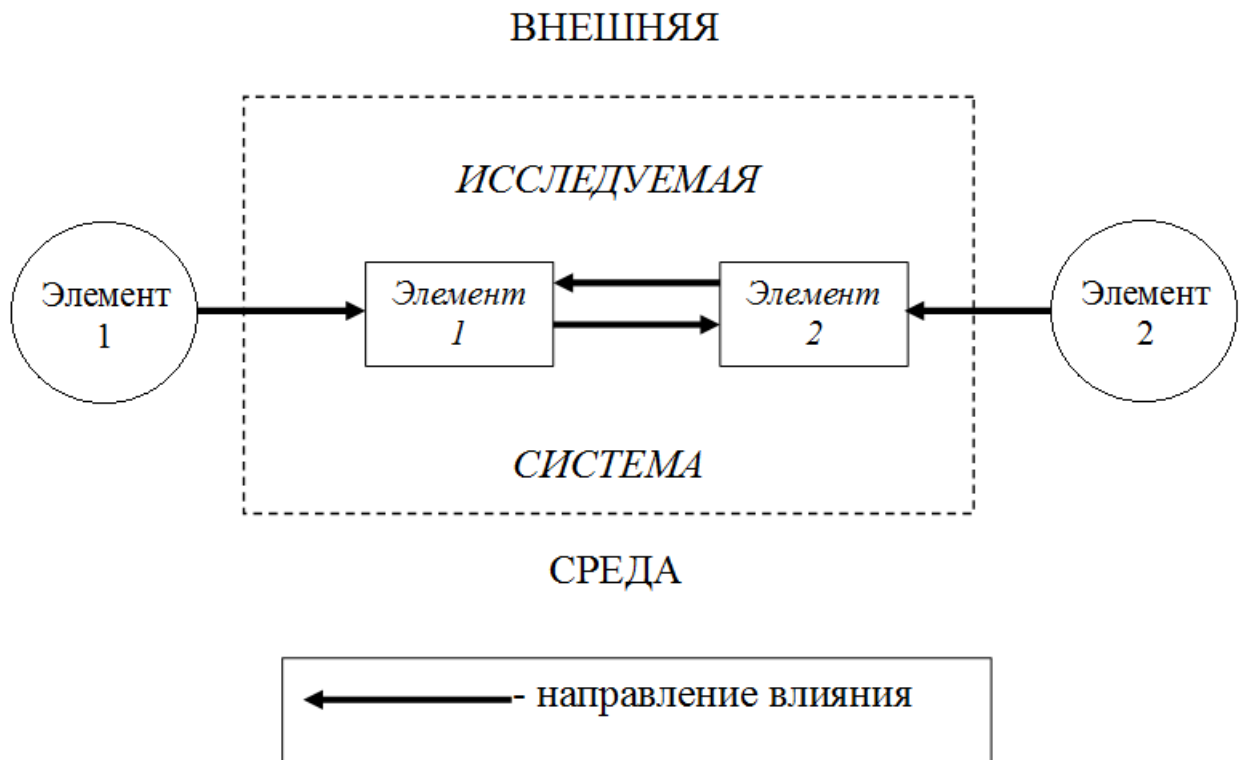


Рисунок 1.2

На сьогоднішній день загальноприйнятим є сформульований американського математиком і метеорологом Едвардом Лоренцом так званий «ефект метелика», що описує чутливу залежність поведінки системи від початкових умов [27]. Своє відкриття він ілюстрував прикладом метелика з Бразилії, помах крила якої викликає ланцюжок складних кліматичних змін і призводить до урагану в Техасі. Якщо розглянути цю ситуацію з точки зору системного обстеження, то безумовним є той факт, що метелик цілком може бути елементом системи, для якої атмосфера і природа в цілому є зовнішнім середовищем, а ось для зворотного затвердження підібрати приклади навряд чи вийде. Беручи до уваги таку високу ступінь взаємозв'язку в природі, правильним буде вважати, що в дійсності елементи системи можуть впливати на елементи зовнішнього середовища. Просто при вивченні систем цим впливом нехтують.

Системам, виходячи з визначення [25], властива ще одна властивість – **ієрархічність**. Згідно з ним *будь-яка система є елементом системи більш ви-*

сокого рівня, також як і кожен елемент системи є в свою чергу системою, яка складається з елементів.

Можна розглянути ієрархію систем на прикладі автомобіля, малюнок 1.3. Кожен автомобіль, як система, складається з вузлів і агрегатів, тобто елементів, які в свою чергу складатися з більш дрібних деталей. У той же час автомобіль є елементом системи більш високого рівня «водій - автомобіль - дорога» (ВАД). Дорога може бути представлена як сукупність двох елементів: транспортного потоку і дорожніх умов.

Розглянутий автомобіль з одного боку схильний до впливу транспортного потоку, а з іншого боку сам є його частиною, тобто формує характеристики потоку. Але ці характеристики формуються і іншими автомобілями, що рухаються в потоці, які можуть не мати ні-якого відношення до даної транспортної системи і, тим не менш, впливають на неї.

Цей приклад, разом з твердженням про нерозривній єдності будь-якої системи з зовнішнім середовищем, також як і ефект метелика, підводить до висновків-нію про те, що в загальному випадку *всі об'єкти навколишнього світу знаходяться у взаємозв'язках між собою.*

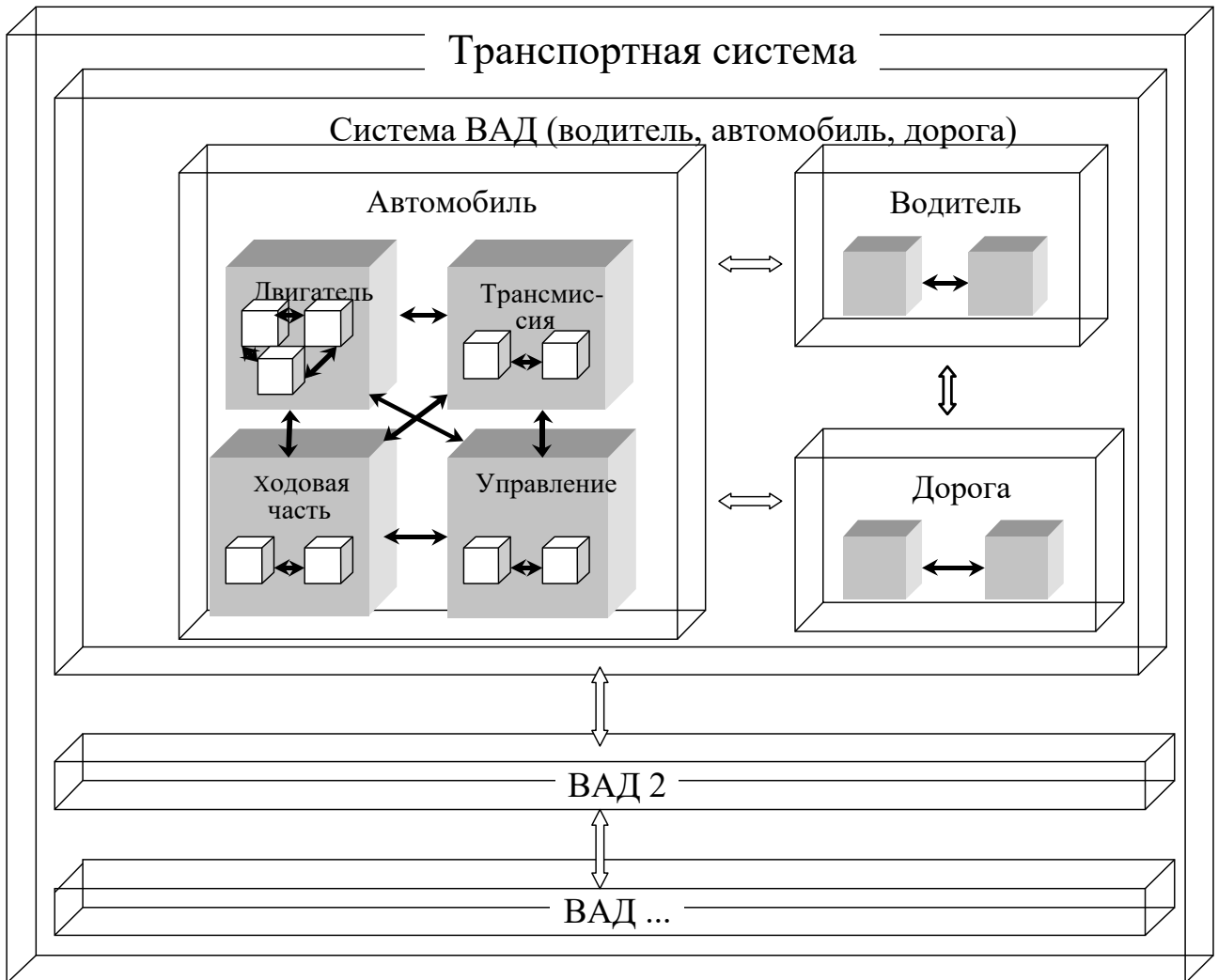


Рисунок 1.3.

Ці зв'язки можуть бути **прямими** (безпосередніми) і **непрямими** (через інші елементи). В окремому випадку сила впливу одного елемента на інший може бути рівною нулю, але знайти таку систему, яка ні надавала б зовсім ніякого впливу на своє оточення навряд чи вдасться.

Тому *при виділенні системи з навколишнього середовища, обов'язково відбувається втрата точності при описі дійсності*, оскільки хоча б одна зв'язок між елементами системи і елементами зовнішнього середовища після виділення системи з навколишнього середовища не розглядається.

Крім того, додаткову неточність в системне уявлення об'єкта дослідження вносить жорстку умову сталості характеристик елементів системи.

Тут необхідно зазначити ще одну особливість систем, яка пояснюється на прикладі об'єктів, які були розглянуті в якості прикладів системи. *Кожен з*

об'єктів, можна представити у вигляді різних сукупностей елементів. Іншими словами в кожному об'єкті можна виділити різні елементи.

Приклади такого виділення наведені на рис. 1.4.

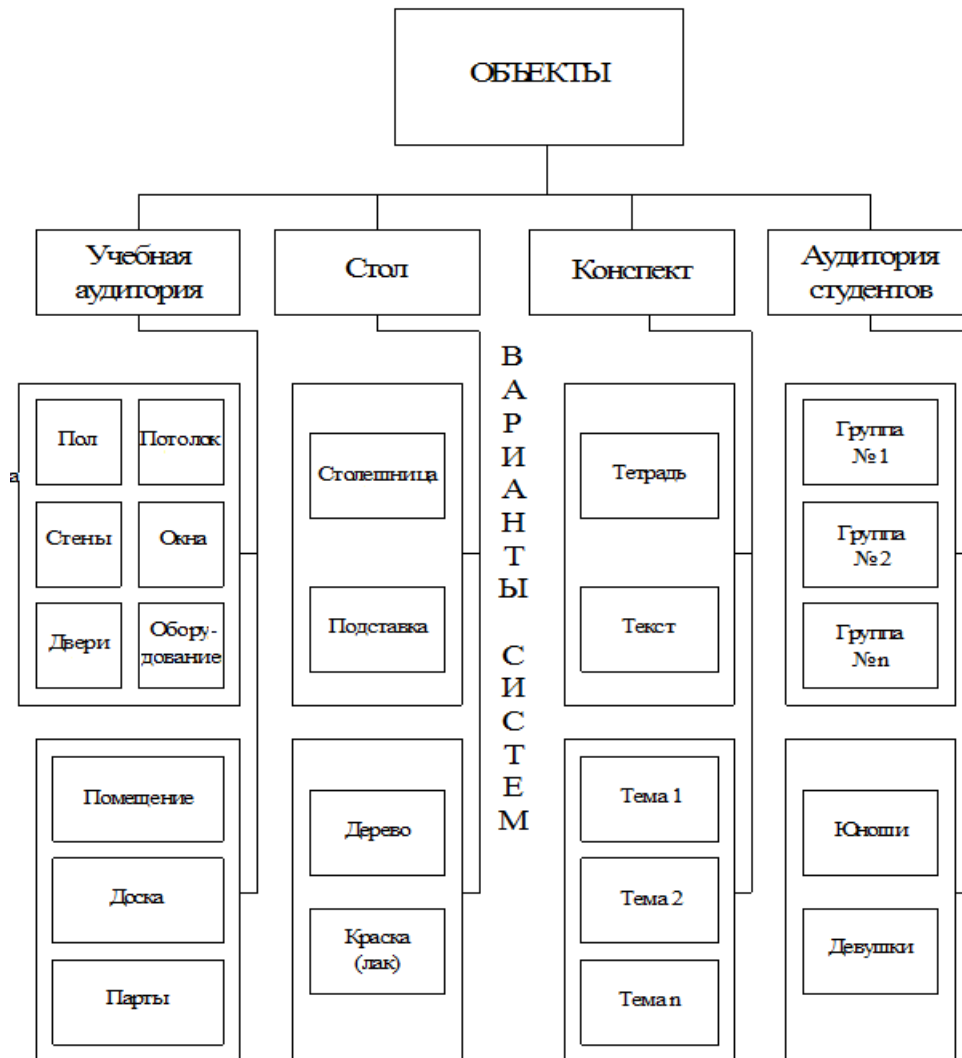


Рисунок 1.4.

Якщо правомірність кожного з варіантів системи на рис.1.4 не викликає сумніву, то можна дійти такого висновку – *одному і тому ж об'єкту може відповідати кілька варіантів його подання до вигляді системи.*

Тепер необхідно ввести поняття моделі, як обов'язкової частини будь-якого дослідження або прийняття рішення.

Під моделлю розуміють *штучний об'єкт, який відображає з певним*

ступенем точності основні властивості досліджуваного об'єкта - оригіналу.

Наведене визначення є узагальненням багатьох визначень моделі, наведених в різній літературі. Ключовими в ньому є слова «штучний» і «відображає». Перше визначає, що модель завжди створюється людиною, друге - вона обов'язково простіше, дешевше, ніж оригінал. Тобто при побудові моделі властивості об'єкта спрощують, але чим ближче модель до оригіналу, тим ефективнішим буде його дослідження.

Природним буде вважати, що кожен об'єкт має величезний, практично нескінченним набором властивостей, яке впливає з практично нічим не обмеженого набору позицій, з яких можна розглядати будь-який об'єкт. Виходячи з цього, кожен об'єкт може бути представлений безліччю моделей, які відрізняються між собою набором його властивостей, включених в модель, описуваних моделлю.

Це властивість можна проілюструвати на прикладі моделей людини - це можуть бути манекен, фотографія, робот, автобіографія, характеристика, комп'ютер і так далі.

Ще слід зупинитися на загальному характері моделювання, як засобі прийняття рішення. Всі вистави, які людина має про навколишній світ, є не що інше, як моделі. З розвитком науки розвиваються і наші уявлення про речі та події навколо нас. Раніше, наприклад, люди не знали про існування електрики або радіохвиль. Тобто уявлення людства про світ були значно вужчими, ніж зараз, хоча закони природи діяли тоді, так само як і зараз.

Кожен предмет або явище має нескінченним числом характеристик, ми ж у своєму житті користуємося тільки тими з них, які необхідні для прийняття рішення, тобто моделями.

Нам не потрібно знати товщину стін будівлі, щоб піти в гості до людей, які в ньому живуть. З усього спектра світлових променів або звукових хвиль в звичайному житті ми використовуємо тільки невелику частину. Цього просто достатньо. У той же час інші живі організми мають інше уявлення про тих же

предметах або явищах. Собаки не розрізняють кольорів, кажани користуються для орієнтації тільки ультразвуком. Тоді виходить, що всі наші спостереження або враження є не що інше, як моделі оточуючих нас предметів і явищ. І коли ми приймаємо зважене, свідоме рішення, засноване на аналізі його можливих результатів, ми завжди користуємося тільки частиною властивостей об'єкта, щодо якого проводяться міркування. В іншому випадку, тобто якщо б хтось спробував врахувати всі властивості об'єкта, ніяке рішення щодо нього ніколи б не було прийнято, виходячи з практично нескінченного списку властивостей об'єкта.

Тепер необхідно знову згадати про дві особливості, які були виділені при розгляді визначення системи:

- *виділення системи із зовнішнього середовища завжди призводить до втрати об'єктивним тивно існуючих властивостей об'єктів дослідження;*
- *кожен з об'єктів може бути представлений декількома варіантами системи.*

Ці особливості повністю збігаються з властивостями моделей, визнається другим ключовим словом, їх визначають. І, природно, все сі-стеми в дослідженнях реальних об'єктів, або при прийнятті рішень щодо них, завжди є штучними об'єктами.

Щодо останнього твердження у читача можуть виникнути со-думки, зумовлені широким використанням слова система при простому згадуванні реальних об'єктів, наприклад - транспортна система, екосистема, виробнича і якась ще система, під якою розуміється конкретний фрагмент навколишнього світу. Але, з урахуванням багатозначності більшості слів у будь-якій мові, ніякого протиріччя немає. Такі назви реальних об'єктів - просто ще одне значення слова система, що відноситься до його використання в сферах людської діяльності, що не відносяться до прикладних досліджень транспортних систем.

З урахуванням такого обмеження, можна дійти такого висновку: *в прикладних дослідженнях поняття **система** використовується як різновид моделі*

або специфічний спосіб моделювання.

Відмінності між поняттями моделі і системи обумовлені тим, що модель є більш загальним поняттям, ніж система - одна з різновидів моделей.

Виходячи з приналежності поняття системи до класу моделей, необхідно зробити наступний висновок: *в прикладних системних дослідженнях обов'язково має бути присутня процедура подання об'єкта дослідження у вигляді системи*, тобто власне процес системного моделювання, який включає в себе два етапи.

1. *Виділення об'єкта з навколишнього середовища, тобто проведення кордонів системи.*
2. *Формування списку елементів системи і визначення взаємодій між ними.*

Проведення кордонів системи в багатьох випадках є складним і творчий процес, мета якого збігається з метою досліджень-ня. Межі системи не слід розуміти виключно як фізичні або географічні. При дослідженні транспортних систем, вони частіше носять характер економічних або технологічних.

Етап проведення кордонів системи, за своїм змістом, є виділення двох класів об'єктів: *елементів системи, які є керованими в процесі дослідження і елементів зовнішнього середовища, які задають умови функціонування системи і є некерованими з точки зору дослідника.*

Після закінчення першого етапу вважається, що елементи зовнішнього середовища впливають на систему, елементи системи на зовнішнє середовище не впливають. Елементи системи можуть змінювати свої характеристики як самостійно, так і під впливом інших елементів системи. При цьому процес визначення складу системи, тобто списку елементів її складових, зазвичай виконується паралельно з першим етапом виділення системи. А ось опис взаємодій між елементами системи - окрема робота, яка є найважливішим і найскладнішим етапом системного моделювання.

Інструментом моделювання зв'язків між елементами транспортних систем завжди є математичні моделі. Найкращим варіантом моделювання при

цьому є аналітичний опис межелементних взаємодій. Створення нової та достовірної аналітичної моделі, по суті, означає відкриття нового наукового закону, який може бути і не носить загального характеру, як наприклад закони Ньютона, але дає нові знання про навколишній світ, точніше про його фрагменті, обраному в якості об'єкта дослідження.

Однак, створення аналітичних моделей взаємозв'язків між елементами можливо далеко не завжди. Причинами цього є або складний характер зв'язків між елементами, для якого ще не знайдений відповідний математичний апарат або занадто велика кількість процесів в описуваному взаємодії.

Яскравим прикладом відсутності на сьогоднішній день по першій причині потрібної всім аналітичної моделі, є залежність середнього часу затримки транспортних засобів на регульованому перехресті. Про таку зави-ності спочатку Вордропом [26] було висловлено авторитетну думку про складність цієї проблеми, а дещо пізніше, в 1958 році Вебстером [27] була отримана емпірична модель, якої до сих пір користуються вчені всього світу. При цьому не можна сказати, що цією проблемою мало хто займався, так як кількість джерел, присвячених пошуку кращої моделі затримки, вимірюється в сотнях, і вони продовжують з'являтися і зараз досить часто, хоча рішення до сих пір ніхто не почув. Така увага до взаємодії транспортних потоків і світлофорів, обумовлено високою актуальністю цієї взаємодії в системах організації дорожнього руху безпосередньо на регульованих перехрестях з жорстким циклом. Додаткову актуальність цього питання також обумовлюється ще й тим, що успішне вирішення цього питання створить нову і надійну основу для ефективного Координованого і адаптивного управління транспортними потоками в умовах щільного руху.

Подібних прикладів у сфері транспортних систем можна знайти чимало. Але ще частіше тут зустрічаються ситуації, коли аналітичну модель взаємодій між елементами системи неможливо створити через занадто великої кількості факторів, що визначають поведінку окремого елемента або системи в цілому.

При цьому необхідно розуміти, що будь-яка аналітична модель описує процеси, що відбуваються в строго певних умовах, і узгодити ці умови для великої кількості взаємодій також вельми складно.

Мета створення системної моделі пояснюється в подальшому матеріалі, а тут слід зазначити тільки те, що опис взаємодії між елементами, в кінцевому рахунку, спрямоване на одержання моделі системи в цілому. Моделі поведінки окремих елементів є лише фрагментами загальносистемної моделі, тому під описом взаємодії елементів системи слід розуміти саме створення моделі системи в цілому, якщо інше не обумовлюється окремо.

З урахуванням зробленого зауваження, ситуація із занадто великим, для аналітичного моделювання, кількістю чинників, що визначають поведінку системи, пояснюється наступним чином. У системному дослідженні всі впливи на систему надають або елементи системи, які елементи зовнішнього середовища. Інші джерела впливу механізмами системного дослідження не передбачаються. Зовнішні впливи найчастіше реалізуються через вплив на обмежену кількість елементів системи, найчастіше - на один елемент. Тобто кількість елементів зовнішнього середовища, виділене в системному дослідженні, породжує відповідну кількість взаємодій в приблизною лінійної пропорції. І зазвичай це не дуже велика кількість впливів, тим більше, що багато хто з них описуються просто параметрами, тобто константами.

Інша ситуація виникає при моделюванні взаємодій між елементами системи. Так як кожен з них потенційно може взаємодіє створювати з усіма іншими елементами, то максимальна кількість взаємо-модействие тут пропорційно квадрату кількості елементів системи. Це призводить до дуже швидкого ускладнення аналітичних моделей, описуючих взаємодії між елементами, так що, врешті-решт, це призводить до втрати їх понятійного змісту. Тобто модель настільки складна, що не може допомогти в поясненні процесів, що відбуваються в системі.

Звичайно, в цьому випадку, ще залишається можливість алгоритмічної

реалізації аналітичної моделі, завдяки якій можна не розбираючись в деталях внутрішніх процесах в системі отримувати прогностні результати роботи системи при зміні входів в модель. Однак такі моделі складно перевірити на достовірність, та й збільшення кількості входів в модель, не завжди можливо реалізувати, в тому числі і тому, що для цього буде потрібно розширити список елементів системи. Більш детально цей випадок обговорюється пізніше, але згадавши про існування ефекту метелика можна зробити висновок, що сумарна кількість впливів на систему і взаємодій в ній може бути настільки велике, що не піддається не тільки аналітичному опису, але повному обліку через список її елементів і елементів зовнішнього середовища.

У цьому випадку від аналітичного моделювання варто відмовитися і намагатися встановити статистичний зв'язок між входами в систему або її елемент і виходами з неї. Тобто замість аналітичного моделювання («прозорого ящика») використовувати статистичну модель «чорного ящика». Математична статистика надає для цього великий інструментарій аналізу зв'язків між процесами і побудови статистичних моделей. Для моделювання взаємодій між елементами в найбільшою мірою підходить регресійний аналіз, який на основі відомої статистики, дозволяє встановити найкращу форму зв'язку між залежним ознакою (результатом) і незалежними ознаками (параметрами елементів в системному дослідженні). Статистика є ряд спостережень, який відображає вже відбулося взаємодія між потрібним досліднику результатом функціонування системи (або окремого її елемента) і параметрами функціонування обраних дослідником елементів системи і зовнішнього середовища.

Форма лінійного зв'язку, тобто значення коефіцієнтів, розраховуються за допомогою системи «нормальних рівнянь», яка мінімізує квадратичну помилку моделі. Обмеження за формою зв'язку можна обійти за допомогою математичних перетворень вихідного ряду значень і такий приклад буде обговорюватися нижче. Отримана в спеціалізованому програмному забезпеченні модель зазвичай супроводжується цілим набором характеристик, що дозволяють зробити

висновок про її застосування для прогнозування поведінки досліджуваного об'єкта.

Тут можливі дві ситуації. У першій ситуації отримана модель визнається достатньою для подальшого використання, в другій - ні. Перша ситуація виникає, коли на шуканий результат значне (і достатня для цілей дослідження) впливає обмежений набір елементів, який формує систему та її оточення. При її настанні вважається, що бажаний результат моделювання досягнутий, і шукана модель взаємодії між елементами системи побудована. Якщо це була модель всієї системи в цілому, то результат системного дослідження можна вважати досягнутим, але з дуже серйозними застереженнями. Так як внутрішня структура взаємодій залишилася не розкритою, надійність такої моделі не дуже висока, та й її поведінку можна прогнозувати тільки в обмеженому інтервалі можливих значень.

Такий же набір значущих чинників може існувати і в другій ситуації, а негативні результати моделювання обумовлена тим, що якась їх частина не потрапила в список елементів системи або зовнішнього середовища. Тоді необхідно продовжити пошук такої структури системи, яка більш точно описує досліджуваний об'єкт. Але найчастіше друга ситуація буває обумовлена тим, що на шуканий результат впливає велика кількість малозначущих факторів, з безлічі яких можна виділити потрібний набір найбільш впливових елементів і створити відносно просту статистичну модель.

Тоді як інструмент моделювання залишається використовувати інші способи побудови моделей, до числа яких відносяться імітаційне моделювання (метод Монте Карло), а також нейронні мережі, за допомогою яких можна апроксимувати безперервні і обмежені функції [28].

Нейронні мережі є дуже перспективним інструментом опису складних, але постійно повторюються, для яких не знайдено аналітичного опису, а регресійний аналіз через свою лінійної основи виявився не досить гнучким для того, щоб описати складні зв'язки всередині досліджуваного об'єкта. Такі ситу-

ації зазвичай виникають з природними об'єктами (напр. Фізичними, хімічними, механічними і т.д.). У транспортних системах, що мають соціальний характер, такі ситуації можна зустріти скоріше як виняток, а основні проблеми тут зазвичай полягають не в складності взаємодій, а в їх кількості.

Тому значно частіше в сфері транспортних систем отримало імітаційне моделювання. Свої переваги імітаційні моделі отримують завдяки можливості згортки багатьох випадкових процесів в одну випадкову величину, для якої можна підібрати закон розподілу, що вичерпно її характеризує. Ці випадкові величини стають входами в імітаційну модель, які приймають в кожному розрахунку (прогоні моделі) випадкові значення відповідно до свого законом розподілу.

Такий спосіб моделювання призводить до істотного скорочення кількості взаємодій всередині системи і впливів на неї. Залишаються тільки найосновніші взаємодії, які моделюються описаними вище способами, з перевагою на користь аналітичного моделювання перед статистичними.

Платою за такі спрощення є випадковий характер результатів, що вимагає подальшої їх обробки за допомогою математичної статистики для формулювання висновків. Імітаційне моделювання отримало досить широке застосування в практиці управління транспортними системами, в першу чергу системами організації дорожнього руху та логістичних системах.

Вибір найкращого методу моделювання завжди залишається за дослідником, який повинен керуватися не тільки властивостями об'єкта, що моделюється, а в першу чергу - цілями дослідження.

Метою дослідження є пошук найбільш ефективного варіанту управління об'єктом, з точки зору певної частини його користувачів. Для цього необхідно розглянути альтернативні варіанти стану системи і вибрати той з них, який забезпечує максимум показника, прийнятого в якості критерію ефективності.

Як приклад можна розглянути автобусний маршрут. Нехай кордону системи проведені так, що в якості її елементів виступає тільки задана марка ру-

хомого складу (РС). Як елементи зовнішнього середовища можуть служити траса маршруту, метод складання розкладу руху, потреби пасажирів у поїзді, елементи організації руху на маршрутах і так далі. Тоді кількість можливих варіантів стану системи буде визначатися набором можливих значень кількості автобусів. Мінімальна кількість автобусів на маршруті дорівнює одиниці, максимальне визначається можливостями автотранспортного підприємства (АТП). Нехай це число A_1 дорівнює десяти. Тоді кількість можливих варіантів стану системи N_C :

$$N_C = A_1 = 10. \quad (1.1)$$

Тут передбачалося, що можливе використання тільки однієї марки РС. Якщо існує можливість використання двох марок автобусів, з наданням переваги першій марці, причому $\epsilon A_2 = 5$ одиницям, то в найпростішому випадку загальна кількість можливих варіантів стану системи:

$$N_C = A_1 + A_2 = 10 + 5 = 15. \quad (1.2)$$

Природно, що чим вище число N_C , тобто більше кількість альтернатив, тим вище ймовірність отримання більш ефективного результату.

Для елементів зовнішнього середовища буде розглянуто лише один варіант їх стану. У найпростішому випадку цей варіант означає сталість характеристик зовнішнього середовища. Але цілком можливі випадки, коли її характеристики задаються не як постійні величини.

Включення ще одного активного, здатного змінювати свої параметри, елемента в систему призведе до появи додаткових варіантів стану системи. Тоді виходить, що чим більше елементів включається в систему, тим більше варіантів її стану може бути розглянуто і тим вище ймовірність отримання більш ефективного вирішення. Знову виникає питання, а де потрібно зупини-

тися, тобто обмежити модель досліджуваного об'єкта. Якщо не провести кордон, кількість можливих варіантів стану системи буде також нескінченно і рішення не буде знайдено.

Варіант виділення системи із зовнішнього середовища і елементів усередині системи визначається цілями дослідження. Якщо поставлена інша задача, тобто, сформований інший критерій ефективності і обрані інші важелі управління, то можливий і інший набір елементів системи.

Наприклад, для мінімізації часу пересування пасажирів на маршрутному транспорті може використовуватися метод оптимізації довжини перегонів між пунктами зупинок маршрутів, в цьому випадку елементами системи виступатимуть зупинкові пункти, а кількість можливих станів системи буде визначатися набором варіантів розташування зупинок. З тією ж метою може використовуватися метод маршрутизації - пошук оптимального варіанту поєднання трас і провізних можливостей маршрутів. В цьому випадку елементами системи виступають вже маршрути, а пункти зупинки, швидше за все, будуть виступати в якості елементів зовнішнього середовища для маршрутної системи.

В даному підрозділі були розглянуті основні положення, що стосуються використання системного підходу до дослідження різних об'єктів і наступним етапом є вивчення особливостей транспортних об'єктів з точки зору ЗТС.

1.2 Елементи класифікації систем.

Метою класифікації є виділення різних типів об'єктів, для визначення спільних рис, що характеризують кожен з виділених типів.

Класифікація потрібна для визначення можливостей, особливостей та інших характерних рис кожного виділеного типу.

Якщо класифікація автомобілів, зокрема, передбачає поділ автомобілів на бортові і самоскиди, це означає, що кожен з цих типів автомобілів призначений для перевезення відповідних видів вантажів.

Для того щоб встановити мету класифікації різних систем, вна-чале

необхідно розглянути визначення та цілі системного підходу.

Системний підхід *полягає в розробці методів дослідження і конструювання складних об'єктів - систем різних класів і типів.*

Невелике нагадування. Вище було визначено належність поняття системи в прикладних дослідженнях до моделей. Однак термін «система, яка описує транспортний об'єкт» не використовується. Вживається набагато простіший варіант «транспортна система» у відповідність із значенням цього слова в прикладних дослідженнях, введеному в попередньому розділі. Тут і надалі також буде використовуватися ця термінологія. При цьому потрібно пам'ятати про те, що в прикладних дослідженнях системи є способом моделювання.

Слід зазначити істотну спільність понять «прикладне дослідження» і «управління». Метою більшості прикладних досліджень в сфері транспорту є вироблення управляючих впливів, спрямованих на досягнення бажаного стану об'єкта. Ті ж завдання вирішуються в управлінській діяльності. Різниця полягає у використуваному для прийняття рішень інструментарії і, можливо, в колі вирішуваних завдань. Тому тут і далі всі, що відноситься до дослідження, в більшості випадків може бути віднесено і до процесу управління.

Завдання системного підходу:

1. *Розробка засобів і методів представлення складних об'єктів у вигляді систем різних класів і типів.*
2. *Побудова загальних моделей систем.*
3. *Дослідження структури теорії систем і різних системних розробок і концепцій.*

Так як першим завданням системного підходу є розробка методів і засобів представлення складних об'єктів як систем, і це завжди робиться для цілей їх подальшого дослідження, то і **метою класифікації систем** *служить виділення особливостей різних типів об'єктів з точки зору методів дослідження, застосовуваних до них.*

Завдання полягає у виділенні тих типів систем, до яких відносяться

транспортні системи, щоб визначитися з найбільш придатними методами їх дослідження. Структурна схема укрупненої класифікації систем наведена на рис. 1.5.

Найбільша загальна класифікація виділяє два типи систем:

- **реальні;**
- **абстрактні.**

Їх особливості будуть розглянуті на прикладі транспортних систем.

Реальні транспортні системи (РТС) – це відносно обмежені економіко-технологічні об'єкти, які виконують певні транспортні функції.

Наприклад: залізничний, водний, повітряний, міський транспорт, транспортне підприємство, приміський маршрут і т.д.

При їх виділенні найчастіше використовуються чотири основні ознаки:

- *територіальний;*
- *організаційний;*
- *по об'єкту перевезень;*
- *по виду транспорту.*

З усіх ознак тільки організаційний може зажадати додаткового пояснення. Ця ознака дозволяє виділяти системи в залежності від їх приналежності до того або іншої юридичної або фізичної особи. При дослідженні транспортних об'єктів організаційна ознака часто використовується для виділення транспортних систем. Наприклад, автотранспортне підприємство з великою вірогідністю може вважатися вже виділеною системою. Однак, незважаючи на гадану очевидність такого рішення, в наукових дослідженнях воно далеко не завжди приводить до бажаних результатів - отримання максимально ефективного вирішення завдання.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

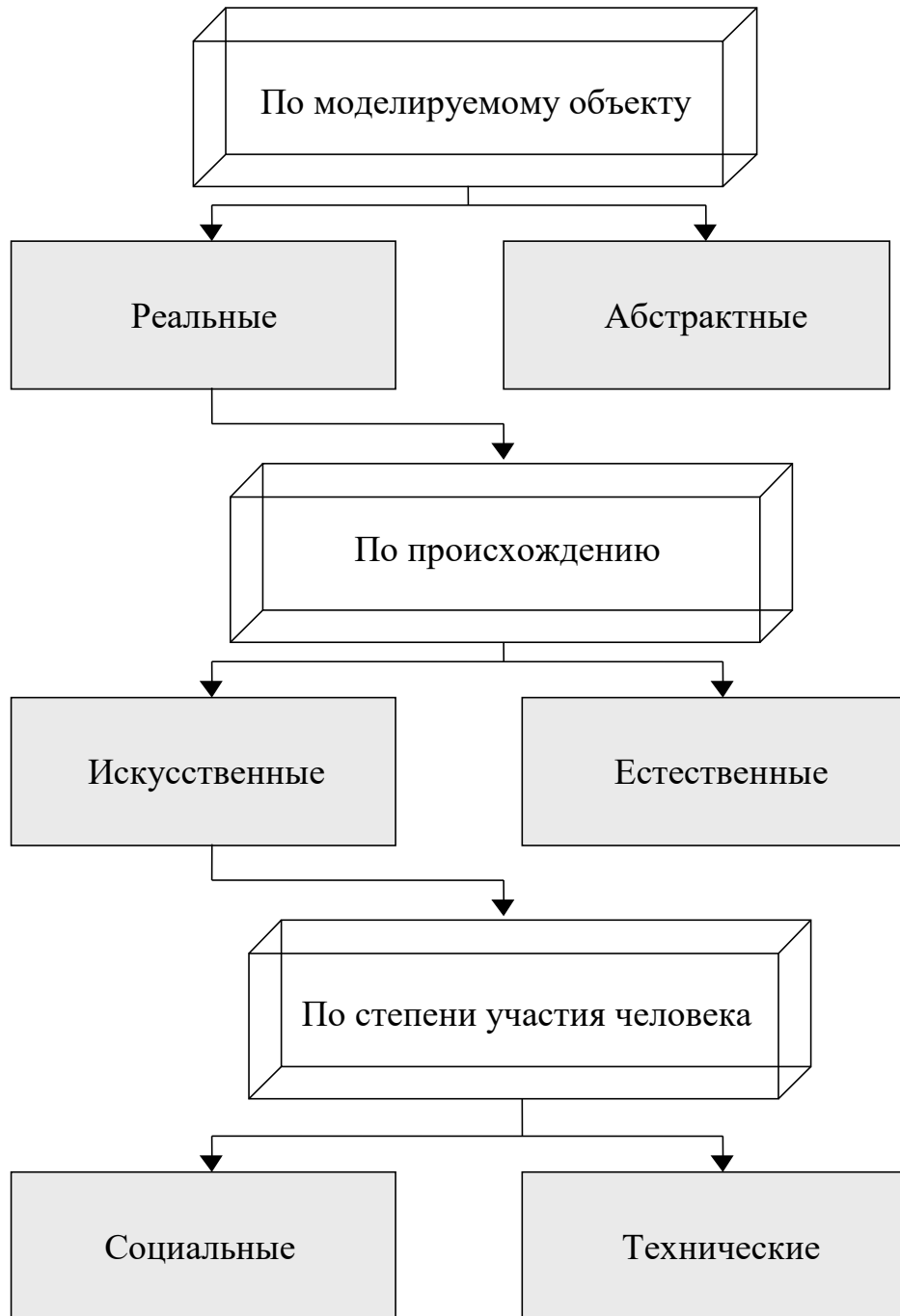


Рисунок 1.5

До РТС також відносяться **системи організації дорожнього руху**. Тут в основному використовуються ті ж ознаки виділення, за винятком об'єкта перевезень.

Типовими завданнями, які можуть вирішувати фахівці з організації дорожнього руху, є такі як «*Удосконалення організації дорожнього руху в ... районі міста (області)*» і так далі. Мають на увазі системи організації руху автомобільного транспорту.

Якщо розглядаються системи організації руху одного виду транспорту, то використовується тільки територіальна ознака виділення. Вирішення питання про спосіб організації роботи залізничного переїзду не відноситься до одного виду транспорту, проте, і тут також використовується тільки територіальна ознака виділення. Тобто при виборі об'єкта дослідження найчастіше спочатку виділяються види транспорту (один або кілька), що відносяться до об'єкта дослідження, а потім проводяться територіальні межі системи організації дорожнього руху.

Аналогічні процедури використовуються при виділенні реальних транспортних систем для об'єктів, що здійснюють перевезення вантажів або пасажирів. Для них системи організації руху, найчастіше, є зовнішнім середовищем. А сам процес виділення полягає у виборі об'єкта перевезень, виду транспорту і географічних кордонів. Будь-який з цих ознак може бути відсутнім в процесі, і порядок їх перебору може бути вільним.

Виділяються кілька типів завдань в сфері організації перевезень, ко-торие відрізняються один від одного підходами до їх постановки та вирішення.

Досить часто вирішуються завдання організації перевезень в рамках одного транспортного підприємства, коли у нього є замовлення на виконання певної транспортної роботи. У цьому випадку вже є обмежений за організаційною ознакою набір транспортних засобів. Тому основною ознакою виділення систем для таких завдань є *об'єкт перевезень*.

При вирішенні питань раціональної доставки різних вантажів допускається використання іншого підходу, в тому випадку, коли розглядаються всі можливі варіанти перевезення, а конкретні виконавці транспортної роботи визначаються за результатами дослідження. Тоді повинні використовуватися

територіальні межі і виділення по виду транспорту.

При вирішенні транспортних проблем різних територіальних об'єктів, наприклад міст або районів, вже є достатньо чітко визначені межі об'єкта дослідження. Але тут можлива подальша структуризація об'єкта дослідження за рештою трьох ознаками.

При організації міжнародних перевезень такі певні межі найчастіше відсутні, так як основною відмінною ознакою таких об'єктів є необхідність перетину кордонів і територій різних держав, що обумовлює наявність досить жорсткої системи обмежень при вирішенні управлінських завдань. Тому в даному випадку можуть використовуватися всі можливі ознаки без обмежень.

Так само необхідно відзначити, що використання цих ознак засноване на досить грубих допущеннях про досить високого ступеня ізоляції транспортних об'єктів, які представляються у вигляді систем. Тому при вирішенні прикладних наукових завдань використовувати їх потрібно дуже обережно, оскільки в багатьох випадках вони обмежують інструментарій, який можна використовувати при виборі важелів управління об'єктом.

Абстрактні транспортні системи – деякий єдність форм і властивостей реальних транспортних систем, притаманних усім таким системам незалежно від їх конкретних особливостей.

Чим абстрактні системи відрізняються від реальних?

Реальні - описують реально існуючі об'єкти.

Абстрактні - описують абстрактні об'єкти, які є моделями реальних систем.

Ці моделі розробляються для визначення найбільш загальних закономірностей розвитку окремих видів транспортних об'єктів. Вони містять тільки ті елементи, які є у всіх об'єктах даного типу і відображають лише загальні для всіх об'єктів взаємозв'язку між ними. Тобто для того, щоб створити абстрактну ТЗ, спочатку необхідно виділити якусь групу транспортних об'єктів, потім потрібно визначити, які елементи і зв'язки між ними можуть вважатися загальни-

ми для всіх об'єктів з даної групи (даного типу). Після цього складається модель виділених об'єктів, яка містить тільки ці загальні риси.

Наприклад, абстрактна модель міського маршруту може складатися з зупиночних пунктів і рухомого складу, які не мають конкретних характеристик. Ці характеристики належать конкретним автобусним, тролейбусним або трамвайним маршрутам і для абстрактної ТЗ не потрібні. Але ці два елементи можуть становити абстрактну транспортну систему міського маршруту, за допомогою якої досліджуються різні аспекти роботи маршрутів. Відсутність конкретних характеристик призводить до того, що на її основі можна виробити конкретні рекомендації для одного об'єкта, але таке вивчення дозволяє встановити взаємозв'язок між компонентами і на цій основі виробити загальні рекомендації. Можливе створення і більш загальних абстрактних ТС.

Прикладами абстрактних систем в загальному сенсі є також гіпотези, теорії, наукові знання і так далі.

Абстрактні ТС використовуються виключно в науковій роботі і з науковими цілями - для отримання нових знань про об'єкти дослідження. Їх завдання не генерація безпосередньо керуючих впливів, як в інженерній діяльності, а розробка методів прийняття таких рішень. Тому отриманого уявлення про них цілком достатньо і в подальшому будуть розглядатися тільки реальні транспортні системи.

До теперішнього часу накопичилося вже достатньо велика кількість різноманітних класифікаційних ознак для реальних транспортних систем. Тут розглядаються тільки деякі з них, починаючи з найзагальніших.

За походженням реальні системи діляться на:

- *штучні;*
- *природні.*

Природні системи – це об'єкти, які виникають внаслідок природних процесів, **штучні** – створені людиною об'єкти.

Транспортні системи в основному відносяться до штучних, а це значить,

що для них можна визначити мету існування або розвитку.

Мета – це передбачення у свідомості результату, на досягнення якого спрямовані дії.

Можна вважати, що між цілями і діями існує пряме со-відповід. Кожна дія має свою мету. Якщо хтось не вміє пояснити, чому він зробив той чи інший вчинок, швидше за все це означає невміння сформулювати свої думки і почуття, а не відсутність мети. Можливо, це твердження занадто суворе і допустимо існування прикладів безцільного поведінки. В особливій мірі це відноситься до випадків, коли дії вчиняються під впливом почуттів, а не думок. Але такі вчинки найчастіше відносяться не до соціальних об'єктів, а до окремих індивідумів, що знаходяться в умовах дефіциту часу для прийняття зваженого рішення. Тому до питань вироблення управляючих впливів на транспортні системи це має мало відношення і тут варто виходити з наявності мети у об'єкта управління. Тому визначення мети їх існування і розвитку є тільки питанням знань, умінь і техніки їх використання.

Всі штучні системи і транспортні, в тому числі, відносяться до цілеспрямованим системам.

Цілеспрямовані системи – об'єкти, поведінка яких підпорядковане досягненню визначеної мети.

Необхідно відзначити, що поняття мети є суб'єктивним, тобто, залежить від суб'єкта, в свідомості якого вона формується.

Можна пояснити це на прикладі того ж міського маршруту. Для водія (кондуктора) метою роботи маршруту є отримання доходів, при мінімумі зусиль з його боку. Для пасажира мета роботи маршруту - задоволення потреб в пересуваннях з мінімальними витратами. Об'єкт один, а цілі різні.

І ще одна особливість штучних систем полегшує їх дослідження. Так як вони є результатом діяльності людини, дослідник потенційно має більшу свободу в прийнятті рішень або виборі станів системи. Це не означає, що не потрібно оцінювати вплив прийнятих рішень на навколишнє середовище. Але в

дослідженні ці питання будуть займати вже інше місце - при формуванні системи обмежень.

Серед штучних систем, в свою чергу також можна виділити два класи, в залежності від ступеня участі людини в їх діяльності:

- *технічні;*
- *соціальні.*

Прикладом технічної системи може служити автомобіль, будівля, авто-ручка, молоток і так далі.

Основна різниця між технічними і соціальними системами лежить в ступеня взаємозв'язку об'єктів з їхнім оточенням. Для технічних систем характерним є наявність досить чітких меж між уявними у вигляді систем об'єктами і навколишнім середовищем. Ще однією відмінністю є наявність групового або індивідуального свідомості у деяких елементів соціальних систем, який зумовлює їх активність і ускладнює процес системного моделювання, в якому параметри елементів вважаються заданими і постійними.

Завдяки чіткості кордонів, властивості технічних системи практично повністю визначаються властивостями елементів, з яких вона складається. По-цьому нехтування взаємодією системи з навколишнім середовищем тут не є великою проблемою. При роботі з технічною системою, перш за все, визначаються мета її створення і умови, в яких вона буде функціонувати. Ці умови, тобто зовнішнє середовище, описуються за допомогою обмежень, в якій створюється або вдосконалюється сам об'єкт.

Якщо продовжити приклад з автомобілем, то кожен з типів автомобілів призначений тільки для певних умов експлуатації. Легкові автомобілі, що потрапляють в Україну з-за кордону через офіційних дилерів, в основному відрізняються від стандартного виконання в країнах походження. Чому? Тому що для них змінюються умови експлуатації.

При роботі з технічною системою, впливом об'єкта на навколишнє середовище або нехтують або воно враховується простими обмеженнями на показ-

ники його функціонування.

Транспортні системи відносяться до соціальних систем.

Соціальні системи є найбільш складними об'єктами. *Характерною рисою для них є активна участь людини (суспільства).* Це участь і визначає все відмітні ознаки системи. Перехід від технічних, до соціальних систем досить простий: автомобіль без водія - технічна система, з водієм - соціальна. Чим більше людей бере участь в системі, тим більшою складністю вона володіє.

На відміну від технічних систем, у соціальних немає чітко визначених меж, при яких ступінь взаємодії елементів системи між собою набагато сильніше, ніж взаємодія елементів системи з зовнішнім середовищем.

Відсутність чітких меж визначається високим ступенем залежності активного елементу системи - людини, від безлічі зовнішніх факторів. Тому навіть з однією людиною, як активний елемент, система може вважатися соціальною. Характеристики системи багато в чому залежать від поведінки людей в них, а це поведінка в свою чергу залежить від їх стану, настрою, які залежать від інших людей, організацій, погоди і так далі. Разом з великою кількістю людей в соціальних системах все це, в кінцевому рахунку, призводить до того, що провести чіткі межі для такої системи буває досить складно.

Тому при розгляді проблем транспортних об'єктів кожного разу доводиться вирішувати питання:

- *які елементи включати в систему?*
- *як описати взаємодію елементів системи з елементами зовнішнього середовища, щоб похибки такого опису об'єкта були мінімальні?*

Соціальний характер транспортних систем зумовлює також той факт, що більшість з них відноситься до **кібернетичним системам**, для яких характерні процеси переробки інформації.

Кібернетика – *наука про загальні риси процесів і систем управління різних об'єктів.*

Властивості кібернетичних систем обов'язково повинні враховуватися в

процесі дослідження або керування транспортними об'єктами. Для цього нижче наводиться список шести загальних властивостей кібернетичних систем, серед яких виділено три ключових, для транспортних систем, властивості, що вимагають обліку при дослідженні та реалізації керуючих впливів. Розбіжності у ставленні до тих чи інших властивостей кібернетичних систем викликані тим, що частина з них можна знайти у досить широкого списку систем, в тому числі у природних або технічних.

Властивості кібернетичних систем:

1. *Цілісність* (чіткі межі систем).

Ця властивість характерна для дуже багатьох систем, в тому числі і не відносяться до кібернетичним. Якраз у багатьох кібернетичних систем, з числа соціальних, можуть виникнути серйозні проблеми з визначенням кордонів. У багатьох випадках такі соціально-кібернетичні системи мають чіткі межі тільки за організаційною ознакою.

2. *Структурність* (складаються з великої кількості підсистем).

Так як кожна система являє собою сукупність елементів, а елементи в свою чергу можуть бути системами, то велика кількість під-систем визначається не стільки властивостями самої системи, скільки способом або глибиною її подання. Отже, дане властивість не може розглядатися як ключове.

3. *Складна структура зв'язків між елементами.*

Саме по собі поняття складності нелегко сформулювати. Один з варіантів визначення: **складна система** – це система, при дослідженні яких не вистачає інформації для ефективного управління нею. Але навряд чи можна назвати простою таку систему, як орбітальна космічна станція, однак під це визначення вона не потрапляє. Це властивість правильно вважати властивим не тільки кібернетичним системам.

4. *Наявність зворотних зв'язків.*

Йдеться про вплив системи на процес управління або дослідження. У чому воно полягає? У тому, що об'єкти, на які спрямовані дії, що управляють, з

точки зору ініціювання їх елемента, можуть реагувати на ці дії неоднозначно в одних і тих же умовах.

Наприклад, практично неможливо точно передбачити реакцію споживачів на зміну цін на товари, навіть якщо точно відома цінова політика конкурентів. Можна тільки визначити напрямок зміни попиту, та й то не завжди.

І справа не тільки в тому, що подібна оцінка вимагає занадто багато інформації. Сам по собі елемент, що піддається керуючому впливу, має можливість самоорганізації, тобто зміни власної структури. У випадку з покупцем не виключено зміна ставлення до товару - переоцінка цінностей. У якихось межах такі зміни носять еволюційний характер, але можливі і якісні скачки.

Якісні зміни структури якогось елемента можуть не тільки звести до нуля ефективність дослідження, але і привести до прямо протилежних результатів.

Для того щоб уникнути цих стрибків, можлива поступова реалізація керуючих впливів, так як можливу зміну структури елемента має на увазі необхідність їх коригування. Графічно це проілюстровано рисунком 1.6.

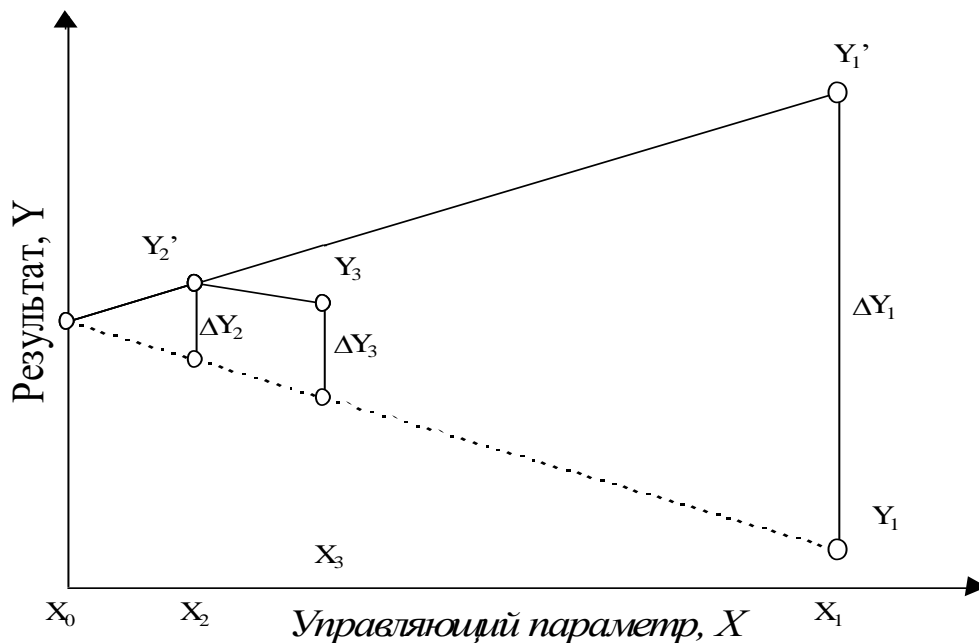


Рисунок 1.6

Зміна значення керуючого параметра від X_0 до X_1 може призвести не до

бажаного результату Y_1 , а до інших наслідків – Y'_1 . Різниця між ними, ΔY_1 , може бути дуже помітною. У той же час, керуючий вплив меншої інтенсивності X_2 що ставить за меншу мету Y_2 , приведе, при збереженні тенденції, до результату Y'_2 і до меншої помилки ΔY_2 . Крім того, властивість самоорганізації об'єкта управління може привести до того, що наступний крок в тому ж напрямку X_3 буде давати інший напрямок у зміні результату Y_3 . Та й напрямок зміни параметра X може за бажанням дослідження, після відомої реакції об'єкта на керуючий вплив, стати іншим.

Природно, що така стратегія обліку зворотних зв'язків не завжди ефективна. Зокрема, в разі щодо повного збігу векторів очікуваної і фактичної реакції об'єкта, така політика може привести до істотної затримки в досягненні бажаного стану. Але існують і інші приклади, в яких поступова реалізація керуючих впливів є досить ефективним інструментом.

У роки планової економіки міські маршрути великої довжини були невідгідні для АТП, оскільки приносили великі збитки. Але більшість спроб скасування маршрутів наштовхувалися на різко негативну реакцію населення, а вона в той час була основним критерієм оцінки якості роботи маршруту. В таких умовах працівниками пасажирського автомобільного транспорту була вироблена технологія поступового закриття маршрутів, яка давала хороші результати при наявності альтернативних варіантів пересування для пасажирів скасовує маршруту.

Відповідно до неї скорочення кількості рухомого складу на маршруті відбувалося поступово - знімалося кілька одиниць через 2-3 місяці. Скорочення кількості автобусів призводило до погіршення якості перевезень на маршруті через зростання часу очікування та підвищення ступеня заповнення салонів автобусів. Пасажири починали більшою мірою використовувати інші варіанти пересування, і після цього слід було чергове скорочення. Зрештою, на маршруті залишалося тільки один - два автобуса. Маршрут припиняв своє існування майже безболісно, в усякому разі, без різко негативної реакції.

У наявності структурна зміна елемента системи або зовнішнього середовища «пасажир». Це структурна зміна полягає в поступовому підвищенні байдужості до існування маршруту, до зниження потреби в ньому. Іншими словами, до зміни внутрішніх характеристик елемента.

Можливість подібних структурних змін визначає приналежність елемента «пасажир» до систем, що самоорганізуються.

Самоорганізаційні системи – це системи, які здатні в ході свого функціонування змінювати власну структуру.

Властивість самоорганізації притаманне всім живим і соціальним системам.

Доречно зауважити, що в системному дослідженні основний упор робиться на вивченні структури зв'язків між елементами, а структура самих елементів вважається незмінною. Тоді можна зробити висновок, що *кібернетичний характер систем викликаний недостатньою структуризацією окремих елементів системи або навколишнього її середовища*, оскільки поглиблення структуризації може підвищити коректність твердження про сталість структури елементів системи.

Звідси випливає наступний інструмент роботи з кібернетичними системами - *поглиблення структуризації елементів*.

Природно виникає та ж проблема, що і з визначенням списку елементів системи. Чим глибше розкрита структура елемента, тим точніше результати управління або дослідження, менше необхідність врахування зворотних зв'язків, але тим більше часу і зусиль потрібно на прийняття рішень або їх виконання. Можливі шляхи вирішення цього питання будуть розглянуті пізніше.

Наступний елемент в списку властивостей кібернетичних систем:

5. Наявність власної інформаційної бази та інформаційних потоків між елементами.

Ця властивість так само, як і попередня, є ключовим для кібернетичних систем. Так як дії, що управляють, спрямовані на об'єкт, можуть викликати

різну реакцію, то для вироблення чергових керуючих впливів цю реакцію необхідно відстежувати. Під власною інформаційною базою в даному випадку розуміється набір характеристик, що дозволяє оцінити реакцію об'єкта на керування ним.

Для попереднього прикладу таким показником була кількість скарг на роботу маршруту.

З цих параметрів може виникати значно більше при розгляді якихось інших об'єктів і ситуацій. Масив даних для оцінки стану об'єкта, може використовуватися не один раз, а накопичуватися. Накопичені дані також є інформаційною базою, аналіз якої дозволяє підвищити точність прогнозу про поведінку керованого об'єкта.

Наявність інформаційних потоків є необхідною умовою для передачі даних. Засоби їх передачі можуть бути самими різними: від окремих виконавців та відділів до складних технічних пристроїв.

Яскравим прикладом кібернетичних систем є автоматизовані системи управління транспортом або дорожнім рухом.

6. *Наявність енергетичних ресурсів.*

Наявність енергетичних ресурсів притаманне не тільки кібернетичним системам і їх основною особливістю є переробка інформації, а не енергії. Однак, для реалізації всіх факторів і функцій, описаних вище, наявність енергетичних ресурсів необхідно.

Тому ця властивість буде вважатися ключовим для кібернетичних систем і в дослідженнях, присвячених транспортним об'єктам, необхідно передбачати необхідні для реалізації цілей управління енергетичні ресурси.

7. *Чітка мета розвитку.*

Цей фактор є приналежністю всіх штучних систем, не тільки кібернетичних. Тому чітка мета розвитку не буде виділятися в якості ключової властивості для кібернетичних систем.

У ряді випадків при дослідженні можуть виникати проблеми з визначен-

ням мети існування або розвитку штучної системи. Але, мабуть, це потрібно пояснювати не відсутністю мети, а недостатнім для її формалізації рівнем знань. Якщо цілі у штучної системи немає, тобто вона не виконує ніякої ролі в задоволенні потреб суспільства в цілому або людини зокрема, то незрозуміло звідки і навіщо вона з'явилася?

Однією з центральних проблем кібернетики є питання про структуру систем, що самоорганізуються. При створенні об'єктів, що відносяться до кібернетичним, слід передбачати можливість зміни структури об'єкта у відповідь на нестабільність зовнішнього середовища. Для цього в системі повинні бути присутніми як спеціальні елементи, так і резерви енергії, ресурсів, виконавців і т.д.

1.3 Системний аналіз транспортних систем

Системний аналіз – сукупність методів і засобів, що використовуються при дослідженні та конструюванні складних і надскладних об'єктів.

Перш за все, він відноситься до методів вироблення, обґрунтування і прийняття рішень при проектуванні, створенні та управлінні соціальними, економічними, людино-машинними та технічними системами.

Системний аналіз призначений головним чином, для дослідження складних систем, створених і функціонуючих за участю людини.

Системний аналіз виділився з системного підходу через наявність особливостей соціально-економічних систем, які були описані в попередньому підрозділі. Цьому виділенню передувала якісна переоцінка можливостей дослідження об'єктів.

Однією з відмінних рис системного аналізу є застосування виключно математичного моделювання при вирішенні дослідницьких завдань.

Дана особливість пояснюється специфікою розглянутих об'єктивним тов. Для виділення їх із загального списку можливих об'єктів дослідження необхідно розглянути відмінності між традиційними завданнями і завданнями, які розв'язуються методами системного аналізу:

До традиційних завдань відносяться проблеми дослідження і конструювання технічних об'єктів.

Характеристика традиційних (класичних) завдань.

1. обмежена кількість достовірних вихідних даних і аксіом.

Для цих задач характерно існування набору елементів системи, взаємозв'язок між якими носить функціональний характер. Поведінка і властивості такого набору для заданих умов функціонування повністю визначаються станом його елементів. Якщо ввести умовний показник ступеня взаємозв'язку між різними елементами I (щось схоже на коефіцієнт детермінації), при цьому значення $I = 1$ буде означати функціональну залежність, а $I = 0$ – відсутність будь-якої залежності, то можна проілюструвати характерну особливість завдань в сфері техніки, рисунок 1.7.

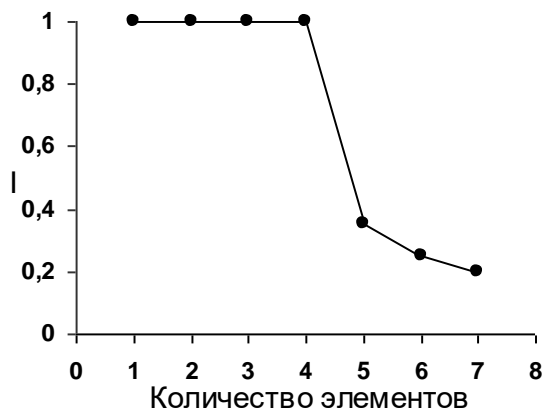


Рисунок 1.7

Точка на графіку показує ступінь взаємозв'язку чергового елемента з сукупністю попередніх або, інакше кажучи, ступінь впливу чергового елемента на властивості накопиченої сукупності елементів, включаючи послід-ний. Для автомобіля четвертим елементом є водій, елементами з великим порядковим номером можуть бути транспортне підприємство, дорожні умови, транспортний потік і т.д.

Графік ілюструє наявність досить очевидною ступені вниз в ступеня впливу елементів на об'єкт дослідження. Саме ця щабель в більшості досліджень автоматично приймається за кордону техніче-ської системи.

Графік ілюструє наявність досить очевидною ступені вниз в ступеня впливу елементів на об'єкт дослідження. Саме ця щабель в більшості досліджень автоматично приймається за кордону техніче-ської системи.

Можливість вільного виділення об'єкта з навколишнього середовища передбачає і кінцеве число його характеристик. Природно, що і зібрати характеристики вузлів, агрегатів або матеріалів, з яких створюється або вже перебуває об'єкт порівняно просто. Навіть якщо мова йде про складних технічних систе-

мах, це лише питання зусиль, часу і коштів, необхідних для дослідження або прийняття рішень. Для заданих умов застосування характеристики складових елементів системи можуть вважатися повністю стабільними і немає необхідності застосовувати додаткові обмеження і допущення.

Для технічних систем часто використовується поняття «замкнутої» системи, тобто вони отримують таке системне уявлення.

Замкнута система – це об'єкт, який має фіксовані межі і характеризується високим ступенем незалежності від зовнішнього середовища.

У замкнутої системи не відбувається обміну енергією, речовиною, інформацією і так далі з навколишнім середовищем. Вважається, що характеристики замкнутої системою не залежать від навколишнього середовища. У загальному випадку це звичайно ж не так, але в деяких випадках коректність такого уявлення не викликає сумніву.

2. Основна увага приділяється точності математичного апарату.

Математичне моделювання при вирішенні традиційних завдань не носить абсолютного характеру. Воно є інструментом, який дозволяє ефективно визначити напрямки розробок, тобто скоротити кількість можливих альтернатив і з'ясувати загальні закономірності для досліджуваних процесів і елементів.

Високий ступінь точності і достовірності вихідних даних дозволяють, а функціональні зв'язки між елементами - вимагають використання математичного апарату високого ступеня точності. Для опису що відбуваються в таких об'єктах процесів, застосовуються диференціальні або інтегральні рівняння високих порядків або інші, не менш складні варіанти моделювання, в тому числі нейронні мережі. Часто рішення таких рівнянь викликає математичні труднощі, настільки вони бувають складними.

Однак такі моделі дозволяють досить повно розрахувати фізич-ські характеристики явища і об'єкту в цілому.

І все ж при вирішенні традиційних завдань остаточні висновки дробляться тільки після проведення експерименту з самим об'єктом або його

фізичною моделлю.

3. *Можливість проведення експерименту в реальних умовах.*

Експеримент не дозволяє отримати загальних закономірностей і об'єктивного прогнозу поведінки об'єкта при зміні умов функціонування. Але експеримент дозволяє перевірити правильність висновків, отриманих за допомогою математичної моделі на конкретному об'єкті і в реальних умовах, визначити крайові умови і тим самим виділити конкретне рішення, яке відповідає даному процесу. Поєднання математичної моделі і експерименту забезпечує досить високу ступінь гарантії отримання точного і надійного рішення.

Експеримент необхідний ще й тому, що математичні моделі не дозволяють гарантувати абсолютну надійність результатів, так як в них можуть бути пропущені деякі зв'язки між елементами, умови функціонування або інші фактори.

Яскравим прикладом невдалого математичного моделювання може служити атомний реактор, який використовувався на Чорнобильській атомній електростанції. Його характеристики визначалися за допомогою математичної моделі і один з його авторів, в той час президент академії наук СРСР, академік Александров говорив, що реактор настільки безпечний, що він (Александров), може на ньому спати. Істина виявилася зовсім іншою, а результати цієї помилки обернулися найбільшою екологічною катастрофою двадцятого століття.

Експериментальні дослідження є необхідною частиною вирішення будь-якої традиційної завдання.

Перераховані особливості є позитивними моментами з точки зору можливостей дослідження і прийняття рішень щодо технічних систем. Тому і розвиток суспільства досягає найвищих темпів саме в області техніки.

Інша річ сфера соціально-економічної діяльності людини. Тут темпи розвитку рівня знань значно нижче, що в першу чергу обумовлено особливостями соціально-економічних завдань.

Характеристика соціально-економічних завдань.

1. Велика кількість вихідних даних з неповною достовірністю.

На відміну від традиційних завдань, при розгляді соціально-економічних проблем дослідник стикається з дещо іншим зваженим набором елементів. Ті набори елементів, які в попередньому випадку були системами (система ВАД, для наведеного вище прикладу), навіть в самому розгорнутому вигляді розглядаються як єдині елементи соціально-економічних систем.

Ці елементи привносять найвищу частку визначеності в рішення соціально-економічних завдань, оскільки характеристики таких елементів найбільш стабільні. Можна продовжити приклад з автомобілем. Якщо раніше він був об'єктом дослідження і представлявся у вигляді набору елементів для отримання розрахункових характеристик, то тепер він є елементом транспортної системи. Його взаємодія з іншими елементами визначає характеристики системи в цілому. Але ці характеристики вже не будуть функціонально залежати від щодозволеного вузького набору елементів. Широкі зв'язки елементів соціально-економічних систем призводять до плавного зниження ступеня взаємозв'язку між ними, рисунок 1.8.

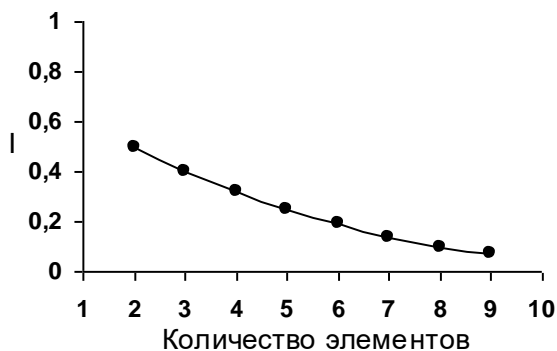


Рисунок 1.8

Так, кожен елемент надає на сукупність попередніх елементів вплив не набагато менше, ніж попередній йому елемент, тому тут складно визначитися з кордоном системи. Крім того, навіть самі «впливові» елементи не забезпечують функціональної залежності для мінімальної су-

купності елементів системи.

Відсутність чітких меж системи призводить до того, що будь-який варіант обмеження кількості елементів в системі буде викликати відчутні похибки опису реальності. Тому характеристики елементів системи або зовнішнього середовища доводиться визначати як випадкові величини, по-

ведінка яких обумовлено дією численних чинників, які не врахованих в дослідженні.

Для вирішення завдань в області організації перевезень, системи організації руху і транспортна мережа в цілому, звичайно виступають як елементи зовнішнього середовища. Тоді і технічна швидкість руху автомобілів визначається зовнішнім середовищем. У дослідженні вона буде або постійною величиною (середньої за результатами обстеження), або випадковою, характеристика якої задана функцією розподілу. Є й інші способи подання, зокрема - регресивні моделі, але вони все одно не дозволяють отримати повністю достовірну оцінку технічної швидкості.

Ще більше підвищення точності при визначенні характеристик руху автомобіля на маршруті можливо, але вимагає додаткових знань. Для цього, необхідно вміння розрахунку часу простою на перехрестях, а для цього потрібно знати характеристики всіх світлофорів, нерегульованих перехресть, точний час прибуття до кожного перехрестя і інтенсивність руху на конкретних ділянках вулично-дорожньої мережі. Перші два показники можна цілком вірогідно охарактеризувати, звичайно, якщо зробити припущення про безвідмовної роботи технічних засоби управління дорожнім рухом. Але два останніх залежать від поведінки занадто великого числа об'єктів, щоб можна було оцінити їх за допомогою функціональних залежностей. Цими об'єктами є інші учасники руху, які не мають ніякого відношення до даного об'єкту і, тим не менше, що впливають на його характеристики. Природно, дуже точно визначити марки і кількість автомобілів, які виявляться на смузі руху в заданий час, та ще й їх швидкість просто неможливо, так як кількість факторів знову ж буде дуже велике. Перехід до імовірнісних моделей, на жаль, зараз також далеко не завжди можливий, як уже зазначалося вище на прикладі затримки транспортних засобів, на регульованому перехресті.

Такі ж проблеми виникають і з багатьма іншими елементами транспортних систем або зовнішнього середовища, не тільки з транспортною мережею.

2. Простота математичного апарату.

При дослідженні соціально-економічних систем рідко використовуються моделі з диференціальними або інтегральними рівняннями. Причина та ж - відсутність чітких меж системи, тобто залежність характеристик елементів від дуже великої кількості факторів.

Точний математичний апарат застосовується для опису елементів, що складаються з великої кількості малозначущих окремо елементів. Так, для опису транспортного потоку використовуються диференціальні рівняння першого порядку. Для формування матриці кореспонденцій або розрахунку потоків пасажирів використовуються ентропійних моделі.

Але і цих випадках математичний апарат дуже простий. Крім того, використання цих моделей носить тут тільки описовий характер і ніяк не відображає причинно-наслідкові зв'язки, якими обумовлено поведінку об'єктів. Ще одним недоліком такого моделювання є умови їх створення у великій системі припущень, не завжди витримує критики, навіть при досить суворій системі обмежень.

Це положення обумовлено наявністю активного елементу - людини в таких системах. Характер і темперамент одну людину, можливо, і піддається опису, але це зовсім не означає, що можна точно спрогнозувати поведінку індивідуума в якійсь конкретній, навіть повторюється, ситуації, не кажучи вже про нові умови. А для моделювання поведінки всього транспортного потоку за допомогою аналітичного інструментарію, необхідно зробити припущення про повну залежність поведінки водіїв в транспортному потоці від поведінки інших учасників руху. Таке припущення навряд чи може вважатися до кінця справедливим навіть в дуже щільному потоці.

Тому, і в силу математичної складності навіть зовні простих по-просо, використання точних математичних методів вкрай обмежена при розгляді соціально-економічних систем. Тому тут дуже часто використовується апарат математичної статистики, який дозволяє отримати зовнішнє опис характери-

стик елементів або залежностей між ними, без пояснення причин такого зв'язку. Повна модель системи обов'язково включає в себе аналітичні моделі прийняття рішень - її каркас, але основна складність полягає не стільки у вигляді зв'язків між елементами, скільки в їх кількості.

Підвищення точності результатів дослідження досягається як за рахунок поглиблення структури системи, тобто розбиття її елементів на складові частини, так і за рахунок розширення меж системи. Однак обидва ці методи можуть призвести не стільки до ускладнення інструменту моделювання, скільки до ускладнення самої моделі через збільшення її розмірів.

3. Складність, частіше неможливість, проведення експерименту в чистих умовах.

Під чистими умовами розуміються такі умови експерименту, які в точності відповідають умовам експлуатації об'єкта.

Проведення експериментів з соціально-економічними системами в таких умовах практично неможливо, так як відтворити умови функціонування об'єкта занадто складно через велику оточення системи.

Другою причиною є нестабільність структури елементів системи або зовнішнього середовища. Вона призводить до того, що за час збору вихідної інформації, моделювання, прийняття рішення і постановки експерименту, умови функціонування об'єкта в загальному випадку змінюються. Також вони зміняться і за проміжок часу від проведення експерименту, до реалізації управлінських впливів, а він може бути досить тривалим.

Крім того завдання, які вирішуються за соціально-економічними системами, зазвичай носять такий характер, що проведення експерименту є дуже дорогим процесом, навіть у порівнянні з краш-тестом для автомобілів. Справа в тому, що кібернетичний характер таких систем вимагає дуже тривалих експериментів для встановлення дійсних характеристик об'єктів.

І є ще одне обмеження на проведення експериментів - участь в соціально-економічних системах людей. Експеримент може негативно від-разіться на ве-

ликій кількості людей, і негативні наслідки можуть бути дуже серйозними, для того щоб знайшлися сміливі управлінці, готові ризикувати, проводячи експеримент.

В даний час, для проведення експериментів з транспортними системами і перевірки ефективності прийнятих керуючих впливів, часто використовуються імітаційні моделі об'єктів управління. Основне поширення вони отримали при вирішенні питань організації дорожнього руху та логістичних процесів. І цей спосіб, безумовно, є дуже перспективним, оскільки дозволяє отримати загальне уявлення про наслідки реалізації керуючих впливів, хоча і не позбавлений ряду недоліків, описаних вище, і не завжди може гарантувати повну відповідність результатів імітації реальному процесу.

Незважаючи на всі складнощі, реальні експерименти в цій області все ж проводилися і, можливо, будуть проводитися ще, наприклад, з частиною системи і коли наслідки експерименту не відображаються на великій кількості людей, які не мають безпосереднього відношення до ініціаторів системного дослідження. Однак в загальному випадку, при дослідженні соціально-економічних систем натурний експеримент не є настільки ж ефективним інструментом як у випадку традиційних завдань. З одного боку він дає менше позитивних результатів, з іншого - вимагає великих витрат часу і ресурсів на його проведення. Тому зазвичай процес дослідження закінчується безпосереднім перетворенням результатів моделювання в керуючі впливу.

Ці три ключові відмінності між традиційними і соціально-економічними завданнями зумовили значно меншу швидкість розвитку транспортної науки, в порівнянні з її технічними аналогами. Та й розуміння цих відмінностей прийшло далеко не відразу. Якщо початок активного використання системного підходу доводиться на середину п'ятдесятих, то розвиток системного аналізу починається тільки в шістдесятих. І ці періоди практично збігаються з періодами розвитку транспортної науки, і це дає підстави вважати, що транспортні проблеми стали однією з причин виділення системного аналізу з системного

підходу. У самому процесі виникнення системного аналізу розрізняються три фази.

1. *Спроби застосування математичного апарату для вирішення всіх завдань, що виникають у соціально-економічній сфері (невдача).*

Успішний розвиток математичних методів дослідження операцій, лінійного програмування, матричної алгебри, теорії ймовірностей і багатьох інших математичних методів, разом з виникненням і розвитком комп'ютерної обчислювальної техніки, на початкових етапах досліджень створив ілюзію можливості швидкого вирішення основних завдань у соціально-економічній сфері на високому рівні. Вважалося, що велика частина математичних методів для такого рішення вже є або скоро буде створена. Залишилося тільки побудувати досить потужну обчислювальну техніку, відповідне програмне забезпечення і все завдання будуть вирішені.

Проте, в той час і в природних і технічних науках робилися гучні заяви, такі, наприклад, як можливість отримання термоядерної енергії в найближчі десятиліття.

Але дійсність виявилася набагато складніше. Факти не підтверджують повністю жодну глобальну соціально-економічну теорію. Рішення багатьох управлінських завдань відкладалося на більш пізній термін через їх складності та відсутності відповідного логічного і математичного апарату. Як тільки в об'єкті виникав людина, складності дослідження виростали, як сніжний ком і готового до впровадження рішення знайти не вдавалося. Та й математичні можливості дослідження виявилися далеко не безмежними і швидко закінчилися після перших успіхів. Навряд чи хтось із дослідників транспорту міг собі уявити, що емпірична формула затримки транспортних засобів на регульованому перехресті Вебстера, отримана за допомогою перших ЕОМ, можливості яких, не йдуть ні в яке порівняння навіть з найпростішими смартфонами, проіснує в якості основної до 20-х років 21-го століття.

Але це зовсім не означає, що прогресу в соціально-економічній сфері

немає, і не буде. Просто складність соціальних завдань призводить до того, що шляхом прийняття рішень в цій сфері досі часто є експертний (суб'єктивний) підхід, а часто використовуваним інструментом дослідження - метод проб і помилок. А прогрес в цій сфері дається дуже великими зусиллями. Явні невдачі великого використання наукових методів в соціально-економічній сфері привели до розуміння, що ставка виключно на обчислювальну техніку і швидкий розвиток математичних методів себе не виправдовує і необхідно знайти інший шлях до вирішення цих завдань. Першим кроком на цьому шляху стало обмеження сфери застосування математичних методів, що відразу ж дало позитивні результати.

2. Успішне використання математичних методів для вирішення окремих, частіше технологічних завдань в соціально-економічній сфері.

Математичні методи, розроблені до середини шістдесятих, поз-воля вирішувати велику кількість завдань, багато з яких здаються тепер дуже простими. Але в той час пошук найкоротших варіантів шляху пересування, рішення задачі лінійного програмування, транспортної задачі або складання раціональних розвізних маршрутів були ще відносно новими проблемами.

У цій сфері були досягнуті помітні успіхи. І цей етап можна вважати початком виділення системного аналізу з системного підходу, в ході якого прийшло розуміння складності вирішення соціально економічних завдань, за яким послідувало розуміння необхідності застосування спеціальних методів роботи з такими об'єктами. Третій етап вже повністю відповідає системному аналізу.

3. Аналіз сфери та умов застосування тих чи інших економетричних методів і моделей в процесі прийняття рішень.

Природно, що досягнення в області обчислювальної техніки дозволяють багато чого досягти. Але і покладати надії тільки на неї не можна.

Наприклад, у сфері пасажирського транспорту до сих пір в повній мірі не вирішена задача складання раціональних маршрутів міського транспорту. І це

незважаючи на те, що перші методи маршрутизації з використанням ЕОМ відносяться до початку шістдесятих, а рівень обчислювальної техніки за цей час виріс колосально. Теж можна сказати і про завдання пошуку оптимальних розвізних маршрутів або завданнях у сфері організації дорожнього руху. Техніка значно просунулася вперед, а ось рівень вирішення транспортних завдань піднявся зовсім небагато, якщо порівнювати його з змінами в технічних системах. Просто подивіться, як з 60-х років минулого століття змінилися автомобілі, або телефони, наприклад!

У той же час, за допомогою системного аналізу все-таки вирішуються досить складні завдання. І більшість сучасних течій в транспортній науці засноване саме на ньому. Зокрема, логістика є одним з варіантів системного аналізу, з більш широкими межами системи в порівнянні зі стандартним варіантом дослідження.

Основна відмінна риса системного аналізу - відсутність строгих вказівок до постановки завдання та моделювання об'єкта дослідження. У системному аналізі документованої є тільки послідовність його проведення. Але і вона має багато різних варіантів, обумовлених різним авторством, цілями і властивостями об'єкта дослідження. Розглянемо один з таких варіантів.

Етапи виконання системного аналізу.

1. *Визначення мети функціонування системи і цілей функціонування окремих її підсистем.*

Цей етап в даний час ще недостатньо формалізований, проте трохи нижче в посібнику будуть вказані можливості для його формалізації. В даному розділі буде тільки підкреслена важливість правильного визначення мети, під яким розуміється відповідність її уявлення в дослідженні дійсним цілям існування і функціонування об'єкта дослідження.

Метод рішення задачі може і не гарантувати отримання оптимального результату, що не дуже добре, але і не дуже страшно при правильно обраної мети. Все одно буде отримано рішення як мінімум не гірше, ніж існуючий

варіант, а в більшості випадків, що перевершує його. Іншими словами буде отримано раціональний варіант рішення.

Якщо мета поставлена невірно, то наслідки вирішення такого завдання при потужному математичному апараті будуть різко негативними, а при невисокій потужності математичного апарату будуть дещо гірше існуючого варіанту.

Ця ситуація ілюструється рисунком 1.9 і таблицею 1.1.

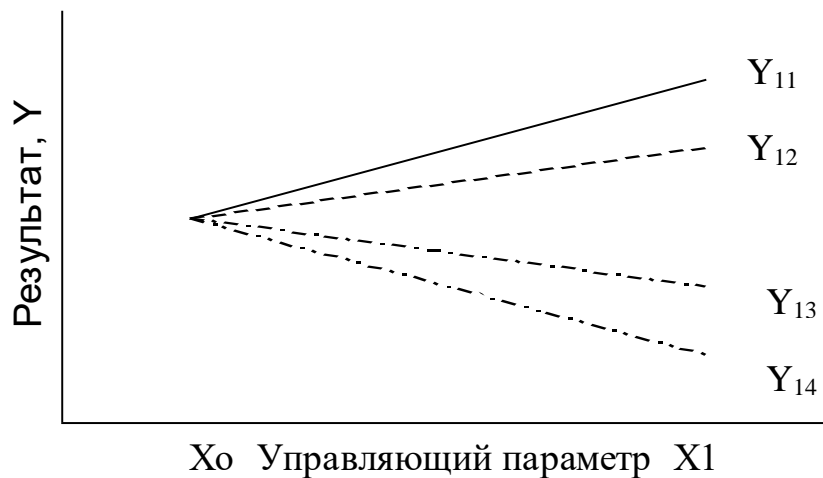


Рисунок 1.9

Показник Y являє собою оцінний показник для дійсної мети системи, X – керуючий параметр. Можливі результати описані в таблиці 1.1.

Прикладом неправильно поставленої мети може служити мінімізація витрат на перевезення пасажирів в місті під час розв'язання задачі маршрутизації.

Таблиця 1.1 – Наслідки вибору

Опис варіанту		Вибір мети	
		Вірний	Невірний
Рівень математичного апарату	Високий	Y_{11}	Y_{14}
	Низький	Y_{12}	Y_{13}

Невірність такої мети полягає в тому, що при відсутності системи обмежень рішення призведе до закриття всіх маршрутів. У цій постановці завдання замість мети функціонування системи на перше місце за значимістю вийшла система обмежень. Якщо обмежити можливі альтернативи лише випадками, при яких всі запити на пересування задовольняються, то більш-менш прийнятне рішення може бути отримано. Але наскільки воно краще існуючого варіанту, і краще взагалі, вирішити складно.

Безсумнівно, система обмежень є невід'ємною частиною будь-якого дослідження, в тому числі і системного. Але вона не може підміняти собою мету, обмеження відіграють основну роль при виконанні інших етапів системного аналізу.

2. Визначення безлічі альтернатив для досягнення поставленої мети.

При вирішенні більшості завдань з транспортними системами класичні методи математичної оптимізації не можуть застосовуватися. Маються на увазі такі методи, як пошук загального або приватного екстремуму, метод гілок і меж, градієнтного спуску і так далі.

Неможливість їх застосування пояснюється складною структурою зв'язків між елементами, яка не дозволяє привести задачу у відповідність до вимог цих методів. Прагнення до пристосування проблеми під відомий математичний апарат, для отримання рішення, часто закінчується занадто грубою системою припущень, що зводить нанівець всі позитивні результати дослідження.

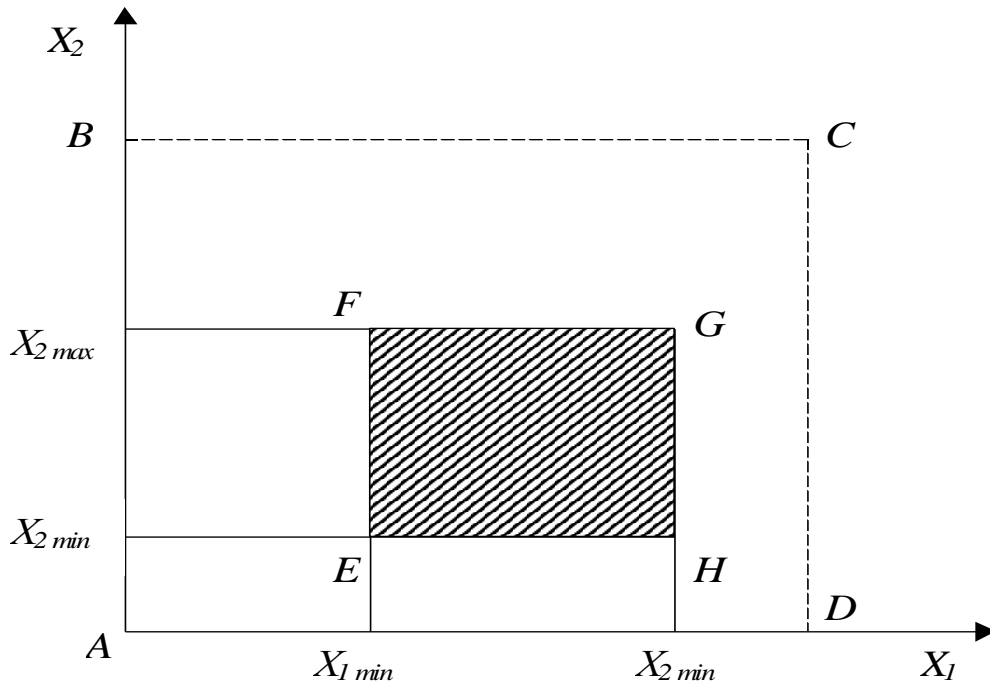
В таких умовах основним методом отримання оптимального результату є повний перебір всіх можливих станів системи або, інакше кажучи, всіх альтернатив.

Тому правильний вибір безлічі альтернатив також багато в чому визначає успіх у вирішенні завдання.

На рисунку 1.10 прямокутник ABCD обмежує все безліч допустимих рішень для двох керуючих параметрів X_1 і X_2 . Для кожного з них прийняті нижні і верхні межі зміни при дослідженні. Прямокутник EFGH обмежує без-

ліч альтернатив для досягнення мети.

Якщо допустити, що оптимальне рішення з однаковою ймовірністю може знаходитися в будь-якій точці з ABCD, то ймовірність отримання оптимального результату Y_{opt} при виборі набору альтернатив EFGH пропорційна його площі.



$X_{i \min}$, $X_{i \max}$ - пределы изменения i -го параметра в исследовании

Рисунок 1.10

$$P_{Y_{opt}} = \frac{S_{EFGH}}{S_{ABCD}}, \quad (1.3)$$

де $P_{Y_{opt}}$ – ймовірність отримання оптимального рішення; S_{EFGH} , S_{ABCD} – площа прямокутників, що обмежують безліч альтернатив в дослідженні і все допустиме безліч рішень відповідно.

Якщо безліч альтернатив занадто вузьке, то і ймовірність попадання в

нього оптимального рішення невелика. Якщо безліч альтернатив занадто широке, то переглянути всі варіанти часто буває просто неможливо, незважаючи на високі потужності ЕОМ. Підвищити ймовірність попадання оптимального рішення в безліч альтернатив можна, отримавши хоча б загальне уявлення про характер впливу керуючих параметрів на критерій ефективності об'єкта дослідження.

Це тільки загальні вимоги до вибору альтернатив. Більш детальну інформацію дати складно. Але в найпростішому варіанті, коли не враховується обмеження по обчислювальній потужності комп'ютерів, вибір безлічі альтернатив зводиться до створення системи обмежень при вирішенні задачі.

Вище вже розглядався приклад з автобусним маршрутом, для якого визначалося кількість можливих варіантів стану. У цьому прикладі активним елементом системи був тільки рухомий склад. Система обмежень визначалася на основі властивостей об'єкта і ресурсних обмежень. З одного боку кількість автобусів на маршруті не може бути негативним або нульовим, так як маршруту в цьому випадку просто не буде. З іншого боку максимальну кількість автобусів визначалося їх наявністю в транспортному підприємстві.

У загальному випадку система обмежень може бути побудована аналогічним чином. Для кожного активного елемента повинні бути визначені можливі межі зміни його стану, тобто мінімальне і максимальне значення параметра. При декількох параметрах такі дії повинні бути виконані для кожного параметра.

Для випадку, коли параметр носить дискретний характер кількість варіантів для елемента після цього вже визначено. Якщо параметр є безперервною величиною, то необхідно визначитися з бажаною або можливою точністю його розгляду і задати крок зміни.

Загальна кількість альтернатив N_a буде розраховуватися як добуток кількості варіантів стану для кожного активного елемента системи.

$$N_a = \prod_i^{N_e} n_{ei}, \quad (1.4)$$

де N_e – кількість активних елементів в системі; n_{ei} – кількість варіантів стану i -го елемента системи.

Цей простий підхід дозволяє досить легко сформулювати безліч альтернатив для досягнення мети.

Під активним (керованим) елементом розуміється той елемент системи, який може безпосередньо змінювати свої параметри в про-процесі дослідження.

Іншими словами активні елементи є інструментами в руках дослідника, і вони ж будуть інструментам реалізації керуючих впливів.

З цієї точки зору пасивні елементи системи - це елементи, що змінюють свій стан в процесі дослідження в результаті впливу на них активних елементів.

Наприклад, при визначенні оптимальних параметрів світлофорного регулювання, вид циклу, його тривалість і питомий вміст окремих фаз є активними елементами. Пасивним елементом може бути кількість автомобілів, які накопичуються в черзі перед світлофором за час заборонного сигналу.

Але існують і складності, про які бажано мати уявлення при формуванні системи обмежень.

У деяких випадках існують залежність кількості варіантів стану одного елемента системи, від стану іншого. Наприклад, вантажопідйомність автомобіля не може бути менше вантажопідйомності ковша екскаватора, а обмеження з урахуванням динамічного навантаження ще жорсткіше. Додаткові обмеження висуває зовнішнє середовище, так і загальна кількість альтернатив зовсім не обов'язково визначається твором.

3. *Моделювання системи.*

Особливості соціально-економічних об'єктів і розвиток системного

аналізу, розглянуті вище, диктують необхідність дуже уважного підходу до моделювання об'єкта, інакше рішення завдання не принесе результату, придатного до використання.

Такий підхід виражається в послідовності дій від постановки задачі моделювання в соціально-економічній сфері до вибору конкретної моделі і методу її рішення.

Порядок моделювання в системному аналізі.

- 3.1. *Визначення мети моделювання.*
- 3.2. *Виділення області визначення задачі.*
- 3.3. *Визначення класу завдання (наприклад, лінійна або нелінійна).*
- 3.4. *Вибір класу застосовуваних методів і моделей.*
- 3.5. *Вибір конкретної моделі.*

Наведений порядок моделювання в більшій мірі відноситься до наукового дослідження, ніж до інженерної роботи. Тому він буде розглянутий в дещо спрощеному варіанті.

Для цього, перш за все, розглянемо можливі варіанти моделювання.

Найбільша загальна класифікація моделей виділяє два їх типу - фізичні та математичні.

Фізичні моделі представляють собою широкий діапазон засобів відраження властивостей досліджуваного об'єкта. Існують, наприклад, натурні моделі, максимальним чином відображають форму об'єкта, що моделюється, наприклад зменшена копія автомобіля. Але в системному аналізі, фізичні моделі представлені в основному аналоговими моделями, заснованими на припущеннях про подібність процесів досліджуваного об'єкта і моделі. Так, для моделювання розподілу транспортних потоків на початкових етапах досліджень використовувалися гідравлічні і електричні аналогові моделі. При цьому робилося допущення про відповідність процесів розподілу транспортних потоків з процесами розподілу потоків електрики по провідникам або рідини по трубах. Недоліків у такого способу моделювання соціально-економічних об'єктів бага-

то, в першу чергу вони дороги і не дуже точні.

Невисока точність аналогових моделей, це їх загальна проблема, визвання наявністю припущень про аналогії процесів, що відбуваються в об'єкті і фізичної моделі. Справа в тому, що характер процесів, що відбуваються з соціально-економічними системами, визначається активною участю в них людини. Будь-яка ж аналогова модель буде представляти ці процеси за допомогою фізичних об'єктів, які не мають ніякого відношення до свідомості. Щоб допущення про аналогію було коректно, кількість елементів (людей) в системі повинно бути таким, яке дозволяє знехтувати їх свідомістю. Але навіть все населення Землі не скоро підійде до подібних розмірностям при збереженні тенденцій свого зростання, не кажучи вже про якісь, порівняно невеликих, щодо обмежених об'єктах, що виконують якісь транспортні функції.

Другим, менш істотним, недоліком аналогових моделей є незручність їх використання. Вони дуже громіздкі, дороги і недостатньо гнучкі для проведення з ними глибоких і різноманітних досліджень соціально-економічних об'єктів.

Ці особливості привели до того, що в даний час від використання фізичного моделювання в системному аналізі практично відмовилися і однією з характерних ознак системного аналізу служить переважне використання в ньому методів математичного моделювання.

І навіть аналогові моделі з розвитком обчислювальної техніки, стають математичними. В даний час вже існує велика кількість комп'ютерних програм - симуляторів електричних мереж, які дозволяють досліджувати їх характеристики, не створюючи матеріального об'єкта. Це значно здешевлює процес аналогового моделювання транспортних систем, але не долає другого його нестачі - низькою точності моделювання, обумовленого грубістю припущень про аналогії руху потоків в транспортних і електричних ланцюгах.

Уявити різницю між математичним і фізичним моделюванням допоможе найпростіший приклад.

Поведінка пружного тіла може бути представлено або фізичною моделлю - пружиною, або математичною моделлю. Для даного випадку математичною моделлю є закон Гука: величина деформації пружини прямо пропорційна додається навантаженні P_y :

$$P_y = E_y \cdot S_y, \quad (1.5)$$

де E_y – модуль пружності; S_y – відносна деформація пружини.

Закон Гука є одним з яскравих прикладів аналітичних моделей, але в системному аналізі використовуються всі три види моделювання, наведені вище. Математичні моделі можуть описувати взаємозв'язки між різними показниками, мати набагато більш складний вид, ніж (1.5), являти собою не одну залежність, а цілий обчислювальний алгоритм.

Створення моделі в системному аналізі має бути підпорядковане одній меті - в кінцевому рахунку, вона повинна дозволяти визначати значення критерія оптимізації при різних станах об'єкта дослідження.

Перед створенням математичної моделі спочатку необхідно визначити умови функціонування об'єкта і сформулювати відповідні обмеження. Щоб підкреслити важливість завдання умов функціонування, можна повернутися до прикладу, в якому поведінка пружного тіла, нехай це буде пружина, моделюється законом Гука. Для заданого тіла модуль пружності вважається постійним. Цей закон настільки відомий, що його достовірність не викликає ніякого сумніву.

Однак, він вірний далеко не завжди. Можна уявити, що трапиться, якщо пружину розігрівати до температури плавлення матеріалу, з якого вона зроблена. Чи буде тепер величина деформації пропорційна навантаженні? Навряд чи, адже пружина спочатку перестане бути пружною, а потім взагалі втратить форму і стане рідкою. Модель більше не відповідає поведінці об'єкта. Те ж саме невідповідність буде спостерігатися і при охолодженні пружини до над-

низьких температур, коли вона також втратить властивості пружності, і будь-яка деформація буде приводити до її руйнування.

Припустимо, що модель повинна бути трохи ширше і що модуль пружності для тіла є функцією від його температури t . Тоді загальний вигляд закону Гука зміниться за рахунок появи додаткового фактора. Конкретна залежність тут не наводиться, запишемо лише в загальному вигляді:

$$P_y = f(E_y, S_y, t). \quad (1.6)$$

В даному випадку введення додаткової змінної уточнить модель, розширить її можливості. Однак у цієї дії існує побічний результат - необхідність дослідження залежності між E_y и t .

Існує й інший шлях. Якщо умови завдання, тобто умови експлуатації пружини, що характеризуються мінімальною t_{min} і максимальної t_{max} температурою, відносно стабільні і далекі від крайніх значень температури, то можна домовитися про це у відповідних обмеженнях і зробити припущення про сталість модуля пружності для заданих умов.

$$E_y = const, \text{ при } t_{min} < t < t_{max}. \quad (1.7)$$

Знову отриманий закон Гука. Якщо різниця між t_{min} и t_{max} відносно невелика, то прийняте допущення взагалі ніяк не відіб'ється на результатах моделювання при відомій точності обчислень.

Така методика формування математичних моделей дозволяє дослідчому чітко представляти результати моделювання і уникати помилок, викликаних нечіткою системою обмежень і припущень.

Не всі проблеми моделювання можуть бути вирішені на стадії формування обмежень і припущень. Причиною виникнення помилок може стати пропуск в моделі одного або декількох факторів, від яких реально залежить до-

сліджуваний параметр. Для усунення подібної помилки в загальному випадку необхідно розглядати безліч чинників. Так як це в принципі неможливо, то уникнути помилок з цієї причини на всі сто відсотків навряд чи вдасться. Тому потрібно лише мати уявлення про цю небезпеку і намагатися скоротити її можливі негативні наслідки.

На закінчення опису третього етапу системного аналізу наводяться приклади математичних моделей з області транспортних систем.

Взаємодія між автомобілем і постом навантаження може бути описано залежністю часу навантаження від різних факторів.

Найпростіший варіант:

$$t = \text{const} . \quad (1.8)$$

Тут константа може бути або нормативом, або середнім часом навантаження за результатами обстеження, або результатом чітко організованого, можливо автоматизованого процесу навантаження, завжди відбувається в одних умовах, наприклад - завантаження автосамоскидів однаковою вантажопідйомності навалочним вантажем з бункера.

Але можна скласти більш складний і, можливо, більш точний варіант моделі:

$$t = \text{const} + t_1 \cdot n_2 , \quad (1.9)$$

де t_1 – час навантаження одиниці вантажу; n_2 – кількість одиниць вантажу.

В даному випадку і константа, і величина t_1 можуть бути визначені за результатами обстеження або якимось іншим чином.

Можливо опис цієї взаємодії іншими моделями, з іншим набором факторів в правій частині. Але ж взаємодія між вантажним механізмом і авто-

мобілем полягає ще і в динамічному навантаженні на автомобіль. Що описувати в моделі, а що ні, визначається постановкою завдання і цілями, які переслідуються дослідженням. Якщо показник жодним чином не відбивається на значенні критерію ефективності системи, він не потрібен в моделі.

Тепер звернемо увагу на те, що дві різні моделі можуть описувати один і той же фактор. Визначення або завдання умов функціонування об'єкта дослідження тут розглядатися не буде, це відносно простий процес. Розглянемо лише процес формування моделей, коли умови функціонування об'єкта вже задані.

Перша модель (1.8) була результатом дуже грубого допущення - для заданих умов час навантаження не залежить ні від яких чинників. Ця формула може бути вірною при дуже жорсткому обмеженні, коли використовуються автомобілі однієї місткості, відсутні непродуктивні прості автомобілів. Тоді коливання фактичних значень часу навантаження будуть малі настільки, що ними можна знехтувати. У разі невідповідності заданих умов функціонування цих обмежень, модель необхідно уточнити.

Друга модель (1.8) заснована на більш коректному допущенні про постійності часу навантаження однієї одиниці вантажу. Але можливо і ця модель виявиться недостатньо точною після порівняння фактичних даних і розрахункових значень. Тоді в моделі необхідно врахувати додаткові фактори або більш глибоко структурувати об'єкт дослідження. Наприклад, уявити загальний час навантаження у вигляді суми часу очікування навантаження, часу оформлення документів і так далі. Тобто порядок дій той же, що і вище. Визначено умови функціонування і розглядається коректність припущень для них. Допущення розглядаються від найгрубіших, до більш м'яких. Як тільки припущення визнається досить коректним, визначається конкретний вид моделі.

Такі дії виконуються для всіх пар елементів, тобто для кожного взаємодії всередині системи і кожної реакції елементів системи на дії зовнішнього середовища.

4. *Пошук оптимального варіанта управління за допомогою отриманої моделі.*

Якщо дослідження підійшло до цього етапу, то вже сформульована його мета, є система обмежень, визначено безліч альтернатив для досягнення мети, розроблена математична модель системи, що дозволяє для кожного варіанта її стану визначити значення цільової функції.

Тепер для отримання рішення необхідно переглянути всі можливі стани системи і вибрати те з них, при якому цільова функція має оптимальне значення. Якщо таких варіантів декілька, остаточне рішення вибирається з залученням додаткових даних. Це можуть бути невраховані фактори, близькість якогось показника до критичних значень і так далі.

Отримане рішення являє собою набір параметрів стану активних елементів системи. Оптимальний варіант управління реалізується через досягнення отриманих параметрів.

Звичайно, перегляд всіх варіантів стану системи не обов'язковий, якщо модель настільки проста, що для вибору рішення можливе застосування методів математичної оптимізації. Крім того, перебір всіх варіантів стану системи може бути практично нездійсненним.

Тому в транспортних дослідженнях часто застосовуються **евристичні алгоритми**, які не дають гарантії отримання оптимального рішення, але дозволяють отримати рішення, краще ніж існуючий варіант, тобто раціональні. Евристичні алгоритми засновані на таких шляхах пошуку оптимального варіанта, які представляються їх автору найрозумнішими. Кількість переглядаються варіантів при цьому різко скорочується, правда і глобальний оптимум може виявитися за межами розглянутого набору станів.

Якщо мета була обрана вірно, обмеження реальні, допущення коректно, модель точна, то і рішення призведе до позитивних, тобто ефективних, результатами, хоча і не обов'язково оптимальним.

Наведена послідовність операцій є одним з найбільш простих і зро-

зумілих варіантів дослідження в рамках системного аналізу. Але існують відмінності не тільки в кількості операцій дослідження, але і в послідовності їх виконання.

У системному аналізі будь-який об'єкт може бути розглянутий з різних позицій. Найчастіше виділяють макро і мікропідходів, рис. 1.11.

В рамках першого підходу досліджуваний об'єкт розглядається як щось ціле. Властивості об'єкта вважаються постійними, і вивчаються тільки його взаємозв'язку з іншими об'єктами такого ж рівня. Якщо описувати цей варіант в системних термінах, то в вигляді системи тут видається не сам об'єкт дослідження, а його зовнішнє середовище. Сам об'єкт вивчається як елемент такої системи.

При реалізації мікропідходів у вигляді системи представляється досліджуваний об'єкт. Його властивості визначаються властивостями і взаємодією елементів, з яких він складається.

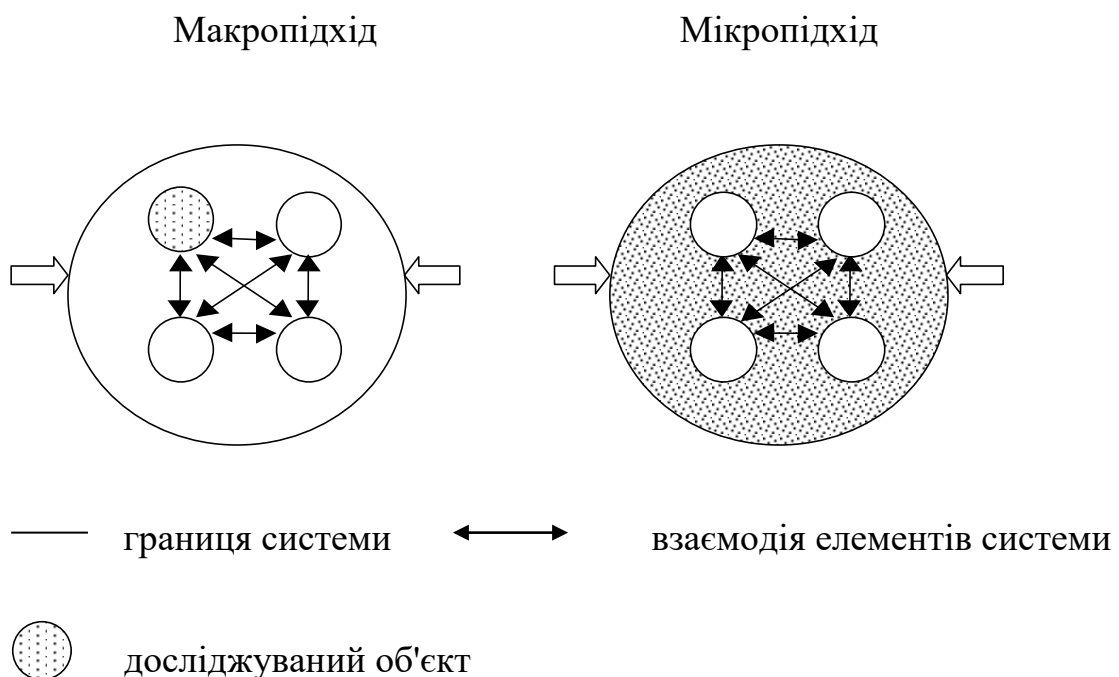


Рисунок 1.11

Природно, що фахівцям у сфері транспортних систем ближче другий варіант вивчення транспортних об'єктів. Однак макропідхід також є ефективним інструментом вирішення багатьох завдань у цій сфері. Крім того, в системному аналізі виділяється ще один, третій рівень дослідження.

Види системного аналізу реальних транспортних систем.

1. Вивчення транспортних систем як соціально-економічних одиниць в їх зв'язку з іншими системами (макропідхід).

Приклади завдань, які можуть вирішуватися в рамках даного підходу - складання загальних планів розвитку транспорту, визначення податкової політики і політики капітальних вкладень, питання розвитку транспортної мережі, видів транспорту і так далі.

2. Розгляд транспортних систем як особливих технологічних об'єктів щодо ефективного управління, розвитку виробничого процесу, раціонального використання ресурсів (мікропідхід).

Приклади завдань, які можуть вирішуватися в рамках даного підходу - складання різних технологічних планів, вибір техніки і технології для виконання транспортної роботи.

Більш конкретні приклади:

- зниження витрат на перевезення будь-якого виду вантажу;
- вдосконалення організації дорожнього руху на фрагменті вулично-дорожньої мережі (ВДМ);
- підвищення швидкості доставки вузлів і агрегатів на завод;
- вдосконалення роботи ланцюга поставки якогось товару;
- організація перевезення пасажирів в місті;
- організація міжміського маршруту і так далі.

3. Аналіз окремих процесів всередині невеликих транспортних об'єктів.

Найчастіше до третього виду аналізу відносяться завдання невисокої складності, які виникають в простих транспортних об'єктах. Наприклад, розрахунок розкладу на автобусному маршруті, параметрів світлофорного регу-

лювання на перехресті і так далі. Різниця між питаннями, розглянутими в рамках другого підходу і цими завданнями, складається швидше у відсутності великої різноманітності варіантів вирішення останніх і зрозумілою списку елементів, що становить відповідну систему. Тут зазвичай є конкретні і відносно прості методики рішення, не виникає проблем з визначенням мети дослідження, меж системи і використовуваних моделей.

Крім того, сюди відносяться завдання раціонального використання відділових транспортних засобів, тільки частина яких можна віднести до загальноприйнятого кола завдань по створенню та вдосконаленню транспортних систем. Це завдання організації разового перевезення звичайних вантажів, організації ремонту, технічного обслуговування, випуску рухомого складу.

Відмінності між другим і третім видом системного аналізу багато в чому умовні, так як межа між великими і невеликими транспортними об'єктами не може бути чіткої.

Існує очевидний зв'язок між видами системного аналізу і рівнями планування роботи транспортних об'єктів, оскільки ступінь деталізації при розгляді об'єктів визначає і ступінь точності результатів рішення. Більш докладний розгляд об'єкта дозволяє отримати більш конкретні вказівки і наблизити за часом їх реалізацію. Детальніше цей зв'язок буде розглянута пізніше.

Як підкреслювалося вище, основним інструментом дослідження в системному аналізі є математичне моделювання. Існує біль-ШОЕ кількість напрямків моделювання. У системному аналізі поширенням стали тільки деякі з них.

Моделі кожного з цих напрямків можуть бути використані в будь-якому з двох випадків:

- при характеристиці зовнішнього середовища;
- при описі взаємодії між елементами всередині системи.

Є ще й критерій ефективності системи, але питання його формування розглядаються окремо. Тому для кожного з напрямків будуть вказуватися мож-

ливості використання тільки для двох випадків.

Наведене нижче опис багато в чому перегукується з вибором методу моделювання системи з підрозділу 1.3, але тут використовується специфічна термінологія, характерна для системних досліджень, і методи характеризуються кілька з інших позицій, тому є сенс їх повторити

Напрямки використання математичного апарату в системному аналізі.

1. *Прогностичний напрямок* (регресивні моделі, тренди).

Найпростіший варіант моделювання в системному аналізі, аналог статистичних моделей в попередньому матеріалі. Моделі отримують на основі набору відомих статистичних даних, після обробки методами математичної статистики. Використовуватися такі моделі можуть на будь-якому етапі дослідження.

Основний їх недолік полягає в тому, що вони не розкривають внутрішніх причин існування тих чи інших взаємозв'язків. Другий недолік - облік випадкового характеру зв'язків між об'єктами тільки на рівні оцінки якості моделі. Якщо модель прийнята до розгляду, то її використання завжди буде давати один результат при підстановці тих самих вихідних даних. Втім, можна визначити довірчий інтервал, в який шукане значення результату буде потрапляти з певною ймовірністю.

Моделі прогностичного напрямку можуть бути використані в обох випадках, як при характеристиці зовнішнього середовища, так і при описі взаємодії між елементами всередині системи. Але при моделюванні взаємозв'язків між елементами краще виглядають моделі прийняття рішень.

2. *Моделі прийняття рішень* (детерміновані залежності, теорія ймовірностей, теорія ігор).

Тут характеристики взаємозв'язків між різними елементами описуються за допомогою детермінованих (аналітичних) моделей. Для них характерна спроба визначення функціональних зв'язків між елементами. Для транспортних

об'єктів прикладів моделей прийняття рішень також існує багато. Тут можна привести залежність для визначення середньої дальності поїздки пасажирів на i -м маршруті \bar{l}_i .

$$\bar{l}_i = P_i / Q_i, \quad (1.10)$$

де P_i , Q_i – відповідно транспортна робота і обсяг перевезень на i -м маршруті.

В даному випадку середня дальність поїздки пасажирів є однією з характеристик попиту на перевезення. Модель завжди буде вірна, так як вона відповідає визначенню цього показника.

Для цих моделей також характерна жорстка зв'язок між вихідними даними і результатом.

У системному аналізі моделі прийняття рішень основне застосування отримали в моделюванні системи, тобто в описі взаємодій між її елементами.

3. *Моделі поведінки (імітаційне моделювання).*

Вони є одним з найбільш досконалих методів моделювання в випадках, коли поведінка об'єкта залежить від дуже великої кількості факторів, вплив кожного з яких невелика і не можна простежити досить чітких тенденцій зміни досліджуваного параметра. В таких умовах моделі прогностичного напрямку вимагають занадто багато вихідних даних. Крім того, для даного випадку їх використання досить важко, так як для розрахунку конкретного значення шуканого параметра потрібне знання всіх значень незалежних змінних.

При використанні моделей поведінки не робиться спроб визначення залежностей між деякими елементами, натомість поведінку об'єкта описується як випадкове. Основною характеристикою випадкової величини є закон розподілу. Тому на підставі спостережень встановлюється відповідність випадкової величини будь-якої функції розподілу. Таких випадкових величин в мо-

делі може бути кілька. Решта зв'язку описуються моделями іншого напрямку.

Для визначення оптимального стану системи проводиться велика кількість чисельних експериментів, в яких значення випадкових величин приймаються відповідно до їх функціями розподілу. У загальному випадку кожен розрахунок призводить до різних результатів, але на підставі результатів можна визначити взаємозв'язок між параметрами на вході в модель і на її виході. Конкретні вказівки до дії отримують після додаткової обробки результатів.

Опис поведінки елемента за допомогою моделей поведінки применяется виключно при характеристиці елементів зовнішнього середовища.

4. *Автоматизовані системи управління (ЕОМ + людина).*

Ці моделі різко відрізняються від усіх попередніх, оскільки відразу представляють собою діючу і щодо повну модель об'єкта дослідження, яка може бути використана для вдосконалення методів управління ім. Тому такі моделі складно віднести до якогось одного варіанту використання.

Моделі всіх попередніх напрямків дозволяють формалізувати процес, тобто описати поведінку об'єктів якимись математичними залежностями. Процес формалізації поведінки об'єкта дослідження може опастися практично нездійсненним через його складності. А рішення приймати треба. Тому ще одним інструментом дослідження і одночасно вироблення керуючих впливів служать автоматизовані системи управління.

Основний напрямок використання АСУ - контроль над ходом роботи і вироблення керуючих впливів. Можливість дослідження поведінки об'єктів є попутним результатом їх функціонування. Автоматизація тут зазвичай полягає в зборі вихідної інформації для вироблення керуючих впливів і розрахунку параметрів функціонування системи.

Так як процес формалізації в більшості АСУ, швидше за все не може претендувати на повну завершеність, то можливе виникнення нештатних ситуацій, коли оператор повинен приймати вольові управлінські рішення. У цих випадках поведінка об'єкта фіксується засобами збору інформації АСУ. В результаті

досить тривалих спостережень можна встановити взаємозв'язок між параметрами, що характеризують поведінку об'єкта, і керуючими впливами.

ТЕМА 2. ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

2.1 Порядок дослідження транспортних систем

Загальні положення системного підходу і системного аналізу транспортних об'єктів, які були викладені в першому розділі, дозволяють сформулювати досить чіткий порядок дослідження або прийняття управлінських рішень при розгляді транспортних об'єктів.

Виконання цих етапів дозволяє значною мірою формалізувати процес дослідження транспортних об'єктів.

В даному розділі наводяться тільки основні аспекти виконання кожного з етапів. При наявності загальноприйнятого апарату виконання етапів, цей апарат буде розглядатися в наступних розділах.

1-й етап. *Вибір мети функціонування об'єкта і формування критерія ефективності системи.*

2-й етап. *Визначення меж системи.*

3-й етап. *Формування структури зовнішнього середовища.*

4-й етап. *Вивчення внутрішньої структури транспортної системи та визначення складових її елементів.*

5-й етап. *Знаходження залежностей, що характеризують взаємозв'язку між елементами і створення математичної моделі поведінки системи.*

6-й етап. *Пошук за допомогою отриманої моделі, оптимального або раціонального стану системи.*

7-й етап. *Вироблення керуючих впливів, спрямованих на досягнення оптимального стану системи.*

2.1.1 Вибір мети функціонування та формування критерію ефективності системи

Важливість правильного виконання цього етапу була підкреслена в першому розділі. У той же час зараз він все ще є і одним з найбільш складних етапів, тому що не до кінця формалізований і вимагає для свого виконання певних творчих зусиль і навичок.

Зазвичай в рамках цього етапу системного дослідження виділяються два питання – *вербальний опис мети* як загального напрямку дослідження; і *формалізація мети*, тобто її подання до вигляді критерію ефективності системи.

Прикладами результатів вербального опису мети можуть служити такі формулювання, як "метою об'єкта є отримання максимального прибутку" або "метою об'єкта є скорочення простою транспортних засобів на перехресті".

Найбільш просто рішення першого питання досягається на підставі вивчення тієї ролі, яку досліджуваний об'єкт грає в системі більш високого рівня. Наприклад, автобусний маршрут є частиною транспортного підприємства, відповідно і мета його функціонування може бути визначена виходячи із завдань транспортного підприємства. Однак тут існують складності, так як цей же автобусний маршрут є ще й елементом транспортної системи міста, і його цілі можуть визначатися завданнями цієї системи. Тому вибір системи більш високого рівня багато в чому визначає мету дослідження.

Подібна неоднозначність призводить до появи великої кількості критеріїв ефективності при вирішенні одних і тих же завдань. Така ситуація цілком природна, так як існування різних об'єктів дослідження і різноманітних умов їх функціонування, обумовлює існування різних постановок задачі.

Однак для подібних об'єктів, в одній і тій же постановці завдання, при відомій системі більш високого рівня, правильних критеріїв не може бути багато. Проте, продовжуючи розгляд маршрутною системи в якості прикладу, можна зробити висновок, що при вирішенні однієї і тієї ж задачі маршрутизації, різними авторами використовувалися прямо протилежні критерії ефективності

маршрутної системи міського пасажирського транспорту - від мінімуму витрат транспортних підприємств на організацію перевезень, до мінімуму часу пересування пасажирів. Тому необхідно визначити, на що потрібно орієнтуватися досліднику при виборі напрямку підвищення ефективності об'єкта дослідження.

Навіть якщо вербальне опис мети завершено, це не означає подолання всіх труднощів даного етапу. Для того щоб мати можливість складання математичної моделі об'єкта, мета функціонування об'єкта необхідно представити у вигляді критерію ефективності, тобто формалізувати. У наведених вище прикладах формалізація не викликає великих труднощів: $P \rightarrow \max$, для першого випадку і $t_{np} \rightarrow \min$, для другого.

У той же час можуть існувати показники, що характеризують окремі складові мети, які практично не піддаються формалізації. Більшою мірою це відноситься до характеристик якості обслуговування клієнтури транспортних систем. Причина - показник якості в сфері споживання є комплексним і суб'єктивним поняттям. Найчастіше з усього списку складових якості виділяються основні, на думку дослідника, і для них вирішується завдання оптимізації.

Прикладом такого підходу зі сфери міських пасажирських перевезень може служити уявлення якості перевезень часом пересування. У сфері організації дорожнього руху весь спектр якості руху часто представляється або часом поїздок транспортних засобів або рівнем аварійності. У зарубіжній практиці для фрагментів ВДМ часто використовується критерій рівня обслуговування учасників дорожнього руху, заснований на їх швидкості. Ці варіанти в якійсь мірі є спробою отримання результату - критерію ефективності системи, при неможливості більш повної формалізації критерію, ґрунтуючись тільки на уявленнях проектувальника, а не учасників транспортного процесу про рівень роботи об'єкта. Природно, що в цьому випадку, результати не завжди можуть вважатися досить обґрунтованими, тому що не спираються на об'єктивне ставлення учасників процесу до параметрів роботи об'єкта, так і інші складові

якості в критерії ніяк не відбиваються.

Однак спроби звести в один критерій різні складові, які мають різний фізичний зміст, призводять до обчислювальних труднощів. Подоланню всіх цих труднощів присвячені спеціальні методи формалізації, що розглядаються в наступному розділі. Його матеріал дозволяє зробити цей процес зрозумілим і забезпечити правильне виконання даного етапу системного дослідження, при безпомилковому дотриманні описаної процедури вибору мети і її формалізації в критерії ефективності.

2.1.2. Визначення меж системи

Цей етап також формалізований в недостатній мірі. Але якщо мета функціонування об'єкта визначена, то можна коректно поставити задачу, рішенням якої будуть кордони системи.

Метою будь-якого дослідження або прийняття рішення є вибір варіанта стану об'єкта, що забезпечує оптимальне (або раціональне) значення критерію ефективності в заданій системі обмежень.

$$\mathcal{E} \rightarrow \text{opt.} \quad (2.1)$$

Раціональним вважається значення критерію, краще, ніж якийсь його значення, прийняте в якості бази для порівняння. Найчастіше за базу порівняння приймається значення критерію, що забезпечується існуючим на момент початку дослідження варіантом об'єкта. З точки зору вираження (2.1) це означає, що при раціоналізації об'єкта напрямок зміни критерію зберігається, просто не гарантується здобуття найкращого, в заданій системі обмежень результату. Тому, незалежно від того, який варіант рішення буде отримано, раціональний або оптимальний, це не змінює виду вираження (2.1) і в подальшому для позначення обох процесів буде використовуватися тільки один термін - оптимізація.

Що стосується напрямку оптимізації, то їх існує тільки 2 - мінімум або

максимум. Так як перехід від одного напрямку до іншого легко здійснюється за допомогою зміни в критерії знака «+» на «-» і, навпаки, то без порушення спільності можна стверджувати, що якщо існує (2.1), то його завжди можна представити у вигляді критерію (2.2), який буде в подальшому вважатися основним.

$$\mathcal{E} \rightarrow \max. \quad (2.2)$$

При наявності критерію (2.2) можливо починати рішення оптимізаційної задачі по пошуку бажаного стану об'єкта, рішення якої вимагає певних витрат. При цьому відомо, що чим більша кількість станів об'єкта розглядається, тим більша ймовірність отримання рішення із заданою ефективністю або тим більше ефективне рішення може бути знайдено, якщо бажаний рівень ефективності не заданий. Але тим більше і трудомісткість проведення дослідження. Таке ж твердження буде справедливим і для кількості взаємодій між елементами, що враховуються в дослідженні. Чим більше їх кількість враховується, тим імовірніше отримання ефективного вирішення.

Загальна кількість станів об'єкта, як ми пам'ятаємо, визначається кількістю активних елементів системи і набором можливих станів кожного з них. Кількість взаємодій між елементами системи також багато в чому визначається довжиною їх списку.

Межі системи виділяють два класи об'єктів: елементи системи і елементи зовнішнього середовища. Або, іншими словами, межі системи виділяють елементи системи із зовнішнього середовища, тобто визначають кількість елементів-тов в системі і її якісний склад при відомому рівні деталізації.

З огляду на це, можна в загальному плані стверджувати, що проведення границь системи з одного боку відбивається на ефективності об'єкта дослідження, з іншого боку на витратах на досягнення результатів дослідження.

Тепер, якщо про характер обох залежностей зробити правдоподібні при-

пущення, то можна отримати загальну закономірність, що дозволяє визначити оптимальну кількість елементів системи, тобто сформувавши її кордон. Можна розглянути таку закономірність на найпростішому прикладі транспортної системи, метою якої визначено якийсь результат її функціонування R , має вартісне вимір. Тоді, з урахуванням загальних витрат на дослідження Z_u , критерій (2.2) набуває такого вигляду:

$$\mathcal{E} = R - Z_u \rightarrow \max. \quad (2.3)$$

Як розглянутого прикладу тут приймається найпростіше припущення, згідно з яким включення будь-якого елемента в систему призводить до однакових наслідків, тобто, залежить не від властивостей конкретного елемента, а тільки від загальної кількості елементів в системі.

При цьому, відповідно до припущеннями щодо складності процесу дослідження, зробленими в першому розділі, передбачається, що витрати на дослідження будуть прямо пропорційні квадрату кількості елементів в системі n_e :

$$Z_u = c \cdot n_e^2, \quad (2.4)$$

де c – питомі витрати на дослідження, пов'язані з включенням одного елемента в систему (витрати на визначення його параметрів, взаємодій і пошук бажаного рішення).

Що стосується ефективності системи, то тут подібна, найпростіша лінійна або інша, не обмежена зверху, залежність навряд чи буде служити хорошим описом дійсності, що обумовлено обмеженим характером результатів роботи реальних об'єктів. Це не строге твердження, а припущення, сформульоване в результаті аналізу багатьох критеріїв ефективності, які застосовувалися і застосовуються при дослідженні транспортних систем.

Розглянути ці критерії можна на окремих прикладах.

Припустимо, в якості критерію ефективності при вирішенні завдання зі-лення організації дорожнього руху, прийнято кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) на даному фрагменті транспортної мережі. Мета дослідження - скорочення їх кількості, тобто чим менше кількість ДТП, тим вище ефек-тивність системи. Для цього випадку існує граничне значення критерію ефек-тивності, що дорівнює нулю.

Межа, що дорівнює або більший нуля, є і для іншого критерію в цій сфері - загального часу поїздки автомобіля або окремих складаю-щих часу поїздки, наприклад, часу затримки на перехресті.

Межі також існують і для критеріїв ефективності в сфері ор-ганізації пе-ревозень. Так, наприклад, завдання складання раціональних розвізних марш-рутів вирішується з метою мінімізації пробігу автомобілів. Природно, що пробіг автомобілів, при заданому обсязі перевезень, не може бути менше певної величини, обумовленої умовами розміщення споживачів развозимої продукції.

Потрібно відразу помітити, що всі вище перераховані завдання завжди вирішуються для заздалегідь визначеного періоду часу. Інакше значення показ-ника ефективності легко буде змінюватися за рахунок варіювання періоду ре-алізації розробок. Це твердження стосується і наступного випадку.

При використанні прибутку підприємства в якості критерію ефек-тивності, твердження про наявність межі виглядають дещо менш очевидний-ними. Однак і тут існує межа, рівний максимальному доходу від реалізації про-дукції системи. Так як максимальне значення прибутку може бути досягнуто при витратах на виробництво, рівних нулю, необхідно тільки переконатися в існування межі для доходу від реалізації продукції системи.

Для цього спочатку необхідно зробити застереження про те, що мова йде про реальний дохід, тобто інфляційні процеси не змінюють величини до-ходу. Тоді дохід повинен розглядатися як засіб доступу до товарів і послуг, які існу-

ють в аналізованому періоді (в тому числі і вироб-дящимся). Навіть якщо припустити, що система, в результаті реалізації своєї продукції отримує доступ до всіх наявних у світі на даний момент товарам і послугам, то все одно кількість цих благ для заданого періоду часу обмежена, і ця кількість є межею для доходу системи, хоча досягти його навряд чи кому вдасться.

Такі міркування стосуються і всіх інших відомих в транспортних дослідженнях випадків. На цій підставі і був зроблений висновок про наявність межі у ефективності, який приймається як категоричне, недоведені твердження. За аналогією з прийнятим в математичній статистиці підходом до використання статистичних гіпотез, такі твердження вважаються вірними до тих пір, поки не будуть спростовані на якомусь, єдиному, прикладі. А так як розгляд існуючих критеріїв такого виключення не надав, до появи критерію, що не має меж, буде правильним виходити з необхідності врахування існування межі у будь-якій функції ефективності (2.2). Якщо для цієї функції використовувати лінійну модель, то залежність ефективності системи від кількості елементів матиме вигляд, відображений на рисунку 2.1.

Наявність перелому прямий при підході до межі порушує припущення про однорідність наслідків введення елемента в систему, тому лінійна,

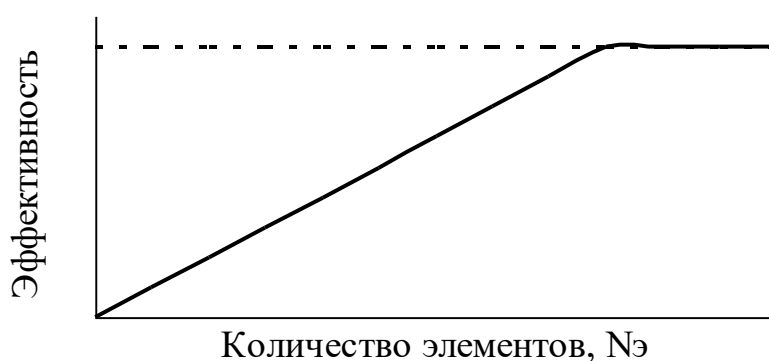


Рисунок 2.1.

так само як будь-яка інша, не обмежена зверху, залежність не буде відповідним описом для характеру залежності ефективності системи від кількості елементів в даній системі.

Наявність межі у результаті функціонування системи, при допущенні про однорідність наслідків включення елементів в систему означає, що включення нового елемента в систему кожного разу призводить до зростання ефективності меншому, ніж включення попереднього. Для опису такого випадку

добре підходить геометрична прогресія зі знаменником, меншим одиниці.

$$r_{i+1} = r_i \cdot q, \quad (2.5)$$

де r_{i+1} , r_i – результат включення $i+1$ -го та i -го елементів в систему відповідно; $q < 1$ – знаменник геометричної прогресії.

Однорідність наслідків в цьому випадку означає сталість відносини результату включення нового елемента по відношенню до результату включення попереднього елемента, що дорівнює q .

Тепер можна отримати загальний вигляд залежності критерію (2.3) від кількості елементів системи, згадавши формулу суми перших n членів геометричної прогресії

$$\mathfrak{E} = \frac{r(q^{n_e} - 1)}{q - 1} - c \cdot n_e^2 \rightarrow \max. \quad (2.6)$$

Якщо задатися конкретними значеннями r , q та c то можна визначити оптимальну кількість елементів, яке дозволяє добитися її максимуму, а також графічно зобразити залежність (2.6), рисунок 2.2.

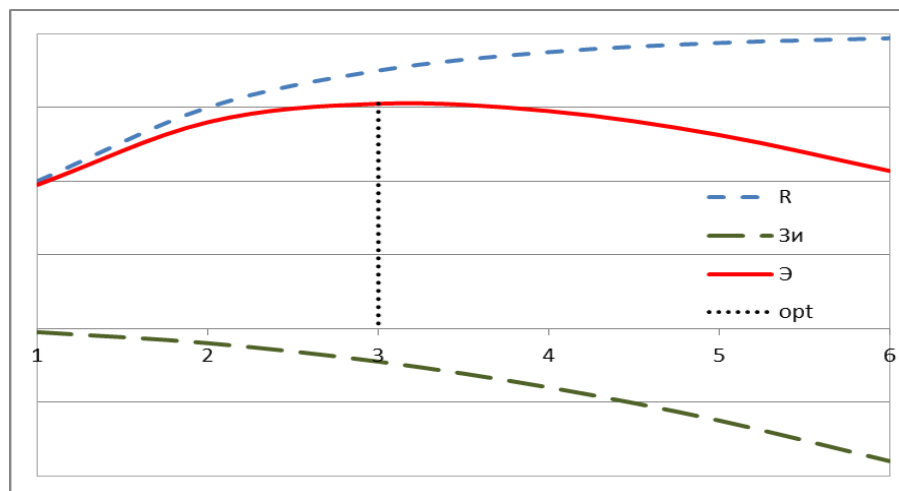


Рисунок 2.2

Количество элементов системы, обеспечивающее максимальную эффективность исследования, на графике обозначено как «opt».

Звичайно, графік 2.2 служить тільки ілюстрацією до процедури проведення кордонів системи. Порядок перегляду елементів в процесі прийняття рішень щодо меж системи в загальному випадку не настільки формалізований і, щоб гарантувати повноту дослідження, необхідно переглянути велику кількість елементів навколишнього середовища. Крім того, для побудови цього графіка були прийняті надто жорсткі обмеження і багато факторів, які впливають на значення параметрів, які не були враховані. Реальні залежності набагато різноманітніше і отримати їх досить складно.

В першу чергу необхідно враховувати існування тимчасового лага між процедурою вибору кордону системи і реалізацією рішень. Витрати на дослідження передують реалізації рішень і не збігаються з ними за тривалістю, це потрібно враховувати при визначенні сумарної ефективності. У витратах на дослідження повинні відображатися не тільки матеріальні і трудові складові, а й витрати часу на його проведення, хоча ця проблема носить переважно технічний характер.

Основні ж проблеми пов'язані з визначенням очікуваних значень ефективності і витрат на дослідження в результаті включення додаткового елемента в систему.

Найпростіший випадок, коли ефективність виражається вартісними показниками, наприклад прибутком об'єкта. Тоді під час розгляду питання про включення об'єкта необхідно тільки вирішити який вплив на доходи, витрати об'єкта надає зміна його стану і які витрати будуть понесені на вибір оптимального стану. Ці питання зазвичай вирішити досить складно, проблема тут загальна для будь-якого критерію ефективності. Чи не дослідивши об'єкт, не можна точно сказати який вплив він може надати на роботу всієї системи і якими будуть витрати на його дослідження. Тому основним способом прогнозування оцінок для показників при визначенні меж системи служить експерт-

ний метод, який носить виключно гіпотетичний характер і не дає ніяких гарантій надійності прогнозів. Підвищити точність прогнозу можна, але це вимагає відповідних витрат на додаткові дослідження.

Більш складним, для визначення раціональних меж системи, є варіант використання натуральних вимірників для показників, що зустрічаються в критерії ефективності. Тут більш висока складність прогнозу обумовлена необхідністю визначення співвідношення між витратами на дослідження і значеннями натуральних показників в критерії ефективності. А це ще більшою мірою знижує надійність і точність прогнозу значень показників в результаті включення даного об'єкту в систему.

Є ще один аспект у цьому питанні, який вносить додаткову складність в процес дослідження і, відповідно, відбивається на процедурі прийняття рішень при проведенні кордонів системи. Для забезпечення надійності результатів дослідження необхідно досліджувати взаємодію між усіма елементами системи. Так як включення нового елемента в систему призводить до необхідності вивчення не тільки його структури, а й до необхідності вивчення взаємозв'язків з усіма вже набраними в систему елементами, то витрати на дослідження елемента завжди залежать від загальної кількості елементів в системі.

І така особливість швидше полегшує процес прийняття рішень при проведенні кордонів системи, так як вводить додатковий фактор, врахувати який відносно легко, що в умовах загальної невизначеності є досить позитивним моментом. І якщо вироблені орієнтири на перших елементах, то прогнозування витрат надалі істотно полегшується з урахуванням цього фактора.

Однак в загальному випадку чітких тенденцій, які зображені на графіках, звичайно ж, не існує і залежність може бути досить складним, рисунок 2.3.

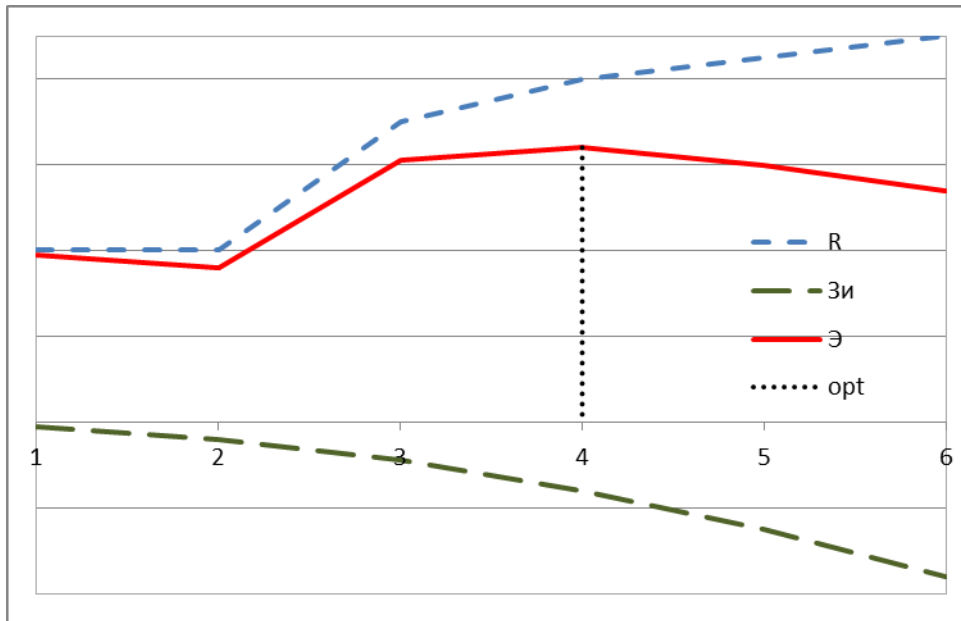


Рисунок 2.3

Підводячи підсумок особливостям виконання цього етапу, слід зазначити, що він вимагає певних знань про властивості об'єкта дослідження і не завжди може бути до кінця формалізований. Однак, знання наслідків включення елементів в систему, істотно полегшує процес проведення її кордонів.

2.1.3. Формування структури зовнішнього середовища

На цьому етапі необхідно охарактеризувати умови функціонування системи, які генерує зовнішнє середовище. Вони характеризуються набором параметрів зовнішнього середовища, які значущий вплив на стан елементів системи.

Як характеристик зовнішнього середовища при вирішенні питань організації перевезень часто приймаються обсяг перевезень за певний період і параметри транспортної мережі. При вирішенні завдань в сфері організації дорожнього руху прикладами найбільш поширених характеристик графічних параметрів транспортного потоку. Список характеристик може бути значно ширше і, за відсутності стандартної методики вирішення поставленого завдання, визначається в кожному випадку індивідуально, залежно від цілей дослідження.

Слід враховувати, що параметри зовнішнього середовища повинні бути визначені на період реалізації рішень дослідження, а так як між періодом збору інформації і періодом реалізації результатів дослідження існує часовий лаг, то завжди необхідно визначати прогностичні значення параметрів зовнішнього середовища.

При виконанні цього етапу можуть виникнути дві ситуації, зумовлені різним рівнем стабільності параметрів зовнішнього середовища.

Відразу слід обмовитися, що питання вважати чи не вважати стан елементів зовнішнього середовища стабільним відбивається на точності результатів дослідження системи і, отже, на ефективності прийнятих рішень. Вирішується він в результаті аналізу параметрів стану зовнішнього середовища і, по суті, являють собою прийняття або відкидання допущення про стабільність параметрів зовнішнього середовища. Якщо припущення приймається, то виникає перша ситуація.

- *Зовнішнє середовище досить стабільна або стабільні тенденції зміни її стану.*

У цьому випадку для визначення параметрів зовнішнього середовища в основному використовуються моделі прогностичного напрямку. Постійне значення параметрів зовнішнього середовища зазвичай описується окремим випадком регресивних моделей - середньою величиною, хоча існують і інші методи прогнозування, наприклад, за останнім значенням.

Друга ситуація виникає тоді, коли припущення про стабільність параметрів зовнішнього середовища вважається неприйнятним.

- *Характеристики зовнішнього середовища зазнають сильних коливань.*

У цьому випадку можливо кілька варіантів дій.

Перший варіант полягає в розширенні кордону системи, тобто у включенні нестабільного елемента зовнішнього середовища в список елементів системи.

Відповідно до технології системного підходу, необхідно описати вплив

на включений елемент нових елементів зовнішнього середовища і елементів самої системи, так як це взаємодія (друге) тепер буде частиною моделі системи. Нові елементи зовнішнього середовища, які впливають на знову сформовану систему, можливо, будуть мати досить стабільними характеристиками.

Цей варіант є хорошим виходом, коли нестабільна структура елемента зовнішнього середовища обумовлена його зв'язками з обмеженою кількістю інших елементів зовнішнього середовища, що мають відносно стабільні характеристики або впливом на нього деяких елементів системи.

Наприклад, сильні коливання обсягу перевезень, які будуть вважатися неприйнятними для прийняття рішень щодо ефективного управління маршрутом, можуть бути подолані шляхом включення елемента "пасажир" в систему "маршрут". Тоді, наприклад, вивчення вплив тарифу досліджуваного маршруту (елемент системи "маршрут") і інших маршрутів (нові елементи зовнішнього середовища) на обсяг перевезень може усунути нестабільність зовнішнього середовища. Ці дії допоможуть подолати проблему, якщо характеристики інших маршрутів досить стабільні. Однак тут слід враховувати наслідки розширення меж системи, описані в попередньому пункті порядку дослідження транспортних систем.

Другий варіант вирішення цієї проблеми полягає в більш глибокій структуризації нестабільного елемента зовнішнього середовища. Якщо продовжити приклад з об'ємом перевезень то, можливо, що виділення для нього більш вузьких інтервалів часу допоможе отримати стабільні значення обсягу в певні проміжки часу. Але тоді рішення необхідно приймати не тільки по кожному інтервалу окремо, але і пов'язувати їх між собою, оскільки існують зв'язки між цими інтервалами. Наприклад, кількість рухомого складу на маршруті може змінюватися тільки з урахуванням часу обороту на ньому і тривалості роботи водіїв на лінії.

Третім варіантом обліку нестабільності структури зовнішнього середовища є опис її стану як випадкової величини. У цьому випадку модель об'єкта

дослідження відноситься до моделей поведінки. Вони використовуються тоді, коли застосування перших двох варіантів дій не дає позитивних результатів через великі зв'язків нестабільного елемента, які і визначають його стан. Але в цьому випадку для вироблення конкретних дій, що управляють на досліджуваній об'єкт необхідна додаткова обробка результатів численних експериментів зі створеною моделлю.

2.1.4. Вивчення внутрішньої структури транспортної системи та визначення складових її елементів

Зміст цього етапу багато в чому аналогічно змісту попереднього етапу визначення структури зовнішнього середовища. Різниця полягає лише в тому, що тут характеризуються параметри елементів системи.

Так як ці елементи є керованими в процесі дослідження, то крім загальних характеристик, приклади яких будуть описані нижче, для кожного елемента повинні бути визначені межі його зміни. Тобто на даному етапі починається формування системи обмежень, точніше, тієї її частини, яка визначає кількість можливих варіантів стану системи. При її формуванні в основному використовуються ресурсні обмеження.

Основне застосування при моделюванні системи знайшли моделі прийняття рішень, а зовнішнє середовище найчастіше описується прогностичними моделями. Різницю в методах моделювання слід враховувати при характеристиці елементів системи. Нестабільні елементи в системі присутні не можуть, все елементи повинні бути охарактеризовані досить точно. Остаточну відповідь на питання про стабільність елементів може бути дана тільки після виконання наступного етапу, проте і на цьому етапі можлива оцінка стабільності характеристик елементів. Для усунення нестабільності з наведених в попередньому пункті підходить тільки один варіант дій - структуризація нестабільного елемента системи.

Характеристики елементів пізніше будуть використовуватися в математичній моделі об'єкта, а сама модель ще не створена, тому на даному

етапі точно невідомо які характеристики необхідні. Для подолання цієї проблеми при виконанні цього етапу можна використовувати "надмірне" опис, яке полягає в зборі всієї доступної інформації про об'єк-екте.

Такий опис допоможе в подоланні необхідності повторного виконання четвертого етапу після моделювання системи. Це, в свою чергу, суттєво вплине на тривалість дослідження, так як для визначення деяких параметрів можуть знадобитися додаткові і щодо тривалі обстеження, які краще проводити паралельно з виконанням інших етапів дослідження.

Останнє зауваження - ступінь доступності інформації є умовним поняттям і рішення про те, яку інформацію потрібно збирати, все-таки має ґрунтуватися на попередніх уявленнях про зміст математичної моделі.

2.1.5. Знаходження залежностей, що характеризують взаємозв'язку між елементами і створення математичної моделі поведінки системи

Порядок створення математичної моделі досить простий, при наявності критерію ефективності системи і списку її елементів, для яких на попередньому етапі задані межі зміни параметрів стану. Важливо, в основному, тільки розуміння цілей моделювання, що полягає в побудові математичної процедури розрахунку значень критерію ефективності, в залежності від параметрів елементів системи. У відповідності з цією метою побудова математичної моделі передбачає певний порядок опису залежностей.

Спочатку намагаються розкрити зв'язку складових критерію ефективності з параметрами зовнішнього середовища і елементів системи. Якщо всі параметри, від яких залежить значення критерію, відомі, тобто вони є керованими параметрами активних елементів системи або відомими характеристиками елементів зовнішнього середовища і системи, то математична модель системи створена. В іншому випадку створюються моделі, що описують залежності для невідомих параметрів. Процес побудови моделі закінчується, коли всі значення на входах в модель будуть відомі.

При створенні кожної залежності проводиться аналіз можливості її вико-

ристання в моделі системи. Він проводиться шляхом висування обмежень, які визначають умови функціонування об'єкта, і прийняття припущень про незалежність досліджуваних параметрів від додаткових чинників, не врахованих в моделі. В цьому випадку невраховані в моделі параметри вважаються постійними. Вони являють собою характеристики елементів системи або зовнішнього середовища.

Для кожної залежності вибирається тип моделі з числа напрямків моделювання, які були описані в рамках першої теми.

Ступінь точності опису взаємозв'язків між елементами має прямий вплив на ефективність результатів дослідження, але точність моделювання обмежена наявною інформацією про елементи системи і навколишнього середовища. Тому можливо, що може знадобитися виконання додаткових дій з числа тих, які виконувалися на 3-му і 4-му етапах дослідження. Доцільність їх повторного виконання повинна визначатися з урахуванням можливого підвищення ефективності об'єкта дослідження. Крім того, в результаті цих дій може знадобитися поглиблення структуризації елементів. Структуризація передбачає виділення декількох підсистем в елементі. Іншими словами збільшується кількість елементів в базовій системі. Тому при структуризації потрібно керуватися тими ж міркуючими-нями, що і при проведенні кордонів системи.

Прикладом структуризації елементів системи є надання пункту навантаження у вигляді сукупності постів, якщо характеристик всього пункту в цілому мало для опису взаємодії з іншими елементами системи на необхідному рівні точності. Якщо повернутися до системи припущень, то ця необхідність виникає, коли припущення про незалежність часу очікування навантаження від кількості постів і типу механізмів на них визнається некоректним.

Незважаючи на гадану з опису простоту порядку складання математичної моделі, зазначеної вище, сам процес моделювання є самим творчим за своїм змістом серед всіх етапів дослідження, оскільки кожен його крок повинен супроводжуватися прийняттям багатьох рішень. Це вибір системи обмежень, які

будуть характеризувати умови функціонування об'єкта, прийняття припущень про характер взаємозв'язків і вибір типу моделі для опису взаємозв'язків. Якщо ці дії виконані, то додатково може знадобитися визначення конкретних параметрів моделі, наприклад для моделей прогностичного напрямку.

2.1.6. Пошук оптимального стану системи

Основні особливості виконання цього етапу були описані при розгляді послідовності системного аналізу. Тут лише слід зазначити, що математична модель об'єкта може бути доповнена алгоритмом пошуку оптимального стану системи. Зазвичай це робиться при вирішенні досить поширених завдань, коли модель може використовуватися більше одного разу.

Прикладами таких моделей можуть служити програми розрахунку раціональних розвізних маршрутів при перевезенні мелкопартійних вантажів або програми маршрутизації міського пасажирського транспорту.

Як механізм пошуку оптимального рішення в них найчастіше використовуються евристичні алгоритми, що дають раціональні рішення.

Якщо ж завдання щодо проста, кількість можливих варіантів стану системи невелика, постановка задачі нетрадиційна і модель навряд чи буде використовуватися ще, то найкращим варіантом, можливо, буде розрахунок параметрів моделі системи для всіх варіантів її стану.

2.1.7. Вироблення керуючих впливів, спрямованих на досягнення оптимального стану системи

На цьому етапі визначаються конкретні механізми впливу на об'єкт дослідження, що дозволяють досягти параметрів активних елементів системи, при яких розрахунковий критерій ефективності системи має оптимальне значення.

Це може бути просто план роботи, наприклад тривалість циклів світлофорного регулювання або план випуску автомобілів на лінію і графік їх роботи. У більш складних випадках, коли інструментарій дослідження дещо

ширше, визначається план створення нових об'єктів, наприклад установки тих же світлофорів або будівництва нових постів навантаження. Тобто тут проект намірів перетворюється в відповідну проектно-кошторисну документацію по реалізації результатів дослідження.

Цей етап є обов'язковим при вирішенні будь-яких завдань і використанні будь-якого інструментарію, не тільки системного підходу. При його виконанні слід ще раз переконатися в достовірності вихідних даних, прийнятих гіпотез і припущень, а також певною мірою точності математичної моделі об'єкта. На закінчення даного підрозділу на рисунку 2.4 наводиться схема виконання етапів дослідження транспортних систем.

2.2 Списки елементів транспортних систем

Наведений вище порядок дослідження транспортних систем дозволяє домогтися, в значній мірі, певній послідовності виконання робіт по прийняттю управлінських рішень при дослідженні транспортних об'єктів.

Але при виконанні багатьох етапів можуть виникати ситуації, коли для отримання прийнятних результатів потрібне повторне виконання попередніх етапів дослідження. Такі повернення значно збільшують тривалість дослідження і його трудомісткість. Крім того, бажано, щоб окремі види дослідницьких робіт могли бути суміщені за часом виконання, що дасть можливість щодо вільного планування дослідницьких робіт і, можливо, дозволить скоротити його трудомісткість.

Для виконання цієї умови були сформовані списки елементів, які можуть включатися в транспортну систему при дослідженні. Зміст списків засноване на досвіді виконаних досліджень транспортних об'єктів, портів носить досить інформативний характер. Використання списків часто допомагає спростити процес формування системи, що описують транспортний об'єкт в дослідженні. Кожен з елементів списку описується відносно обмеженим набором характеристик, що дозволяє на початкових стадіях вирішення завдання зайнятися фор-

муванням вихідних даних для неї.

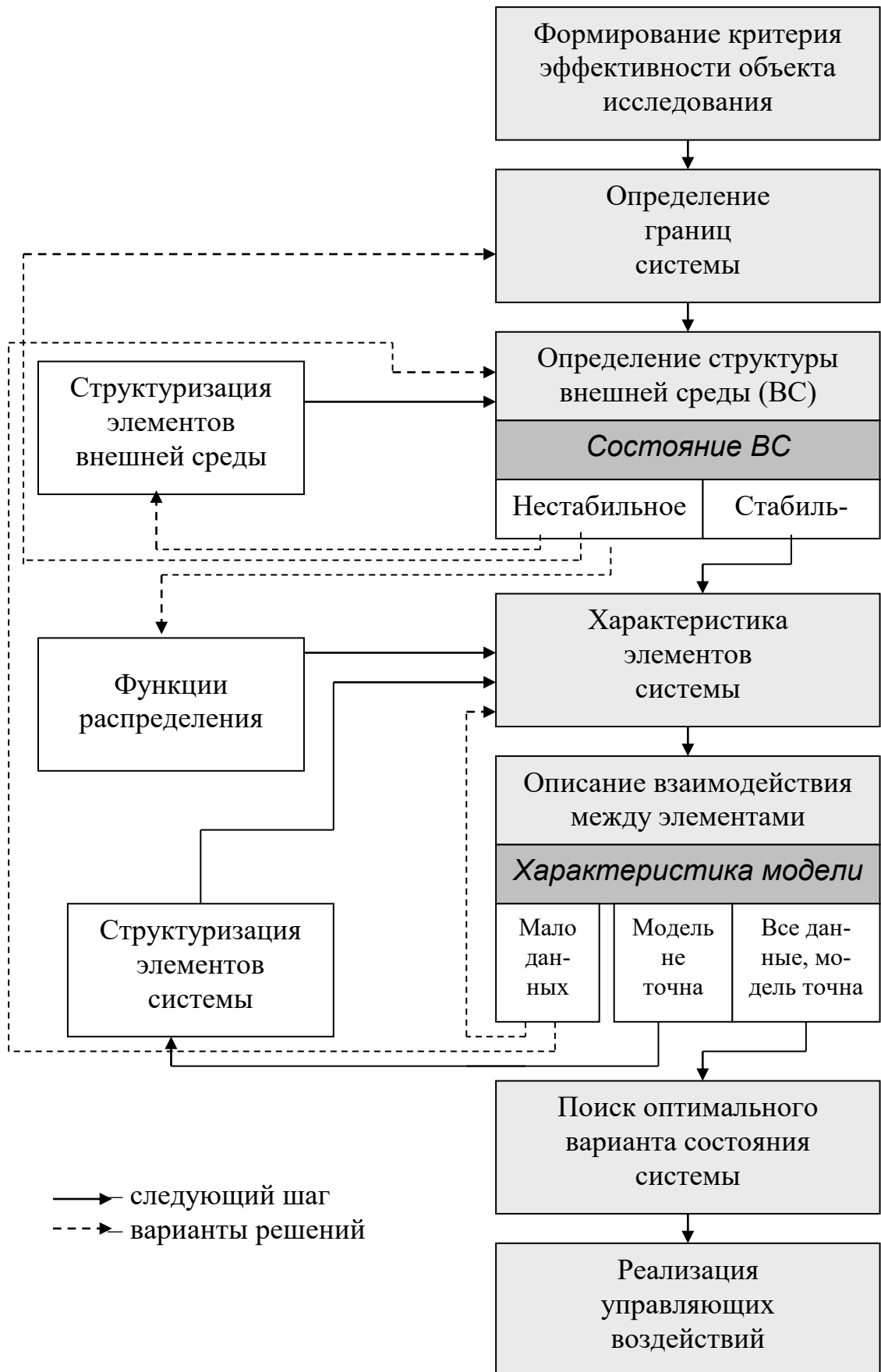


Рисунок 2.4 – Порядок исследования транспортных систем

Списки елементів не потрібні при вирішенні стандартних завдань, для яких розроблені відповідні математичні методи, оскільки тут вже відомий масив вихідної інформації необхідної для вирішення завдання і існують математичні моделі. Наприклад, вони не потрібні при розрахунку найкоротших відстаней або рішенні транспортної задачі. Але, звичайно, такі завдання є тільки частиною всього процесу дослідження і прийняття рішень і вони не можуть охопити весь спектр питань, що виникають при вивченні транспортних об'єктів.

При вирішенні нових або щодо складних завдань, їх постановка і моделювання системи займає тривалий час і залежить від характеристик елементів системи або зовнішнього середовища. У цьому випадку знання списку елементів і їх характеристик дозволяє істотно скоротити тривалість дослідних робіт і підвищити їх ефективність, за рахунок поєднання двох етапів дослідження та надання додаткової інформації для постановки задачі.

Кожен з елементів списку може характеризуватися якісними і кількісними ознаками. Якісні ознаки відносять елемент до якогось класу об'єктів, що володіє певним набором загальних властивостей, кількісні характеризують об'єкт всередині класу.

У зв'язку з істотними відмінностями між завданнями в сфері організації дорожнього руху та завданнями щодо організації перевезень, тут будуть розглянуті два варіанти таких списків.

2.2.1 Елементи систем в організації перевезень

Список елементів складається з двох частин. До основних елементів відносяться ті, які присутні при вирішенні практично всіх завдань з описаними об'єктами. Додаткові елементи можуть не бути присутнім в дослідженнях і використовуються для більш вузького класу об'єктів або нестандартних варіантів дослідження.

Основні елементи:

- *об'єкт перевезень (вантаж або пасажир).*

До найбільш поширених якісним характеристикам об'єкта перевезень відносяться види вантажів і категорії пасажирів. Кількісно цей елемент транспортної системи може характеризуватися об'ємом перевезень за якийсь період, розподілом обсягу за періодами часу. Вантажі додатково можуть бути охарактеризовані об'ємом партії, вартістю одиниці вантажу, часом доставки і так далі.

- *транспортні засоби (рухомий склад).*

Якісною характеристикою рухомого складу зазвичай є його тип, який визначає вид об'єкта перевезень, для якого він призначений. Кількісними характеристиками транспортних засобів є вартісні показники і технічна характеристика.

Приклад вартісних показників - ціна транспортного засобу і вартість одного кілометра пробігу.

Як характеристики також можливе використання кількості доступного рухомого складу, якщо завдання вирішується в рамках підприємства.

- *транспортна мережа (комунікації різних видів транспорту з відповідними засобами управління рухом).*

Характеристики транспортної мережі будуть розглянуті в п'ятому розділі. Тут можна навести приклади таких параметрів, як можливість проїзду різними видами транспорту або середня технічна швидкість руху на мережі. Також можуть бути використані вартісні параметри створення або реконструкції транспортної мережі.

Додаткові елементи:

- *засоби навантаження-розвантаження.*

Характеристики цих елементів транспортної системи аналогічні за своїм змістом характеристиками рухомого складу.

- *складські площі, грають роль міжзмінних і міжопераційних компенсаторів.*

В першу чергу слід відзначити, що до цих елементів відносяться тільки складські площі, які відіграють певну роль в ланцюгах поставок вантажів. Крім

них існують складські площі виробничого призначення, які можуть не мати прямого відношення до транспортування вантажів і вони зазвичай не розглядаються в якості елементів транспортної системи.

Характеристиками складських площ є можливість зберігання і переробки того чи іншого виду вантажу, наприклад відкриті майданчики або криті склади (якісна характеристика), їх ємність і переробна спроможність (кількісні характеристики). Крім них використовуються вартісні характеристики, такі як вартість будівництва, експлуатації складських площ, вартість переробки одиниці вантажу.

2.2.2 Елементи систем в організації руху

Для задач в області організації дорожнього руху може використовуватися наступний список елементів транспортної системи.

- *транспортний потік тих видів транспорту, які впливають на параметри транспортної мережі або елементів організації руху.*

Основними характеристиками транспортного потоку служать його склад, інтенсивність, щільність і швидкість.

- *транспортна мережа (комунікації різних видів транспорту).*

Для вирішення завдань в області організації дорожнього руху зазвичай використовуються характеристики дорожніх умов, наприклад кількість смуг руху, вид покриття, ширина узбіччя, радіуси поворотів і так далі. Можуть також використовуватися вартісні характеристики, такі як вартість будівництва і експлуатації одного кілометра дороги.

- *технічні засоби управління рухом.*

Тут список характеристик визначається видом коштів управління дорожнім рухом. У загальному плані слід виділити вартісні і технічні характеристики. Наприклад, вартість години експлуатації світлофора і тривалість різних фаз світлофорного циклу.

Списки елементів системи допомагають визначити конкретний склад об'єкта дослідження. Вони являють собою умовний трафарет, накладаючи який

на об'єкт дослідження, можна отримати конкретний список елементів, які з найбільшим ступенем ймовірності братимуть участь в дослідженні. Потім можна починати збір характеристик цих елементів, паралельно з постановкою завдання і моделюванням системи.

Домогтися суворій послідовності виконання етапів дослідження за допомогою таких списків не завжди вдається, тому що результати виконання окремих етапів або всього дослідження в цілому в окремих випадках вимагають розширення списку об'єктів, що розглядаються в дослідженні, або доповнення та уточнення характеристик елементів.

Зокрема при моделюванні системи, для підвищення точності моделі іноді виникає необхідність врахування додаткового фактора. Наприклад, для уточнення характеристик транспортного потоку при вдосконаленні системи організації дорожнього руху може знадобитися знання джерел зародження і поглинання транспортних кореспонденцій, тобто включення в дослідження додаткових елементів, яких немає в списку.

Ці списки не є вказівкою до проведення кордонів транспортної системи при дослідженнях, якісь з них можуть бути елементами зовнішнього середовища.

Зокрема, при вирішенні питань організації автомобільних перевезень, транспортна мережа в багатьох випадках виступає в якості елемента зовнішнього середовища. Тобто вона не є інструментом підвищення ефективності об'єкта, а лише формує умови його роботи.

Ця постановка цілком коректна, оскільки вулично-дорожня мережа є об'єктом загального користування і автомобілі, які розглядаються в дослідженні, складають відносно невелику частину транспортного потоку і, відповідно, зазвичай не роблять істотного впливу на параметри мережі. Це означає, що допущення про незалежність параметрів транспортної мережі від параметрів стану об'єкта дослідження є досить коректним для даного випадку. Об'єкт перевезень також дуже часто виступає в якості елемента зовнішнього

середовища.

Однак принципових відмінностей в зборі характеристик елементів системи або елементів зовнішнього середовища немає. Тому збору інформації про елементів зі списків ніщо не перешкоджає. У той же час характеристики об'єктів можуть дати додаткову інформацію до проведення дослідження. Зокрема на підставі характеристик об'єкта перевезень можна зробити висновок про доцільність його включення в список елементів системи, якщо значення обсягу перевезень зазнають сильних коливань через величини тарифу.

Таким чином, список елементів транспортної системи надає допомогу при проведенні системних досліджень в галузі транспорту. Якщо ж вирішуються порівняно прості завдання, він може допомогти повністю усунути повторне виконання окремих етапів дослідження.

У наступних темах, зокрема, розглядаються питання виконання окремих етапів дослідження.

ТЕМА 3. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ЗОВНІШНЬОЇ СЕРЕДОВИЩА. ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ.

На цьому етапі дослідження визначається та призводить до втрати інформації, яка задає умови функціонування об'єкта дослідження. Загальні вказівки до визначення структури зовнішнього середовища, розглянуті в другому розділі, не можуть дати достатньо повного уявлення про цю процедуру через різноманітність вирішуваних завдань. Тому необхідна подальша структуризація варіантів розгляду проблем транспортних об'єктів.

При вирішенні завдань можуть бути виділені **три рівня планування роботи** транспортних систем, які істотно відрізняються один від одного за змістом робіт і, отже, по використовуваній вихідній інформації:

1. *Перспективне планування.*
2. *Поточне планування.*
3. *Оперативне планування.*

Ці рівні планування багато в чому відповідають трьом варіантам системного аналізу транспортних систем по використовуваному інструментарію і кола вирішуваних завдань.

При перспективному транспортному плануванні в основному визначаються стратегічні напрямки розвитку об'єкта дослідження, тобто політика капітальних вкладень. Для пасажирських і вантажних перевезень тут зазвичай розраховуються потрібну кількість і структура рухомого складу, в сфері організації дорожнього руху визначаються потреби в розвитку транспортної мережі.

Внутрішня структура об'єкта дослідження в цьому випадку зазвичай вважається постійною. Такі завдання обумовлюють невисокі вимоги до ступеня деталізації вихідної інформації, використовуваної в якості характеристики зовнішнього середовища, але висувають високі вимоги до її стабільності. Найчастіше це можливі обсяги роботи при розгляді питань організації перевезень,

кількість пересувань або рівень автомобілізації при розгляді питань організації дорожнього руху.

На рівні *поточного транспортного планування* вирішуються питання вибору раціональної технології і організації робіт. Для вирішення таких питань потрібно більш детальна інформація. При розгляді питань організації перевезень найпоширенішим видом вихідної інформації є матриці кореспонденцій вантажів або пасажирів, в організації дорожнього руху - інтенсивності транспортних потоків на розглянутих ділянках мережі. Така інформація, крім високої деталізації, повинна володіти і відносною стабільністю, оскільки період реалізації рішень на рівні поточного планування може бути досить тривалим, що доходить до декількох років. Цей рівень планування є найскладнішим як з точки зору збору вихідної інформації, так і з точки зору застосовуваних тут методів вирішення поставлених завдань.

Рішення задач оперативного планування покликане дати відповіді на питання про конкретні варіанти виконання тих чи інших видів робіт або запропонувати варіанти подолання виниклих нестандартних ситуацій, викликаних нестабільністю характеристик зовнішнього середовища.

Якщо проводити порівняння між поточним і оперативним плануванням у сфері пасажирських перевезень, то складання маршрутної схеми міста відноситься до завдань поточного планування, а організація доставки та вивезення глядачів масового заходу - до оперативного планування. Відповідно і вихідна інформація для розв'язання задач оперативного планування не повинна бути стабільною, зате має бути дуже докладної і точної, так як тут коригування рішень з урахуванням нових обставин може бути сильно ускладнена через дефіцит часу.

При вирішенні завдань оперативного планування в основному використовуються готові набори інформації, які не потребують переробки. Ці набори найчастіше просто формуються замовником транспортної роботи. Тому в подальшому будуть розглянуті тільки методи визначення структури зовнішнього

середовища для перспективного та поточного планування.

У методах визначення структури зовнішнього середовища можна виділити об-щие підходи, характерні практично для всіх завдань в сфері транспортних процесів. Ці підходи в найбільшій мірі відносяться до перспективного планування, коли потрібно визначення відносно невеликого переліку показників зовнішнього середовища. Для їх визначення використовуються **два способи отримання інформації**:

- *емпіричний*;
- *теоретичний*.

Перший передбачає проведення різного роду обстежень для отримання характеристик зовнішнього середовища. Другий - створення математичних моделей, що описують поведінку зовнішнього середовища, для отримання прогностичних значень її характеристик.

Слід зазначити, що при дослідженні завжди потрібне знання характеристик зовнішнього середовища на майбутній період реалізації результатів дослідження. У той же час обстеження можуть надати лише інформацію, що характеризує стан об'єкта на момент проведення обстеження.

Тому застосування теоретичних моделей при отриманні характеристик зовнішнього середовища не уникнути. Це можуть бути найпростіші методи прогнозування, наприклад, за останнім або середнього, з числа зафіксованих значень. Але, тим не менше, процедура переходу від результатів обстеження до прогнозованих параметрах є обов'язковою.

З іншого боку, будь-яка теоретична модель вимагає, для визначення конкретних значень її коефіцієнтів, наявності хоча б мінімального набору фактичних значень, що характеризують об'єкт.

Таким чином, можна зробити висновок, що в загальному випадку, *для отримання характеристик зовнішнього середовища потрібно спільне використання емпіричних і теоретичних способів.*

Найбільший розвиток **при перспективному плануванні** роботи транс-

портних систем отримали моделі прогностичного напрямку, з яких можуть бути виділені три різних типи моделей.

1. Модель "розвитку".
2. Модель "попит - пропозиція".
3. Модель "еластичності".

Всі ці варіанти, з точки зору використовуваного математичного апарату, відносяться до статистичних, регресивним моделям. Різниця між ними полягає лише в списку параметрів, що визначають значення шуканої змінної або в дозвільних здібностях, обумовлених видом моделі.

Свої назви вони отримали на підставі особливостей їх використання в прикладних системних дослідженнях. Ці моделі відносяться до моделей «чорного ящика», для яких характерно тільки зовнішнє опис характеру зв'язків між змінними, без пояснення причин виникнення і існування взаємодій між ними.

Модель "розвитку" включає в себе тренд, тобто основну тенденцію розвитку, періодичні (сезонні) і випадкові коливання.

Більш детально ознайомитися з методами обробки часових рядів можна в літературі, присвяченій питанням математичної статистики. Тут буде розглянуто тільки найпростіший варіант прогнозування, заснований на визначенні тренда. В цьому випадку загальний вигляд моделі "розвитку":

$$Y = f(t, \varepsilon). \quad (3.1)$$

де Y – шукане значення (залежний або результуюча ознака); t – час; ε – випадкова складова.

При отриманні тренда ставиться завдання визначення конкретного виду залежності, що дозволяє прогнозувати величину результуючого при-знака для заданого проміжку часу. Для цього спочатку, з усього різноманіття можливих форм моделей розвитку, одержуваних шляхом перетворення даних, необхідно вибрати одну. Потім за допомогою методу найменших квадратів, отримати

значення коефіцієнтів моделі, при яких довжина вектора нев'язки фактичних і розрахункових значень буде мінімальною.

Розглянемо процес отримання моделі на конкретному прикладі.

Нехай результуючим ознакою є річний обсяг перевезень Q , що є найбільш поширеною характеристикою зовнішнього середовища. За результатами документованого обстеження зафіксовані значення обсягу перевезень, які наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення параметрів моделі розвитку.

Номер спостереження	Рік, t	Обсяг перевезень, Q , тис. т.	Розрахункові значення	
			t^2	$Q \cdot t$
1	14	634	196	8876
2	15	648	225	9720
3	16	646	256	10336
4	17	652	289	11084
5	18	674	324	12132
6	19	676	361	12844
Разом	99	3930	1651	64992

Необхідно визначити прогнозне значення Q на 2020 рік за допомогою моделі "розвитку".

Спочатку потрібно вибрати варіант моделі для розрахунків. Нехай це буде лінійна модель, яка має такий вигляд:

$$Q = a_0 + a_1 \cdot t. \quad (3.2)$$

де a_0 , a_1 – коефіцієнти моделі.

Значення коефіцієнтів знаходяться рішенням системи нормальних рівнянь, що приймає для цього випадку такий вид:

$$\begin{cases} a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n Q_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n t_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot t_i \end{cases}, \quad (3.3)$$

де n – кількість спостережень.

Розрахунки зазвичай проводяться в табличному вигляді, і в даному випадку система записується так:

$$\begin{cases} 6 \cdot a_0 + 99 \cdot a_1 = 3930 \\ 99 \cdot a_0 + 1651 \cdot a_1 = 64992 \end{cases}.$$

Рішенням цієї системи будуть значення 516,4 для a_0 та 8,4 для a_1 . Остаточний вигляд моделі:

$$Q = 516,4 + 8,4 \cdot t. \quad (3.4)$$

Тепер можна розрахувати прогнозне значення обсягу перевезень для 1987 року:

$$Q = 516,4 + 8,4 \cdot 20 = 684,4 \text{ тыс. т.}$$

Результати розрахунків графічно представлені на рис. 3.1.

Допускається включення в лінійну модель додаткових змінних, які представляють собою перетворену шкалу часу. Нехай це буде t^2 . Тоді модель придбає такий вигляд:

$$Q = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2. \quad (3.5)$$

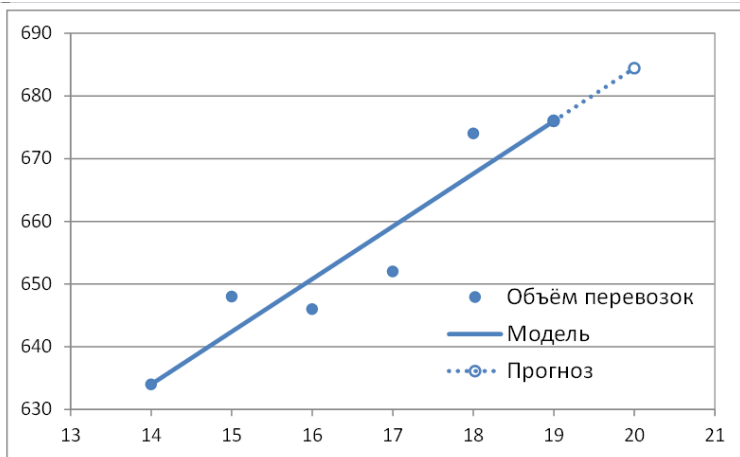


Рисунок 4.1

Ступінь многочлена або будь-який інший варіант перетворення тимчасової шкали вибирається вільно і таким способом можна добитися вельми високого ступеня точності опису фактичних даних. Однак значне ускладнення

розрахунків зазвичай не має сенсу, оскільки тимчасова шкала є лише умовною прив'язкою при описі поведінки досліджуваного параметра.

Якщо в якості бази розрахунків використовувати зовсім іншу шкалу, наприклад починається з 0, то це призведе лише до зміни значень коефіцієнтів моделі, але не результатів прогнозування. Фактично, значення параметра визначаються зовсім іншими факторами, які ніяк не відображені в моделі розвитку. Тому існують дуже серйозні обмеження на використання моделей розвитку.

В першу чергу екстраполяція тренду за межі облікового тимчасового ряду можлива, тоді і тільки тоді, коли допустимо припущення про незмінність чинників, що діяли в звітному періоді, і в прогнозованому періоді.

Ретельна перевірка коректності цього припущення досить складна, що зводить нанівець основна перевага моделі розвитку - простоту. Тому зазвичай вона здійснюється на рівні припущень або графічного аналізу часового ряду досліджуваної змінної.

Такий підхід не дає надійних гарантій коректності прогнозування. Тому моделі розвитку часто виходять як один з результатів пошуку виду моделі «попит-пропозиція».

Моделі «попит-пропозиція» з точки зору математичного апарату є багатofакторні регресивні моделі. Вони мають такий загальний вигляд:

$$Y = f(x_i, \varepsilon), \quad (3.6)$$

де x_i – фактори, що визначають значення результуючого ознаки (незалежні або факторні ознаки).

Моделі «попит-пропозиція» потенційно мають більш високу інформаційну здатність, ніж моделі розвитку, що визначається наявністю в ній факторів, від яких насправді може залежати значення результуючого ознаки. Однак реальна кількість факторних ознак може бути велике або взагалі нескінченним. Тому на початкових стадіях формування моделей «попит-пропозиція» визначається доступний набір даних, що складається з результатів спостереження за зміною результуючого і факторних ознак. Потім проводиться їх аналіз, який виконується за допомогою спеціальних інструментів і характеристик якості моделі і значущості її коефіцієнтів. Після такого аналізу виникає одна из двох ситуацій.

1. На результуючий ознака впливає безліч факторів з при-близно однаковою і невисоким ступенем впливу. У цьому випадку можливе повернення до моделей розвитку, якщо зміна результуючого ознаки має відносно чіткі тенденції або використання для характеристики зовнішнього середовища моделей поведінки в іншому випадку.

2. З безлічі факторів, що діють на результуючий ознака, виділяється один або декілька, що надають істотно більш високий вплив, ніж інші. В цьому випадку, основні фактори залишаються в моделі, малозначні фактори з моделі виключаються, при цьому вважається, що їх вплив відбивається в випадковій складовій.

Поряд з незаперечними перевагами, моделі «попит-пропозиція» мають і істотний недолік, що полягає в тому, що для отримання прогнозного значення спочатку необхідно визначити значення факторів, від яких залежить результуючий ознака. А це може стати серйозною проблемою при визначенні структури

зовнішнього середовища, так як, по суті, вони не обов'язково залежать від параметрів елементів системи і, отже, як факторних ознак тут можуть виступати тільки характеристики інших елементів зовнішнього середовища, які невіддільні досліднику.

Такі моделі можуть застосовуватися і при створенні математичної моделі об'єкта дослідження для опису взаємодії між елементами.

Приклад отримання моделі «попит-пропозиція». Як доступного набору даних виступають результати спостережень за собівартістю перевезень S , паралельно зафіксовані значення обсягу перевезень вантажу і вартість основних фондів підприємства Φ , які тут вважаються основними факторами, що визначають значення собівартості. Дані для розрахунків наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення параметрів моделі «попит-пропозиція».

Номер спостереження	Собівартість перевезення 1 тонни вантажу, S , коп / т	Вартість основних фондів підприємства, Φ , млн. грн.	Обсяг перевезень, тис. т.	Розрахункові показники				
				Φ^2	Q^2	$Q*\Phi$	$S*\Phi$	$S*Q$
1	9,8	3,2	634	10,24	401956	2028,8	31,36	6213,2
2	9,3	3,2	648	10,24	419904	2073,6	29,76	6026,4
3	9,4	3,4	646	11,56	417316	2196,4	31,96	6072,4
4	9,6	3,5	652	12,25	425104	2282,0	33,60	6259,2
5	9,8	3,7	674	13,69	454276	2493,8	36,26	6605,2
6	9,9	3,7	676	13,69	456976	2501,2	36,63	6692,4
Разом	57,8	20,7	3930	71,67	2575532	13578,2	199,57	37868,8

Необхідно визначити прогнозне значення собівартості перевезень S за допомогою моделі «попит-пропозиція» за умови, що в майбутньому періоді обсяг перевезень і вартість основних фондів відповідно складуть:

$$Q = 684,4 \text{ тис. т} \quad \text{і} \quad \Phi = 3,8 \text{ млн. грн.}$$

Спочатку, як і в моделі «розвитку», потрібно вибрати варіант моделі для розрахунків. Нехай це буде лінійна модель, що має для даного випадку такий вид:

$$S = a_0 + a_1 \cdot \Phi + a_2 \cdot Q, \quad (3.7)$$

де a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти моделі.

Значення коефіцієнтів знаходяться рішенням системи нормальних рівнянь наступним чином:

$$\begin{cases} a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n S_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_i \cdot Q_i = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \Phi_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n Q_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Phi_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^2 = \sum_{i=1}^n S_i \cdot Q_i \end{cases} \quad (3.8)$$

Розрахунки проводяться в табличному вигляді, розрахункові показники наведені в таблиці 3.2 і в даному випадку система рівнянь записується так:

$$\begin{cases} 6 \cdot a_0 + 20,7 \cdot a_1 + 3939 \cdot a_2 = 57,8 \\ 20,7 \cdot a_0 + 71,7 \cdot a_1 + 13575,8 \cdot a_2 = 199,57 \\ 3930 \cdot a_0 + 13575,8 \cdot a_1 + 2575532 \cdot a_2 = 37868,8 \end{cases} .$$

Рішенням цієї системи будуть значення $-0,627$ для a_0 , $-1,182$ для a_1 і $0,022$ для a_2 . Остаточний вигляд моделі:

$$S = -0,627 - 1,182 \cdot \Phi + 0,022 \cdot Q. \quad (3.9)$$

Тепер можна розрахувати прогнозне значення обсягу перевезень для майбутнього періоду:

$$S = -0,627 - 1,182 \cdot 3,8 + 0,022 \cdot 684,4 = 9,86 \text{ коп/т.}$$

Моделі «попит-пропозиція» можуть бути використані не тільки для прогнозу стану зовнішнього середовища, а й для аналізу впливу факторних ознак на результуючий. Найпростішим варіантом аналізу є визначення на пряму зміни результуючої ознаки при зміні факторного за знаком відповідного коефіцієнта. Більш складний аналіз можливий з використанням методів математичної статистики

Однак, особливий вид моделі «попит-пропозиція» - модель еластичності дозволяє робити більш глибокі висновки про характер взаємозв'язку між факторними ознаками і результатом.

Модель еластичності має такий вигляд:

$$Y = C \prod_{i=1}^n x_i^{\varepsilon_i}, \quad (3.10)$$

де C – константа, аналог вільного члена в лінійному рівнянні регресії; n – кількість факторів, впливають на результуючий ознака Y ; ε_i – коефіцієнт еластичності i -го факторної ознаки.

Модель «еластичності» наводиться до лінійного вигляду моделі «попит-пропозиція» за допомогою логарифмування:

$$\ln(Y) = \ln(C) + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot x_i. \quad (3.11)$$

Значення коефіцієнтів отримують за допомогою методу найменших квадратів. При мультипликативном характер зв'язків між результуючим і факторними ознаками, модель еластичності краще описує емпіричні дані, ніж лінійний варіант моделі «попит-пропозиція». Але основне застосування вона знайшла завдяки властивостям коефіцієнтів еластичності, значення яких дозволяє визначити не тільки напрямок, але і характер впливу фактора на результуючий.

ючий ознака.

Якщо $\varepsilon_i < 1$, то зміна i -го фактора демпфує (пом'якшує) зміна результуючого ознаки.

Якщо $\varepsilon_i = 1$, то значення i -го фактора прямо переноситься на значення результуючого ознаки.

Якщо $\varepsilon_i = 1$, зміна i -го фактора підсилює зміна результуючого ознаки.

Моделі прогностичного напрямку можна використовувати при виконанні різних етапів дослідження транспортних систем, однак, при підвищенні вимог до точності розрахунків ці моделі повинні поступатися місцем моделям прийняття рішень.

Моделі прогностичного напрямку можуть використовуватися для визначення структури зовнішнього середовища при вирішенні будь-яких завдань перспективного планування з транспортними об'єктами. Однак специфіка конкретних об'єктів дослідження уможливорює застосування і інших, більш досконалих, методів дослідження структури зовнішнього середовища.

Для вирішення завдань перспективного планування транспортних об'єктів, які спеціалізуються на перевезенні вантажів, в основному використовуються такі характеристики зовнішнього середовища, як обсяг перевезень або транспортна робота.

При нестабільній клієнтурі або великих розмірах розглянутого транспортного об'єкта частіше застосовується транспортна робота. Можуть використовуватися й інші вимірювачі потреб в перевезеннях, наприклад авточасов.

Прогнозування цих показників найчастіше виконується за допомогою моделей прогностичного напрямку, описаних на початку розділу. Але при розгляді вантажних перевезень існує можливість застосування більш досконалого апарату опису структури зовнішнього середовища.

Дослідження вантажних транспортних систем багато в чому засновані на тому, що значна частина діяльності вантажного транспорту спрямована на обслуговування різних підприємств, що грають ту чи іншу роль в системі вироб-

ництва і розподілу товарів і послуг. Тобто зовнішнім середовищем для вантажного транспорту найчастіше є система виробництва.

Структура системи виробництва дуже інертна, якщо виділяти в ній досить великі елементи. Стабільність елементів системи виробництва і стійкість зв'язків між ними дозволяє використовувати їх характеристики для визначення умов роботи транспортних систем при перспективному плануванні.

На цих передумовах засновано застосування *статичної лінійної балансової моделі міжгалузевих зв'язків* (СЛБМ) для характеристики зовнішнього середовища. Вона розроблена для вирішення питань макроекономічного планування в масштабах окремого регіону або країни.

Ця модель є яскравим прикладом використання першого варіанта системного аналізу, в тих випадках, коли вона застосовується для планування роботи окремого елемента загальноєкономічної системи. Якщо в якості об'єкта дослідження виступає вся економічна система країни або регіону, то СЛБМ є інструментом другого варіанту системного аналізу, але вже не транспортних, а макроекономічних систем.

Окремий випадок СЛБМ - двухсекторної модель може бути застосована для прогнозування обсягів роботи окремого виробничого об'єкта, в тому числі і транспортної системи. В цьому випадку СЛБМ є інструментом визначення структури зовнішнього середовища, тобто обсягу роботи транспортної системи. Обмежень на таке використання СЛБМ досить багато. Основним з них, з точки зору системного аналізу, є сталість структури елементів економічної системи, адже дослідження найчастіше якраз і спрямоване на зміну структури одного елемента - транспортної підсистеми. Тому використання СЛБМ обмежена, в основному, перспективним плануванням. Однак зрозуміти всі обмеження можна, тільки розглянувши загальний випадок - багатосекторним варіант СЛБМ.

Модель складається з n виробничих секторів і одного сектора кінцевого споживання. Під виробничим сектором в моделі розуміються різні

підприємства, об'єднані в виробничі комплекси. Зазвичай це окремі галузі виробництва, але може бути використано і більш детальне уявлення, за умови дотримання коректності системи припущень.

Якщо використовувати системну термінологію, то виробничий сектор - це елемент економічної системи. Як зовнішнього середовища для економічної системи тут виступає суспільство, яке з одного боку витрачає трудові і природні ресурси на виробництво товарів і послуг, з іншого боку - споживає продукти виробництва.

Кількість секторів в моделі залежить від мети дослідження, потрібної точності рішення і коректності припущень щодо сталості коефіцієнтів прямих витрат. Структура статичної лінійної балансової моделі приведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Структура статичної лінійної балансової моделі *

Номер сектора, поставки	Номер сектора, споживання					Кінцеве споживання, Y	Валовий випуск, Z
	1	...	J	...	n		
1	x_{11}		x_{1j}		x_{1n}	y_1	z_1
...							
i	x_{i1}		x_{ij}		x_{in}	y_i	z_i
...							
N	x_{n1}		x_{nj}		x_{nn}	Y_n	z_n

* в таблиці 3.3 прийняті наступні позначення:

x_{ij} – потік товарів або послуг з сектора i в сектор j (міжсекторного потік);

x_{ii} – власне споживання сектора i , для першого сектора x_{11} ...;

y_i – поставки i -го сектора в сектор кінцевого споживання;

z_i – валовий випуск i сектора.

Кожен виробничий сектор є з одного боку виробляють (який поставляє) і споживають.

У загальному випадку i -й сектор виробляє z_i одиниць продукції, яка направляється в інші виробничі сектори і сектор кінцевого споживання. Ця продукція представлена в таблиці 3.3 рядком відповідного сектора.

Для виробництва продукції кожен сектор споживає продукцію інших секторів (виробниче споживання) - в таблиці 3.3 воно представлено стовпцями.

Кінцеве споживання – це споживання, спрямоване не так на подальше виробництво, а використовується людьми для задоволення своїх потреб. Виділення невиробничого споживання в окремий сектор визначається необхідністю завдання умов функціонування економічної системи.

Всі елементи СЛБМ представляються матрицями.

Матриця міжсекторальних потоків X :

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nn} \end{pmatrix}. \quad (3.12)$$

Вектори кінцевого споживання Y і валового випуску Z :

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_i \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad Z = \begin{pmatrix} z_1 \\ \dots \\ z_i \\ \dots \\ z_n \end{pmatrix}. \quad (3.13)$$

Конкретний зміст модель отримує після заповнення відповідних матриць статистичними даними. Базова залежність моделі визначає значення валового випуску i -го сектора:

$$z_i = y_i + \sum_{j=1}^n x_{ij}. \quad (3.14)$$

З цієї залежності видно, що для повного заповнення трьох матриць до-

силь знання значень тільки двох з них. Це повинна бути матриця міжсекторальних потоків X і один з векторів Y або Z . Загальна кількість вихідних даних в моделі N_δ може бути визначено по залежності (3.15).

$$N_\delta = n \cdot (n + 1). \quad (3.15)$$

Величини потоків можуть задаватися як в натуральному вимірі, що випускається (тонни, тонно-кілометрів, кубометри і так далі), так і в вартісних вимірниках. У загальному плані це не має різниці для моделі. Якщо міжсекторного потік вимірюється вартісними одиницями, то він являє собою вартість поставок з сектора i в сектор j . Валовий випуск сектору в цьому випадку буде являти собою дохід відповідного сектора.

Всі розрахунки в моделі засновані на припущенні про те, що величина витрат на виробництво одиниці продукції в кожному секторі постійна. *Постійна в моделі величина питомих витрат продукції сектора i на виробництво одиниці продукції в секторі j називається коефіцієнтом прямих витрат* і визначається по залежності:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{z_j}, \quad (3.16)$$

де a_{ij} – коефіцієнт прямих витрат між секторами i і j ; z_j – валовий випуск споживає сектора j .

Наприклад, якщо сектор i являє собою сукупність підприємств нафтопереробної промисловості та за рік поставляє в сектор j , який виконує вантажні перевезення, 100 тис. тонн палива, то при обсязі транспортної роботи сектора j за той же період дорівнює 4 млрд. тонно-кілометрів коефіцієнт прямих витрат буде дорівнює

$$a_{ij} = \frac{10^5}{4 \cdot 10^9} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ т/ткм.}$$

Значення всіх коефіцієнтів прямих витрат зводяться в матрицю A :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} \dots a_{1j} \dots a_{1n} \\ \dots \dots \dots \\ a_{i1} \dots a_{ij} \dots a_{in} \\ \dots \dots \dots \\ a_{n1} \dots a_{nj} \dots a_{nn} \end{pmatrix}. \quad (3.17)$$

Матриця A характеризує структуру економіки, тобто взаємозв'язку між елементами. Вона вважається постійною на період планування. Матриця коефіцієнтів прямих витрат нейтрально, тобто всі її елементи більше або дорівнюють нулю.

$$\forall a_{ij} \geq 0. \quad (3.18)$$

Якщо значення всіх потоків мають вартісні вимірники, то значення коефіцієнтів прямих витрат не повинні перевищувати одиниці, в іншому випадку витрати на виробництво продукції будуть перевищувати дохід від її реалізації.

З (3.16) можна визначити значення міжсекторного потоку через коефіцієнти прямих витрат:

$$x_{ij} = a_{ij} \cdot z_j. \quad (3.19)$$

З урахуванням (3.19) рівняння (3.14) набуває вигляду (3.20).

$$z_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot z_j + y_i. \quad (3.20)$$

Якщо такі рівняння записати для всіх секторів, то буде отримана система n рівнянь, яка пов'язує між собою значення поставок виробничих секторів в сектор кінцевого споживання і валовий випуск виробничих секторів:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{1j} \cdot z_j + y_1 = z_1 \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot z_j + y_i = z_i \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^n a_{nj} \cdot z_j + y_n = z_n \end{array} \right. \quad (3.21)$$

У матричному вигляді система (3.23) має такий вигляд:

$$A \cdot Z + Y = Z. \quad (3.22)$$

Після перетворення можна отримати матричне рівняння, в якому обсяг кінцевого споживання визначається через коефіцієнти прямих витрат і вектор валового випуску:

$$Y = Z \cdot |E - A|, \quad (3.23)$$

де E – одинична матриця.

Елементи одиничної матриці визначаються згідно (3.24).

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} 1; \text{ при } i = j \\ 0; \text{ при } i \neq j \end{cases} \quad (3.24)$$

Але рівняння (3.23) не дозволяє здійснювати планування в повному обсязі, оскільки основною метою планування є визначення значень валового випуску секторів. А в (3.23) значення обсягу кінцевого споживання визначаються як залишок від виробничих потреб при відомій структурі економіки. У ньому, з точки зору системного підходу, параметри зовнішнього середовища визначаються на основі параметрів системи, що також підтверджує незручність його використання для цілей планування. Тому необхідно таким чином перетворити (3.23), щоб в ньому значення валового випуску визначалися на основі відомого обсягу кінцевого споживання.

$$Z = |E - A|^{-1} \cdot Y. \quad (3.25)$$

Рівняння (3.25) є основним інструментом планування в рамках статичної лінійної балансової моделі міжгалузевих зв'язків.

Можна ввести позначення:

$$B = |E - A|^{-1}. \quad (3.26)$$

Тоді рівняння (3.25) записується у вигляді (3.27).

$$Z = B \cdot Y. \quad (3.27)$$

де B – матриця коефіцієнтів повних витрат.

$$B = \begin{vmatrix} b_{11} & \dots & b_{1j} & \dots & b_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & \dots & b_{ij} & \dots & b_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & b_{nj} & \dots & b_{nn} \end{vmatrix}. \quad (3.28)$$

У лінійному варіанті це рівняння являє собою систему n рівнянь, кожне з яких має вигляд (3.29):

$$z_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot y_j. \quad (3.29)$$

Значення **коефіцієнтів повних витрат** визначають обсяг продукції сектора i , необхідний для постачання одиниці продукції сектора j в сектор кінцевого споживання.

Якщо продовжити Наведений вище приклад, то для перевезення однієї тонни на один кілометр в цілому буде потрібно інше кількість палива, ніж $2,5 \cdot 10^{-5}$ т/ткм, так як паливо витрачається і в інших секторах, наприклад секторі, в якому випускається рухомий склад для перевезень. Крім того, існують перевезення для забезпечення власних потреб транспортного сектора і далеко не всі перевезення вантажів здійснюються безпосередньо для задоволення потреб людей. Якщо врахувати всі витрати палива, які в кінцевому підсумку будуть потрібні для виконання одного тонно-кілометра в секторі кінцевого споживання при заданій структурі виробництва, то вийде величина більша, ніж коефіцієнт прямих витрат.

За допомогою (3.29) можна розрахувати планове значення валового випуску даного дослідника сектора. Потім можливе уточнення результатів розрахунків за допомогою (3.20). З цієї залежності можуть бути розраховані планові значення міжсекторальних потоків на підставі планових значень валового випуску. Схема планування обсягу роботи секторів по СЛБМ приведена на рис. 3.2.

Порядок расчета по СЛБМ.

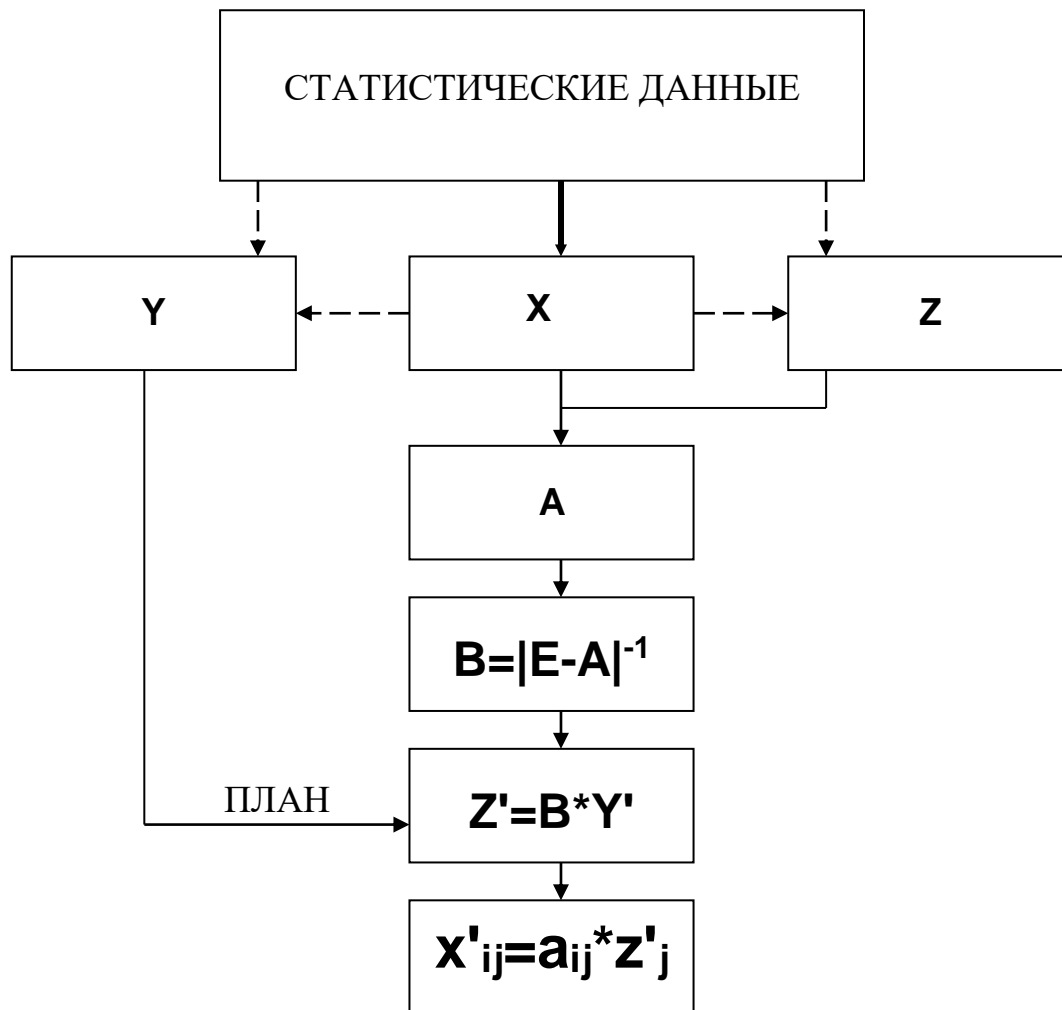


Рисунок 4.2

Використання СЛБМ для цілей планування обмежена рядом факторів. В основному ці фактори позначаються на кількості секторів в моделі. Математичний апарат, використовуваний в моделі, не пред'являє ніяких обмежень на розмірність СЛБМ за винятком ресурсних, визначених програмним забезпеченням.

Однак існують і смислові обмеження, найголовніше з яких зумовлено переважно допущенням СЛБМ - постійністю коефіцієнтів прямих витрат. Для забезпечення коректності такого припущення в загальному випадку в моделі не повинно бути конкуруючих секторів, тобто різних секторів, що випускають однорідну або взаємозамінну продукцію. Наявність таких секторів означає, що сектори, які є споживачами продукції конкуруючих секторів, можуть відносно

легко змінювати своїх постачальників. Це призведе до зміни значень міжсекторальних потоків і, як наслідок, до нестабільності коефіцієнтів прямих витрат. Тому сектори в СЛБМ повинні бути досить великими, що обумовлює зниження раз-вирішальних здібностей моделі.

Крім того, застосування статичної лінійної балансової моделі обмежується доступністю вихідної інформації. Згідно (3.15) кількість вихідних даних, необхідних для планування за допомогою СЛБМ, пропорційно квадрату розмірності моделі. Дворазове збільшення кількості секторів призводить до майже чотириразового зростання кількості необхідних вихідних даних. Тому деталізований варіант моделі може не давати бажаних результатів, через відсутність відповідної статистики, навіть якщо виконано попереднє умова.

Слід також більш детально зупинитися на значеннях коефіцієнтів прямих витрат. Так як їх величина вважається постійною, то згідно (3.20) залежність між міжсекторним потоком і валовим випуском споживає сектора має лінійний характер, пряма 1 на рис. 3.3.

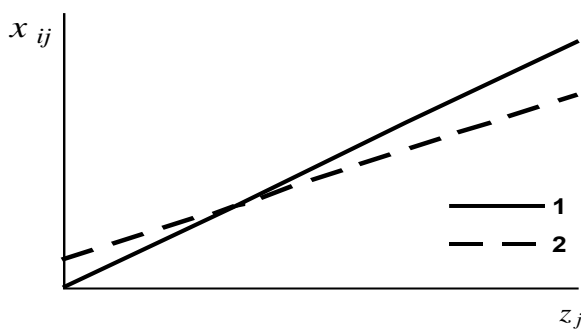


Рисунок 4.3

Однак може існувати і незалежний витрата, тобто якийсь обсяг продукції сектора i , який споживається сектором j при нульовому валовому випуску. І тоді величина міжсекторного потоку, при тому ж фактичному

значенні, буде визначатися по залежності (3.30):

$$x_{ij} = c_{ij} + a_{ij} \cdot z_j, \quad (3.30)$$

де c_{ij} — споживання продукції сектора i в секторі j при нульовому валовому випуску сектора j (незалежний витрата).

Ця залежність представлена лінією 2 на рис. 3.3.

Незалежний витрата може приймати тільки невід'ємні значення

$$c_{ij} \geq 0. \quad (3.31)$$

Виходячи з (3.30) величина коефіцієнта прямих витрат визначиться як

$$a_{ij} = \frac{x_{ij} - c_{ij}}{z_j}. \quad (3.32)$$

З урахуванням (3.31) наявність незалежного витрати веде до скорочення значення коефіцієнта прямих витрат. Тому збільшення валового випуску якогось сектора буде приводити до меншого зростання міжсекторальних потоків, ніж при стандартному варіанті (3.16).

Зазвичай вважається, що немає необхідності враховувати незалежний витрата, якщо його величина відносно невелика, тобто виконується умова:

$$c_{ij} \leq (0,05 \sim 0,10) \cdot x_{ij}. \quad (3.33)$$

Ще одним джерелом похибок розрахунків по СЛБМ є нелінійний характер залежності між міжсекторного потоком і валовим випуском споживає сектора. Зазвичай збільшення обсягу виробництва призводить до скорочення питомих витрат на виробництво одиниці продукції. Така залежність зумовлена ширшими можливостями використання прогресивних технологій у виробництві продукції та маневрування засобами виробництва, виробничими запасами і так далі. Тоді залежність між міжсекторного потоком і валовим випуском споживає сектора буде носити характер уповільненого зростання, лінія 1 на рис. 3.3.

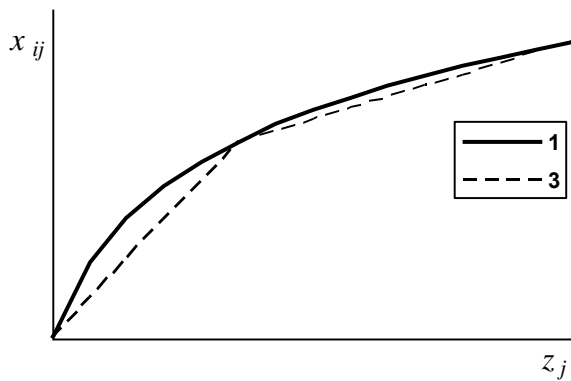


Рисунок 4.4.

Можливий і прискорене зростання витрат при збільшенні валового випуску, якщо для цього потрібне введення додаткових виробничих потужностей. Але в обох випадках між міжсекторного потоком і валовим випуском споживає сектора носить нелінійний характер. В цьому випадку для проведення розрахунків по СЛБМ потрібно лінійна

апроксимація кривої, лінія 3 на рис. 3.3.

При великих розмірностях моделі виникає ще одне джерело похибок планування, обумовлений складністю звернення великих матриць. Неточності звернення найістотнішим чином позначаються на планових значеннях валового випуску секторів.

Домогтися підвищення точності розрахунків в цьому випадку можна за допомогою простої операції, яка полягає у відмові від обліку невисоких значень міжсекторальних потоків. Тоді істотно збільшується кількість нульових елементів в матриці прямих витрат, що значно спрощує процедуру звернення матриці $|E-A|$ підвищує його точність. Формально це записується як попередне перетворення матриць міжсекторальних потоків і кінцевого споживання:

$$\begin{aligned}
 x_{ij}^* &= \begin{cases} x_{ij}; x_{ij} > 0,01 \cdot z_j \\ 0; x_{ij} \leq 0,01 \cdot z_j \end{cases}, \\
 y_i^* &= \begin{cases} y_i; x_{ij} > 0,01 \cdot z_j \\ y_i + x_{ij}; x_{ij} \leq 0,01 \cdot z_j \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{3.34}$$

Згідно (3.34) невисокі значення міжсекторальних потоків прирівнюються нулю в матриці X і включаються загальною сумою в обсяг поставок відповідного сектора в сектор кінцевого споживання. Таким чином, за рахунок втрати точності розрахунків для другорядних потоків підвищується точність

розрахунків для основних міжсекторальних потоків.

У СЛБМ, як і в інших варіантах системних досліджень, структура елементів (секторів) вважається постійною. У той же час усередині секторів можуть відбуватися активні процеси, спрямовані на вдосконалення організації його роботи, що буде приводити до зміни структури сектора, яка характеризується набором коефіцієнтів прямих витрат.

Так, заходи щодо вдосконалення організації перевезень, зазвичай дозволяють скоротити пробіг рухомого складу, що означає скорочення витрати палива і інших експлуатаційних витрат при тих же, що й колись обсягах транспортної роботи.

З точки зору СЛБМ це означає скорочення міжсекторальних потоків, при тому ж валовому випуску сектора, що призводить до відповідного скорочення коефіцієнтів прямих витрат. Схожі або інші процеси призводять до загальному випадку до випадкового характеру коефіцієнтів a_{ij} , внаслідок чого, точність розрахунку істотно знижується з видаленням часового горизонту прогнозування.

Найпростіший вихід з цієї ситуації полягає в укрупненні секторів для віддалених прогнозів, так як стабільність коефіцієнтів прямих витрат підвищується при збільшенні кількості підприємств в кожному секторі. Крім того, при проведенні розрахунків по СЛБМ рекомендується періодично проводити коригування коефіцієнтів, для обліку змін в структурі економіки.

Основне застосування при розгляді транспортних об'єктів може знайти окремий випадок СЛБМ – **двухсекторной модель**. У цій моделі з усіх суб'єктів економічної діяльності даного регіону або країни виділяються два значно розрізняються сектора, рисунок 3.5.

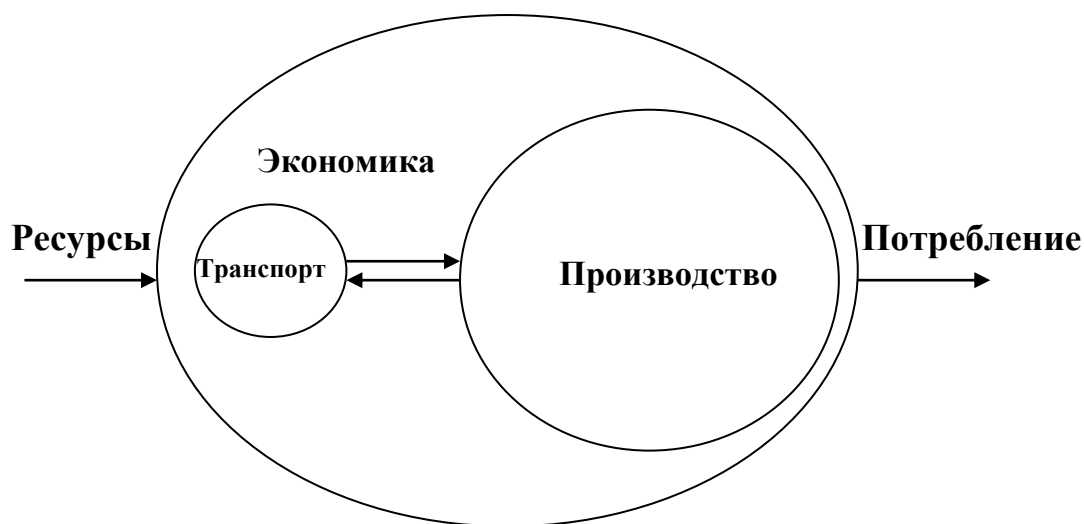


Рисунок 4.5

Перший з них являє об'єкт системного дослідження («Транс-порт»), другий - сукупність інших підприємств економіки регіону або держави («Виробництво»). Природно, що ці елементи мають сильно відрізняються розміри, так як прикладні дослідження зазвичай адресуються відносно невеликій, порівняно з усією економікою, об'єкту.

Вплив об'єкту дослідження на сектор «Виробництво» дуже невелика через різницю в масштабах, тому метою розрахунків за двухсекторної моделі завжди є розрахунок валового випуску об'єкта дослідження. Це також дозволяє подолати проблему сталості структури елементів економічної системи на стадії визначення параметрів зовнішнього середовища.

Характеристики сектора «Виробництво» досить стабільні через солідності його розмірів. Але застосування СЛБМ для визначення обсягів валового випуску сектора «Транспорт» має ґрунтуватися на коректності допущення про стабільність зв'язків між ним і сектором «Виробництво». Сумніви в його коректності можуть виникати при виборі відносно невеликого об'єкта, який матиме конкурентів у секторі «Виробництво». У цьому випадку об'єкт дослідження повинен мати сформовані зв'язки зі своєю клієнтурою, які не піддаються значним коливанням через зміну кон'юнктури ринку.

Нехай в двухсекторної моделі під сектором 1 розуміється сектор

«Транспорт», під сектором 2 - «Виробництво».

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблиці 3.3. Всі показники тут мають вартісні вимірники.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку валового випуску сектора «Транспорт»

Показник	Позначення	Значення
Власне споживання сектора «Транспорт»	x_{11}	134
Обсяг поставок сектора «Транспорт» в сектор «Виробництво»	x_{12}	9123
Обсяг поставок сектора «Транспорт» в сектор кінцевого споживання	y_1	10367
Обсяг поставок сектора «Виробництво» в сектор «Транспорт»	x_{21}	6579
Власне споживання сектора «Виробництво»	x_{22}	78930
Обсяг поставок сектора «Виробництво» в сектор кінцевого споживання	y_2	93457

У цьому варіанті в якості вихідних даних задані значення межсекторних потоків і обсяги поставок обох секторів в сектор кінцевого споживання. Тому спочатку, по залежності (3.15), визначаються обсяги валового випуску секторів:

$$z_1 = 10367 + 134 + 9123 = 19624.$$

$$z_2 = 93457 + 6579 + 78930 = 178966.$$

За залежності (3.17) розраховуються коефіцієнти прямих витрат, які зводяться в матрицю:

$$A = \begin{vmatrix} 0,06828; & 0,05098 \\ 0,33525; & 0,44103 \end{vmatrix}.$$

Потім, по залежності (3.35), розраховується проміжна матриця D :

$$D = |E - A|. \quad (3.35)$$

$$D = \begin{vmatrix} 0,99317; & -0,05098 \\ -0,33525; & 0,55897 \end{vmatrix}.$$

Шляхом звернення матриці D виходить матриця коефіцієнтів повних витрат:

$$B = \begin{vmatrix} 1,03886; & 0,9474 \\ 0,62308; & 1,84584 \end{vmatrix}.$$

На підставі (3.29) можна отримати модель для планування обсягу виробництва сектора «Транспорт».

$$z_1 = 1,03886 \cdot y_1 + 0,9474 \cdot y_2.$$

Як видно з отриманої моделі, для розрахунку обсягу робіт транспортної системи необхідно знати обсяги поставок секторів в сектор кінцевого споживання. Цей варіант визначення характеристик зовнішнього середовища відноситься до моделей прийняття рішень.

При характеристиці зовнішнього середовища для вирішення завдань поточного планування роботи вантажних транспортних систем також необхідно враховувати особливості клієнтури. Так як це в більшості випадків крупні об'єкти, то їх список відносно невеликий і збір вихідної інформації заснований на індивідуальному вивченні і прогнозуванні характеристик кожного клієнта. Якщо ж досліджуваний об'єкт в основному обслуговує дрібних разових клієнтів, то для визначення характеристик зовнішнього середовища тут частіше застосовуються прогностичні моделі.

ТЕМА 4. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ЗОВНІШНЬОЇ СЕРЕДОВИЩА. ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ.

Основні особливості розрахунку параметрів зовнішнього середовища при вирішенні завдань у сфері пасажирських перевезень визначаються специфікою клієнтури. Практично всі клієнти - це пасажирів, які індивідуально вибирають напрямок пересування і спосіб його реалізації. Виняток становить обслуговування потреб підприємств у перевезенні працівників або групових заявок на перевезення. Однак ці види транспортної роботи займають дуже невелику питому вагу в загальному обсязі перевезень пасажирів і завдання їх організації вирішуються, в основному, на рівні оперативного планування.

Велика кількість пасажирів обумовлює різноманітність напрямків перевезення, індивідуально обслужити які не представляється можливим через ресурсних обмежень. У цьому випадку маються на увазі не тільки обмеження по кількості рухомого складу, а й обмеження по пропускній здатності транспортних мереж. У зв'язку з цим і спосіб організації роботи по їх обслуговуванню істотно відрізняється від організації перевезень вантажів.

В організації пасажирських перевезень можна виділити два основних способи задоволення потреб в пересуваннях - індивідуальні та маршрутні перевезення.

Індивідуальні перевезення виконуються для одного людину або невеликих груп пасажирів, що мають схожі потреби в пересуванні. Реалізуються ці перевезення автомобілями-таксі, особистим або службовим легковим автотранспортом. Незважаючи на досить значні обсяги, для дослідження цих перевезень в даний час може бути застосований тільки перший варіант системного аналізу, і як наслідок, тільки в перспективному плануванні. Методи визначення вихідної інформації в цьому випадку аналогічні тим, що застосовуються при дослідженні маршрутних перевезень.

Основна маса пасажирів в нашій країні обслуговується маршрутним

транспортном. В цьому випадку рухомий склад рухається по заздалегідь обумовленими маршрутами, які складають маршрутну мережу регіону

У маршрутних перевезеннях найбільше питомий вміст має обсяг перевезень пасажирів у містах. Для міських перевезень також характерна відносна компактність об'єкта. Ці фактори з одного боку визначають високу ступінь актуальності вирішення завдань в сфері організації перевезень пасажирів у містах, з іншого боку - забезпечують розширені можливості для їх дослідження.

Тому основний розвиток в даний час отримали методи організації перевезень пасажирів у містах і в подальшому всі особливості вивчення структури зовнішнього середовища розглядаються на прикладі міських перевезень. При вивченні приміських і міжміських перевезень можуть застосовуватися якісь з описаних нижче методів, але робити це слід дуже обережно, так як в цьому випадку багато передумови, закладені в цих методах, можуть не виконуватися.

4.2.1 Перспективне планування

В рамках перспективного планування роботи пасажирських транспортних систем в якості основного параметра зовнішнього середовища виступає кількість пересувань, обсяг перевезень пасажирів або транспортна робота. Для прогнозування обсягу перевезень можуть бути використані моделі прогностичного напрямку, описані на початку розділу. Але прогнозування обсягів роботи пасажирських транспортних систем має ряд особливостей, які знижують його ефективність.

При дослідженні вантажних перевезень обсяг перевезень або транспортна робота досить об'єктивно відображають потреби економіки і населення в перевезеннях, що обумовлено переважанням індивідуального обслуговування заявок на перевезення.

У пасажирських транспортних системах маршрутна мережа не в силах забезпечити безпересадним повідомленням всіх пасажирів, що зумовлює наявність пересадок при пересуваннях. Вони викликають додаткові складності

при прогнозуванні параметрів зовнішнього середовища, оскільки точна кількість пересадок встановити досить складно. Так як кількість пересадок багато в чому визначається маршрутною мережею, то обсяг перевезень тут характеризує не загальні потреби населення в перевезеннях, а тільки їх відображення в маршрутній мережі, яка існує на період збирання інформації.

При перспективному транспортному плануванні допущення про сталість маршрутної мережі на прогнозований період виглядає непереконливим. Отже, результати прогнозування обсягів перевезень не можуть забезпечити об'єктивність інформації для планування.

Ще одним чинником, що викликає істотну невизначеність у прогнозуванні, є порядок збору виручки на маршрутах, для якого характерна наявність пільгових категорій пасажирів та системи проїзних квитків. Для того щоб встановити обсяг перевезень для пасажирів, які користуються пільгами або постійними квитками, необхідне проведення спеціальних обстежень. Звітні дані підприємств, що виконують перевезення пасажирів не можуть дати відповідь на це питання.

Тому тут в якості основної характеристики зовнішнього середовища, що відбиває потреби населення в перевезеннях, приймається не обсяг перевезень, а кількість пересувань.

Під пересуванням розуміється реалізація мети зміни місця розташування, тобто шлях проходження пасажирів від пункту відправлення до пункту призначення.

Але кількість пересувань не може бути оцінений через звітну інформацію транспортних підприємств, тому для його визначення в основному використовується залежність (4.36).

$$N_n = N_{жс} \cdot \Pi, \quad (4.36)$$

де N_n – кількість пересувань в місті за аналізований період, найчастіше

рік; $N_{жс}$ – прогнозне значення чисельності населення в місті; Π – рухливість населення.

Рухливість – середня кількість пересувань, що припадають на одного жителя міста в певний проміжок часу.

Залежність (4.36) відображає тільки загальний підхід до прогнозування кількості пересувань.

Чисельність населення міста для прогнозованого періоду визначається з високим ступенем точності. Точність забезпечується з одного боку високою стабільністю характеристик великих сукупностей, з іншого боку - достатнім рівнем вивченості цього показника, оскільки він використовується не тільки в транспортному, але і більшості інших видів планування.

Однак рухливість населення змінюється в досить широких межах. Вона залежить від величини міста, його планування, забезпеченості міста транспортом, рівня життя населення та інших факторів. Значення рухливості населення визначаються на підставі спеціальних обстежень в різних містах і подальшої обробки результатів.

Для підвищення точності прогнозування загальна рухливість населення структурується. В рамках загальної рухливості виділяється транспортна рухливість. Відношення між ними є однією з загальноприйнятих характеристик пасажирських транспортних систем і називається коефіцієнтом використання транспорту K_m :

$$K_m = \frac{\Pi_m}{\Pi_{общ}}, \quad (4.37)$$

де Π_m – транспортна рухливість; $\Pi_{общ}$ – загальна рухливість.

Підстановка тій чи іншій рухливості в залежність (4.36) приводить до отримання кількості пересувань відповідного виду.

Для виділеного кола завдань, тобто питань масових пасажирських пере-

везень в містах, виділяються маршрутна і мережева рухливість.

Мережева рухливість – середня кількість пересувань, які реалізовані на масовому міському транспорті, що припадають на одного жителя в рік.

Маршрутна рухливість – кількість маршрутних поїздок, які реалізовані на масовому міському транспорті, що припадають на одного жителя в рік.

Маршрутна поїздка – маршрут пасажира від місця посадки в транспортний засіб міського маршруту, до висадки з нього.

Відношення між ними називається коефіцієнтом пересадочних $K_{пер}$:

$$K_{пер} = \frac{P_m}{P_c}, \quad (4.38)$$

де P_m – маршрутна рухливість; P_c – мережева рухливість.

Підстановка маршрутної рухливості в (4.36) приводить до визначення кількості маршрутних поїздок або, інакше, до визначення обсягу перевезень пасажирів.

Підстановка мережевий рухливості в результаті дає значення кількості пересувань на масовому пасажирському транспорті - показник, що найбільшою мірою характеризує потреби населення в перевезеннях.

Але такий рівень структуризації рухливості не завжди вважається достатнім і для підвищення точності результатів прогнозування здійснюється виділення більш однорідних сукупностей елементів.

Таке виділення може здійснюватися як для рухливості населення, так і для самого населення. Зокрема, в рухливості можуть бути виділені кілька складових в залежності від цілей пересування: трудова, ділова, культурно-побутова рухливість.

Населення зазвичай ділиться на три відносно однорідних, з точки зору транспортної рухливості, групи: самодіяльне, несамодеятельное і учні. До першої групи належать люди, зайняті роботою, до другої - діти і пенсіонери, до

третьої - учні середніх спеціальних та вищих навчальних закладів.

Тоді залежність (4.36) набуває більш складний вид:

$$N_n = \sum_i^{n_n} \sum_j^{n_n} P_{cij}, \quad (4.39)$$

де n_n – кількість однорідних груп населення; n_n – кількість видів рухливості населення; P_{cij} – значення рухливості i -го виду для j -ої групи населення, пересувань / рік.

Можуть бути виділені інші види рухливості і інші групи населення. Однак слід зазначити, що значення рухливості населення може бути визначено тільки на основі анкетного обстеження, яке зазвичай буває вибіркоким через свою трудомісткості. Збільшення кількості груп для цих показників призводить до зростання необхідного обсягу вибірки або використання методу квот для її формування. І те й інше ще більше ускладнює визначення значень рухливості.

Необхідно також відзначити, що дані про рухливості населення різних міст, що приводяться в літературних джерелах, відносяться до досить віддалених періодів часу, оскільки в останні роки подібні дослідження не проводилися. Тому перспективне планування роботи пасажирського транспорту зараз не може претендувати на високу ступінь точності результатів.

Крім кількості пересувань, в якості вихідної інформації при перспективному плануванні, часто використовується і транспортна робота. Для її визначення необхідно знати ще один показник - середню дальність пересування пасажирів l_{cp} . Дослідження цього параметра в різних містах показали високий ступінь залежності l_{cp} від площі міста. Тому найбільш загальна модель для визначення середньої дальності пересування виглядає наступним чином.

$$l_{cp} = 1,3 + b \cdot \sqrt{F}, \quad (4.40)$$

де F – площа міста, км^2 ; b – коефіцієнт, що визначає найбільш ймовірне ($b=0,3$), мінімальне ($b=0,13$) і максимальне ($b=0,72$) значення середньої дальності пересування.

Залежність середньої дальності пересування від чисельності населення міст з щільністю населення $7,5$ тис. чол/ км^2 , приведена на рис 4.6

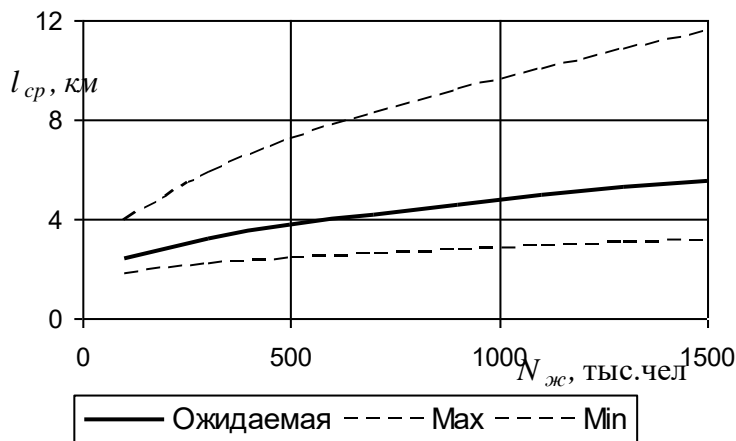


Рисунок 4.6

Транспортна робота для міста P_z на планований період визначається по залежності:

$$P_z = N_{жс} \cdot P_c \cdot l_{ср} \quad (4.41)$$

Для уточнення значення середньої дальності пересування

може використовуватися структуризація міст за типами забудови.

У багатьох випадках транспортна робота є найбільш цінним в інформаційному плані показником для перспективного планування. Однак досить великий розкид її значень вносить додаткові неточності в прогноз. Визначення значення середньої дальності пересування також засновано на проведенні спеціальних анкетних обстежень.

4.2.2 Поточне планування.

Найбільш часто розв'язуваної завданням поточного планування пасажирських транспортних систем є вибір для кожного періоду часу варіанту маршрутної мережі. Існують і більш детальні питання, які вирішуються в рамках поточного планування. Але навіть для вирішення завдання маршрутизації недостатньо знання лише валових показників транспортної роботи, які можуть використовуватися в перспективному плануванні. Для складання оптимального варіанта маршрутної мережі потрібно дуже детальна інформація, яка повинна бути представлена у вигляді матриці мережевих кореспонденцій.

Величина мережевий кореспонденції визначає кількість пасажирів, що бажають здійснити пересування між парою районів за певний проміжок часу.

На відміну від вантажних перевезень кількість клієнтів транспортної системи тут дуже велика і кожен з них має різні потреби в пересуваннях. Тому застосування індивідуального підходу до клієнтів при визначенні структури зовнішнього середовища в даному випадку вельми складно і використовується тільки на рівні оперативного планування.

Визначення структури зовнішнього середовища при вирішенні завдань поточного планування пасажирських транспортних систем засноване на законі великих чисел, зміст якого в широкому сенсі полягає в тому, що при великій кількості випадкових явищ їх середній результат практично перестає бути випадковим, і передбачається з більшою визначеністю.

Сам попит на пересування на поточному рівні планування представляється у вигляді матриці кореспонденцій - квадратної матриці, в кожному осередку якої відображається кількість поїздок, що здійснюються між районом відправлення i (номер рядка матриці) і районом прибуття j (номер стовпчика матриці) за аналізований період.

Так як місця початку і закінчення поїздок якось розподілені по всій території досліджуваного об'єкта, розглядати кожне таке місце окремо, на рівні будівель, не представляється можливим. Тому всю розглянуту територію попередньо ділять на однорідні, з транспортної точки зору, транспортні райони, центри яких в моделі виступають в якості джерел зародження і поглинання поїздок.

Процес визначення матриці кореспонденції ускладнюється низкою факторів, обумовлених властивостями об'єкта дослідження:

- 1. Відсутність математичного опису, що визначає основні причинно-наслідкові зв'язки в процесі вибору пасажиром пари «житло-робота».*
- 2. стохастичную процесів формування пасажиропотоків, обумовлена наявністю великої кількості другорядних факторів, що впливають на точ-*

ність прогнозу.

3. *Нестационарність об'єкта в часі через зміни в планувальній структурі міста і міграції населення.*

4. *Невоспроизводимость експериментів, що виявляється в різній реакції об'єкта на одні і ті ж дії, що управляють в різні моменти часу.*

5. *Активність об'єкта, обумовлена наявністю в системі пасажирських транспорту людей з їх індивідуальними цілями і мотивами поведінки.*

6. *Складність збору вихідної інформації про наміри потенційних пасажирів, яка необхідна для використання моделей прогностичного напрямку.*

Складність завдання визначила досить велика різноманітність методів визначення матриці кореспонденцій, класифікація яких наведена на рис. 4.7.

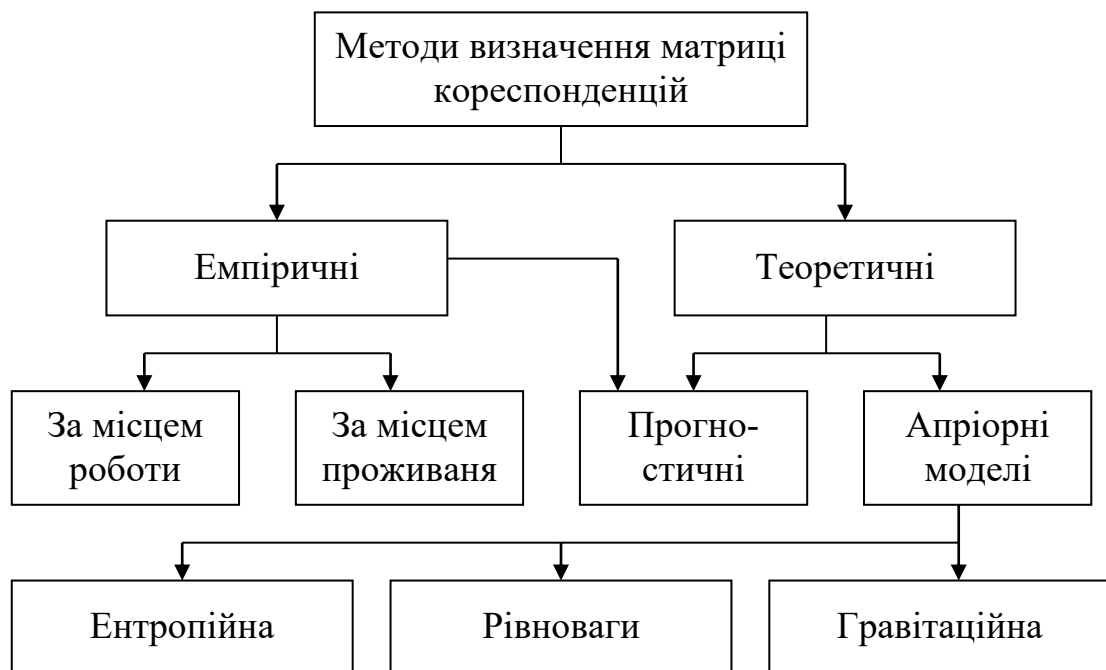


Рисунок 4.7

Найбільш надійними вважаються емпіричні методи, засновані на проведенні анкетних обстежень.

Один з варіантів такого обстеження припускає заповнення індивідуаль-

ними респондентами анкет-запитальників, в яких вони повинні охарактеризувати напрямок і інтенсивність своїх пересувань, а також спосіб їх реалізації. Такі обстеження завжди проводяться вибіркоким методом і не гарантують точності отриманої інформації, як і всі методи обстеження намірів.

Більшого поширення отримав метод обстеження трудових пересувань. В його рамках анкети заповнюються на підставі облікової інформації про працівників, наявної у підприємства. Напрямок трудових поїздок визначається за адресою підприємства і адресою працівників. В анкету заноситься чисельність працівників, які проживають на території кожного поштового відділення міста.

Цей метод досить трудомісткий, але дозволяє отримати досить об'єктивні дані про трудові кореспонденції. Основним його недоліком, крім високої трудомісткості, є вузький охоплення кореспонденцій за програмними цілями, так як він не дає ніякої інформації про культурно-побутових пересуваннях.

З розвитком сучасних засобів комунікації з'явилися нові існуючі розташоване поблизу інформації про фактичні пересування пасажирів, засновані на переміщеннях мобільних телефонів. Ця інформація є безпосередньо в операторів мобільного зв'язку, або може бути отримана через при-розкладання, що використовуються власником телефону. Такий спосіб, так само як і використання електронних карт оплати вартості проїзду, являє собою досить перспективний варіант отримання інформації про потреби населення в пересуваннях і активно розвивається в даний час.

Перехід від результатів обстеження до прогнозних значень матриці кореспонденцій найчастіше здійснюється прийняттям допущення про сталість значень кореспонденцій на прогнозований період (метод прогнозування за останнім значенням).

Отримана за допомогою обстежень інформація також може бути використана для формування матриці кореспонденцій за допомогою **прогностичних моделей**.

Найпростіший варіант таких розрахунків виглядає наступним чином. Є набір характеристик транспортних районів і зв'язків між ними, отриманий в результаті обстеження, а також варіант матриці кореспонденцій, таблиці 4.5 – 4.7.

Таблиця 4.5 – Характеристика транспортних районів

№ транспортно-району	Показник	
	Кількість відправлень	Кількість прибуттів
<i>1</i>	<i>HO₁</i>	<i>HP₁</i>
<i>2</i>	<i>HO₂</i>	<i>HP₂</i>
...
<i>n</i>	<i>HO_n</i>	<i>HP_n</i>

Список характеристик транспортних районів може бути значно ширше і включати бальну оцінку якісних характеристик.

В даному прикладі в якості характеристик зв'язків між районами прийняті відстані між ними. Але цей список може бути істотно розширений за рахунок включення в нього інших показників, що відображають індивідуальні витрати пасажирів на пересування.

Таблиця 4.6 – Характеристика зв'язків між районами (матриця відстаней)

Номери районів		Прибуття			
		<i>1</i>	<i>2</i>	...	<i>n</i>
Відправлення	<i>1</i>	<i>l₁₁</i>	<i>l₂₁</i>	...	<i>l_{n1}</i>
	<i>2</i>	<i>l₁₂</i>	<i>l₂₂</i>	...	<i>l_{n2}</i>

	<i>n</i>	<i>l_{1n}</i>	<i>l_{2n}</i>	...	<i>l_{nn}</i>

Значення внутрірайонних відстаней l_{ii} в таблиці 4.6 можуть бути нульовими. На підставі цих даних складається таблиця 4.8, яка являє собою набір вихідних даних для складання моделі «попит-пропозиція». У ній кожне значення кореспонденції розглядається як окремий досвід, результати якого визначаються характеристиками транспортних районів і зв'язків між ними.

Таблиця 4.7 – Матриця кореспонденцій

Номери районів		Прибуття			
		1	2	...	n
Відправлення	1	h_{11}	h_{21}	...	h_{n1}
	2	h_{12}	h_{22}	...	h_{n2}

	n	h_{1n}	h_{2n}	...	h_{nn}

Таблиця 4.8 – Дані для складання моделі «попит-пропозиція»

Значення кореспонденції h_{ij}	Загальна кількість відправлень з району i , HO_i	Кількість прибуттів в район j , HP_j	Відстань, l_{ij}
h_{11}	HO_1	HP_1	l_{11}
h_{12}	HO_1	HP_2	l_{12}
...
h_{1n}	HO_1	HP_n	l_{1n}
h_{21}	HO_2	HP_1	l_{21}
h_{22}	HO_2	HP_2	l_{22}
...
h_{nn}	HO_n	HP_n	l_{nn}

За цими даними складається модель, яка для даного випадку може мати такий вигляд.

$$h_{ij} = a_0 + a_1 \cdot HO_i + a_2 \cdot HP_j, \quad (4.42)$$

Підстановка прогнозних значень незалежних ознак в (4.42) дозволить розрахувати значення кореспонденцій, що відносяться до прогнозованого періоду. Для реалізації такого методу не обов'язково мати всі значення матриці кореспонденцій, тому він може бути використаний для розрахунку відсутніх в матриці значень після проведення вибіркового анкетного обстеження. Однак підстав вважати такий підхід надійним, він сам не надає, що, втім, відноситься і до решти теоретичним методам моделювання попиту на пасажирські переве-

зення.

Особливий клас методів визначення матриці кореспонденцій складають **апріорні моделі**, засновані на гіпотезах щодо закономірностей формування кореспонденцій.

Рівноважна модель заснована на припущенні про повну залежність поведінки індивідуума в транспортній системі міста від поведінки інших учасників транспортного процесу. З урахуванням цього був зроблений висновок про існування рівноважного стану в системі пасажирського транспорту і сформульована постановка задачі визначення матриці кореспонденцій.

Завдання прогнозування попиту на транспортні послуги слід розуміти як проблему пошуку рівноважного стану пасажирської транспортної системи, яка є результатом колективної поведінки пасажирів в умовах заданих і обмежених транспортних можливостей.

Рівноважним називається стан, в якому жоден з учасників руху не може зменшити свої індивідуальні витрати на пересування за рахунок зміни пари «житло-робота», шляху проходження або способу пересування.

Для цих умов може бути записана система рівнянь, що дозволяє мінімізувати сумарні транспортні витрати на пересування. Рівноважна модель не отримала широкого поширення.

Ентропійна модель заснована на припущенні про аналогії процесів, що відбуваються всередині транспортних систем з термодинамічними процесами. Іншими словами тут використовується припущення, прямо протилежне попередньому - про повністю випадковому поведінці пасажирів в транспортній системі. Тоді величини кореспонденцій визначаються за принципом максимізації ентропії, згідно з яким система з найбільшою ймовірністю приймає максимально стійкий стан з мінімумом внутрішньої енергії (максимумом ентропії).

У застосуванні до задачі формування матриці кореспонденцій цей принцип веде до пошуку рішення рівняння:

$$\max S = \max\left(-\sum_i^n \sum_j^n h_{ij} \cdot \ln(h_{ij})\right), \quad (4.43)$$

де S – ентропія системи; n – кількість транспортних районів.

При практичних розрахунках гіпотеза про повністю випадковому поведінці пасажирів замінюється гіпотезою про наявність апріорної інформації про переваги пасажирів при виборі пари районів i і j . Тоді розрахунки по ентропійному моделі зводяться до пошуку максимуму рівняння:

$$\sum_i^n \sum_j^n h_{ij} \cdot \ln\left(\frac{\lambda_{ij}}{h_{ij}}\right) \rightarrow \max, \quad (4.44)$$

де λ_{ij} – «Ідеальні» кореспонденції, відповідні апріорним перевагам населення.

Максимальне значення для (4.44) відшукується при виконанні смислових обмежень по ємностей транспортних районів по відправленню і прибуттю.

$$\sum_j^n h_{ij} = HO_i; \sum_i^n h_{ij} = HP_i; \sum_i^n HO_i = \sum_j^n HP_j. \quad (4.45)$$

Основна перевага ентропійному моделі - простота її реалізації на ЕОМ, яка привела до досить широкому її використанню. Недоліком є невисока точність розрахунків, яка, однак, характерна для всіх апріорних моделей.

Найбільше поширення з числа апріорних моделей отримала гравітаційна модель, заснована на припущенні про подібність взаємодії між транспортними районами міста з законом всесвітнього тяжіння. Як маси в пасажирської системі виступають ємності транспортних районів по відправленню і прибуттю. Загальний вид залежності для визначення значень кореспонденцій:

$$h_{ij} = f(HO_i; HP_i; c_{ij}), \quad (4.46)$$

де c_{ij} – функція індивідуальних витрат пасажирів при пересуванні з району i і j .

Функція індивідуальних витрат пасажирів зазвичай приймається зворотного або дальності або часу пересування.

$$c_{ij} = l_{ij}^{-1}; c_{ij} = t_{ij}^{-1}, \quad (4.47)$$

де t_{ij} – час пересування між районами i і j .

В реальних розрахунках загальний вигляд моделі (4.46) найчастіше замінюється залежністю (4.48), яка дозволяє отримати прийнятне рішення, що відображають загальні зв'язку між параметрами в моделі.

$$h_{ij} = HO_i \frac{HP_j \cdot c_{ij} \cdot k_j}{\sum_m^n HP_m \cdot c_{im} \cdot k_m}, \quad (4.48)$$

де k_{ij} – калібрувальний коефіцієнт, що забезпечує виконання умов (4.45).

Обчислення матриці кореспонденцій зазвичай зводиться до двоетапної процедури, приклад якої наведено нижче. Для розрахунку матриці необхідно мати значення ємностей по відправленню і прибуттю і задати коефіцієнти тяжіння між районами. Однак зазвичай коефіцієнти тяжіння визначаються на основі залежностей (4.47), тому в вихідну інформацію включаються дані про відстані або часу пересування між районами.

Приклад розрахунку матриці кореспонденцій гравітаційним методом.

Вихідні дані:

Кількість транспортних районів в досліджуваному місті $n = 5$.

Ємність районів по відправленню і прибуттю приведена в таблиці 4.9,

матриця найкоротших відстаней між районами - в таблиці 41.

Таблиця 4.9 – Характеристика транспортних районів

№ транспортно-портного району	Кількість відправлень, <i>НО</i> , чол	Кількість прибуттів, <i>НР</i> , чол
1	100	500
2	200	400
3	300	300
4	400	200
5	500	100

Таблиця 4.10 - Матриця найкоротших відстаней *L*, км

Номери районів		Прибуття				
		1	2	3	4	5
Відправлення	1	0	6	12	14	8
	2	14	0	7	8	11
	3	12	8	0	16	12
	4	14	8	13	0	14
	5	12,5	11	12	14	0

Порядок розрахунків.

1. За залежності (4.47) визначаються значення функцій тяжіння c_{ij} .

Так як значення відстаней по головній діагоналі матриці *L* дорівнюють нулю, то значення коефіцієнтів тяжіння для цього випадку приймаються окремо і залежність (4.47) для даного прикладу набуває такого вигляду.

$$c_{ij} = \begin{cases} 0,2; & \text{при } i = j \\ l_{ij}^{-1}; & \text{при } i \neq j \end{cases} \quad (4.49)$$

Константа в першій частині системи (4.49) являє собою коефіцієнт тяжіння для внутрірайонних кореспонденцій *i*, в загальному випадку, може прийматися вільно.

Матриця коефіцієнтів тяжіння *C*, розрахована за (4.49) наведено в таб-

лиці 4.11.

Таблиця 4.11 - Матриця коефіцієнтів тяжіння C

Номери районів		Прибуття				
		1	2	3	4	5
Відправлення	1	0,2	0,167	0,083	0,071	0,125
	2	0,071	0,2	0,143	0,125	0,091
	3	0,083	0,125	0,2	0,063	0,083
	4	0,071	0,125	0,077	0,2	0,071
	5	0,125	0,091	0,083	0,071	0,2

2. Розраховується проміжна матриця D

Для розрахунку значень кореспонденцій по залежності (4.48) необхідно знання знаменника дроби, для розрахунку якого зручно ввести проміжну матрицю D , елементи якої визначаються по залежності (4.50).

$$d_{ij} = HP_j \cdot c_{ij} \cdot k_j. \quad (4.50)$$

Також вводиться позначення для суми елементів матриці D по i -ой рядку $d_{\Sigma i}$.

$$d_{\Sigma i} = \sum_{m=1}^n d_{im}. \quad (4.51)$$

Після зазначених позначень залежність (4.48) можна записати в більш простій формі.

$$h_{ij} = HO_i \cdot \frac{d_{ij}}{d_{\Sigma}}. \quad (4.52)$$

На першому етапі розрахунків значення калібрувальних коефіцієнтів приймаються рівними одиниці.

$$\forall k_i = 1. \quad (4.53)$$

Розраховується проміжна матриця коефіцієнтів (4.50) і значення сум в ній (4.51). Наприклад.

$$\begin{aligned}d_{12} &= HP_2 \cdot d_{12} = 400 \cdot 0,167 = 66,7 \\d_{21} &= HP_1 \cdot d_{21} = 500 \cdot 0,071 = 35,7 \\d_{\Sigma 1} &= 100 + 66,7 + 25 + 14,3 + 12,5 = 218,5\end{aligned}$$

Результати решти розрахунків наведені в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 - Проміжна матриця D

Номери районів		Прибуття					d_{Σ}
		1	2	3	4	5	
Відправлення	1	100	66,7	25	14,3	12,5	218,5
	2	35,7	80	42,9	25	9,1	192,7
	3	41,7	50	60	12,5	8,3	172,5
	4	35,7	50	23,1	40	7,1	155,9
	5	40	36,4	25	14,3	20	135,7

3. Визначається перший варіант матриці кореспонденцій H , на підставі даних таблиці 4.12 по залежності (4.52).

$$\begin{aligned}h_{11} &= HO_i \cdot \frac{d_{11}}{d_{\Sigma 1}} = 100 \cdot \frac{100}{218,5} = 46 \\h_{12} &= HO_i \cdot \frac{d_{12}}{d_{\Sigma 1}} = 100 \cdot \frac{66,7}{218,5} = 31\end{aligned}$$

Результати решти розрахунків, а також суми елементів матриці кореспонденцій по рядках і стовпцях наведені в таблиці 4.13. Суми елементів матриці розраховуються для перевірки виконання умов (4.45).

Таблиця 4.13 - Перший варіант матриці кореспонденцій H

Номери районів		Прибуття					HO'
		1	2	3	4	5	
Відправлення	1	46	31	11	7	6	101
	2	37	83	45	26	9	200
	3	73	87	104	22	14	300
	4	92	128	59	103	18	400

	5	147	134	92	53	74	500
HP'		395	463	311	211	121	-

Результати розрахунків показують, що обмеження за кількістю прибуттів в транспортні райони для матриці кореспонденцій виконано. Це завжди забезпечується способом розрахунку значень кореспонденцій по залежності (4.52).

У той же час, інша частина обмеження (4.45), що стосується обсягу прибуттів не виконується, так як розрахункові значення ємностей транспортних районів по прибуттю HP' не збігаються з вихідними ємностями HP .

4. Розраховуються значення коригуючих коефіцієнтів k_j по залежності (4.54). Це необхідно для усунення похибок розрахунку.

$$k_j = \frac{HP'_j}{HP_j}. \quad (4.54)$$

Результати розрахунку коригуючих коефіцієнтів наведені в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 - Значення коригувальних коефіцієнтів

№ транспортного району, i	1	2	3	4	5
Коригувальний коефіцієнт, k_i	1,266	0,86	0,965	0,948	0,826

4. Необхідно повторити розрахунки з урахуванням коригуючих коефіцієнтів, починаючи з другого етапу. Але, так як вже є перший варіант проміжної матриці, значення нової проміжної матриці D' , зручніше розраховувати на його основі по залежності (4.55).

5.

$$d'_{ij} = d_{ij} \cdot k_j. \quad (4.55)$$

Тут же розраховуються нові значення сум для D' . Наприклад.

$$d'_{12} = d_{12} \cdot k_2 = 66,7 \cdot 0,86 = 56,7$$

$$d'_{21} = d_{21} \cdot k_1 = 35,7 \cdot 1,266 = 45,2$$

$$d'_\Sigma = 126,6 + 57,6 + 24,1 + 13,6 + 10,3 = 232,2$$

Результати решти розрахунків наведені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 - Остаточний варіант проміжної матриці D'

Номери районів		Прибуття					d'_Σ
		1	2	3	4	5	
Відправлення	1	126,6	57,6	24,1	13,6	10,3	232,2
	2	45,2	69,1	41,4	23,7	7,5	186,9
	3	52,8	43,2	57,9	11,8	6,9	172,6
	4	45,2	43,2	22,3	37,9	5,9	154,5
	5	50,6	31,4	24,1	13,6	16,5	136,2

5. *Остаточний варіант матриці кореспонденцій* розраховується по залежності (4.52), з використанням нових значень проміжної матриці D . Результати розрахунків наведені в таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 - Остаточний варіант матриці кореспонденцій H'

Номери районів		Прибуття					HO'
		1	2	3	4	5	
Відправлення	1	54	25	10	6	4	99
	2	48	74	44	25	8	199
	3	92	75	101	21	12	301
	4	117	112	58	98	15	400
	5	186	115	88	50	61	500
НР'		497	401	301	200	100	

Для цього варіанту матриці кореспонденцій обмеження (4.45) виконуються з прийнятною точністю як для відправлень з транспортних районів, так і для прибуттів в них.

Наведений приклад свідчить про простоту алгоритмізації розрахунку

матриці кореспонденцій по гравітаційної моделі і легкості його реалізації на ЕОМ.

Але ця модель, як і інші з числа апріорних не дає гарантій високої точності розрахункової матриці. Основною причиною є той факт, що в якості фактора, що обумовлює значення кореспонденцій приймається тільки витрати на пересування між районами. У той же час на вибір пари «житло-робота» безумовно, впливають і інші фактори, наприклад вартість житла і наявність відповідного місця роботи. Дослідження показують, що в дійсності транспортні фактори роблять дуже мало впливав вибір людьми місця роботи при наявності власного житла. Немає ніяких підстав припускати, що і при оренді житла, вартість поїздок стане ключовим фактором у виборі пари «житло - робота».

Незважаючи на це, основним підходом до визначення вихідної інформації для вирішення завдань поточного планування пасажирських транспортних систем в даний час все-таки є апріорні моделі розрахунку матриці кореспонденцій і, в першу чергу гравітаційна модель. Така ситуація обумовлена відсутністю загальноприйнятих альтернатив цим методам і вимагає свого рішення з метою підвищення точності моделей попиту.

Тут варто відзначити, що в даний час в світі виконується досить велика кількість робіт з перспективного та поточного планування роботи міських, регіональних і державних транспортних систем. Це стало можливим з появою програмних продуктів, призначених для транспортного моделювання територіальних об'єктів, які стали основним інструментом такого планування.

Подібних програм існує досить багато і може скластися враження, що транспортним фахівцям надано повний і вичерпний вибір інструментів для транспортного планування. Але, жоден з існуючих програмних продуктів, на жаль, не гарантує абсолютну точність прогнозу і не надає вказівок до вибору найбільш підходящих засобів моделювання з числа наявних у його арсеналі. Цей арсенал складається з програмно реалізованих, відомих методів моделювання, кількість і якість реалізації яких визначає, наскільки високий рівень про-

грамного продукту.

Найбільшого поширення в світі отримали такі програмні продукти, як AIMSUN, CUBE, EMME, SATURN, TransCAD, TRANSIMS и VISUM. Особливості кожного програмного продукту тут не наводяться, можна тільки відзначити, що всі вони, в принципі, призначені для вирішення одних і тих же завдань - правильно розподілити транспортні потоки по транспортній мережі та розрахувати кількісні характеристики поїздок в ній.

Спільними для них також є і підходи до моделювання попиту на пересування. Всі вони реалізують загальноприйняту в даний час, чотиріхетапную процедуру моделювання попиту, що складається з *створення і розподілу попиту, вибору системи транспорту і формування транспортних (або пасажирських) потоків на мережі*.

Під створенням попиту розуміється визначення обсягів відправлень і прибуттів для транспортних районів, тобто заповнення табл. 4.9 з приведенного вище матеріалу. Розподілом попиту називається власне процедура формування матриці кореспонденцій. Два останні етапи відносяться до моделювання вибору учасниками транспортного процесу способів реалізації потреби в пересуваннях - виду транспорту і маршруту.

Для отримання матриці кореспонденцій в цих програмних продуктах найчастіше використовується та ж гравітаційна модель, але при цьому в них серйозну увагу приділяється визначенню функції опору, яка в наведеному вище прикладі описується рівнянням (4.49). В існуючих методиках транспортного моделювання параметри цієї функції приймаються, виходячи з результатів обстеження фактичного попиту.

Однак це не гарантує точність розрахунку матриці кореспонденцій, що обумовлена складнощами цього процесу, описаними вище. Основна проблема моделювання попиту виникає як раз на етапі формування матриці. Ємності транспортних районів, які є сумами рядків і стовпців матриці, в більшості випадків можна визначити з достатньою точністю. Однак специфіка самої мат-

риці, як об'єкта моделювання, полягає в тому, що одним і тим же сумах може відповідати дуже велика кількість варіантів заповнення її осередків. І жодна теоретична модель не в змозі дати точний опис кількісному розподілу напрямків поїздок в силу випадковості цього процесу з транспортної точки зору. Єдина інформація, доступна транспортним інженерам - про дальності або тривалості поїздок поїздок, є тільки одним з факторів, що формують попит. При цьому вона ніяк не пов'язана з джерелами виникнення потреби в пересуваннях, а тільки частково відображає негативну сторону пересування. Досягнутий на сьогодні рівень транспортного планування вимагає істотного підвищення точності моделей попиту на основі не тільки нових інформаційних технологій, а й нових підходів до відбиття об'єктивно існуючих зв'язків навколишнього світу.

ТЕМА 5. МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

Переважає більшість завдань поточного транспортного планування перевезень вирішується за участю транспортної мережі або в якості елемента даної системи, або як елемент зовнішнього середовища. Ця значимість транспортної мережі підкреслена в списках елементів транспортної системи при вирішенні завдань, як в області організації перевезень, так в сфері організації дорожнього руху.

Найпростішим прикладом моделі транспортної мережі може служити звичайний атлас автомобільних доріг. Простота моделі означає і її обмежені можливості. Користуючись атласом можна прокласти маршрут руху між двома точками або розрахувати відстань між ними. Ось, мабуть, і все.

Але для вирішення завдань створення або організації роботи навіть щодо простих транспортних систем таких можливостей явно недостатньо. Для отримання прийняттого рішення найчастіше потрібно перегляд значної кількості станів транспортної системи, причому кожному стану притаманний свій варіант трасування шляхів слідування транспорту. Виконати такі розрахунки без застосування ЕОМ практично неможливо. Тому основним завданням моделювання транспортних мереж вважається створення моделей, придатних для проведення розрахунків з ними на ЕОМ.

До теперішнього часу розроблено досить велику кількість варіантів моделювання транспортної мережі, що відповідають цим вимогам. Їх класифікація приведена на рисунку 5.1.

Слід враховувати, що при вирішенні завдань дослідження транспортних систем, крім опису шляхів пересування розглянутого виду транспорту, звичайно потрібні додаткові характеристики, такі як дозволена швидкість або кількість смуг руху, наприклад, і в моделі транспортної мережі повинна бути передбачена можливість їх включення.

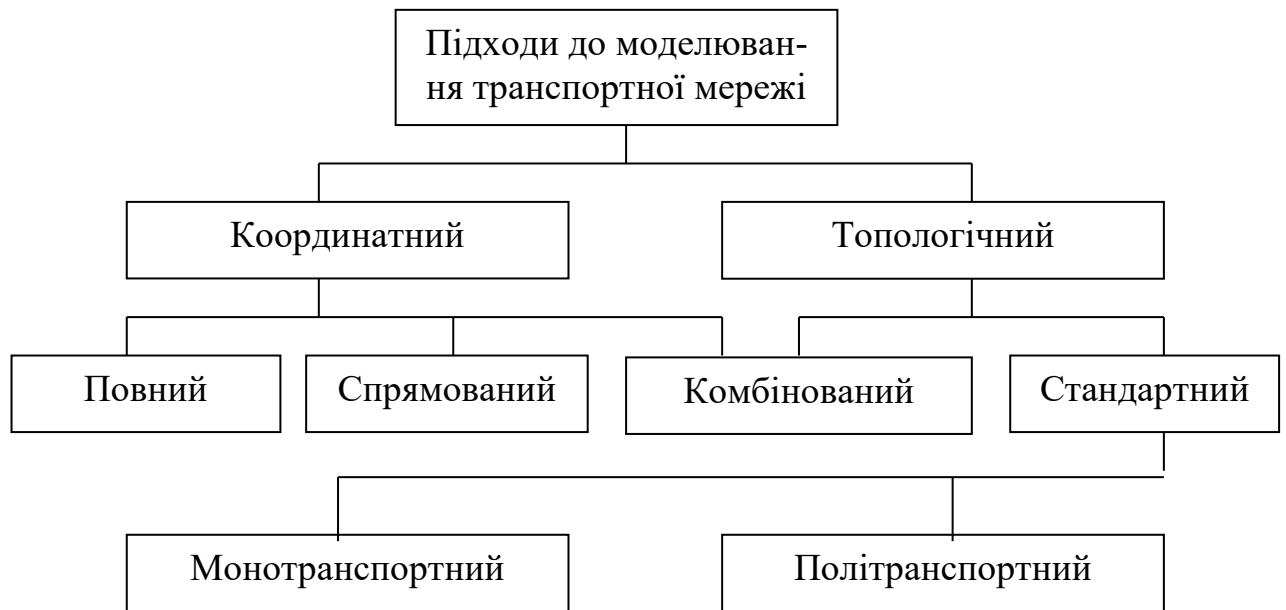


Рисунок 5.1 – Підходи до моделювання транспортної мережі

Достатня різноманітність методів моделювання транспортної мережі разом з її простотою, як об'єкта моделювання дозволяє створювати досить докладні моделі, що забезпечують проектувальника повною інформацією про можливості організації перевезень або руху транспорту на мережі. Розвиток обчислювальної техніки і програмних засобів моделювання дозволили створити великі бази даних про існуючі в світі транспортних мережах, які в готовому вигляді можна використовувати як основу для створення моделей конкретних транспортних об'єктів.

Однак для глибокого розуміння особливостей і можливостей кожного варіанта моделювання знайомство з основами моделювання транспортних мереж все ж необхідно.

5.1 Координатний метод моделювання транспортних мереж

Координатне моделювання являє собою створення цифрового аналога карти, як моделі транспортної мережі.

Повний варіант координатного методу, є найпростішим. У ньому модельований об'єкт представляється в прямокутній системі координат, як це по-

казано на рисунке 5.2.

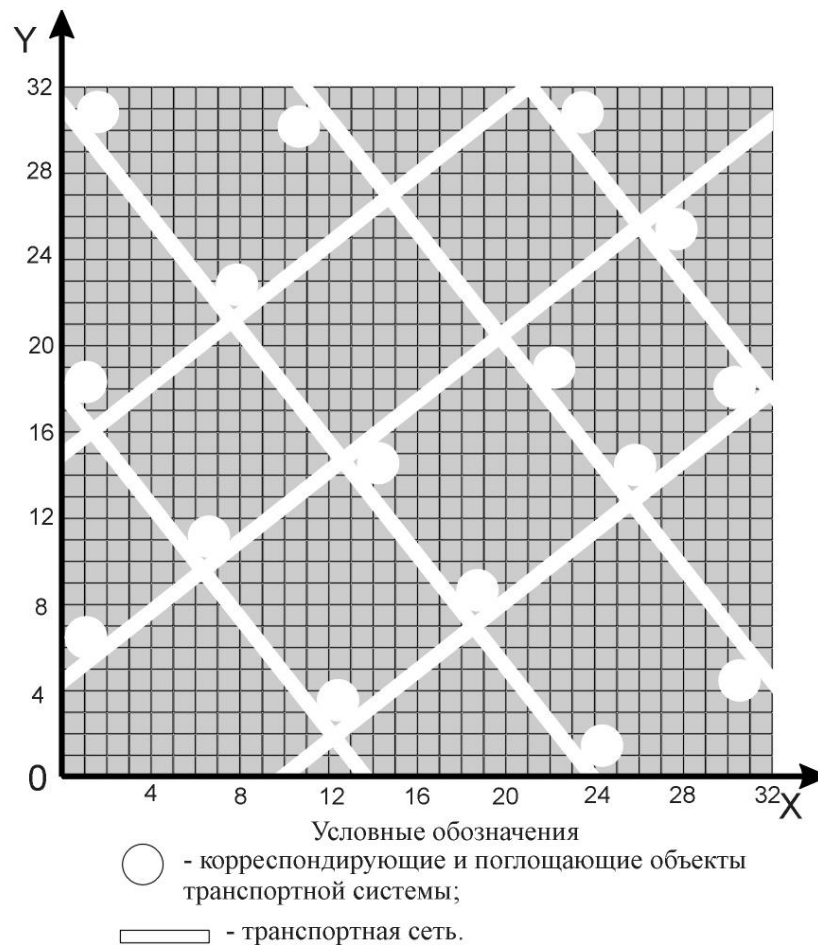


Рисунок 5.2

Приклади таких моделей наведені в таблицях 5.1 і 5.2. Для обох матриць в порожніх клітинах мається на увазі нуль. У матриці транспортної мережі одиниця означає можливість проїзду по відповідній ділянці місцевості, нуль - відсутність транспортних комунікацій. У матриці з ємностями об'єктів позитивними значеннями відображені обсяги відправки, негативними - обсяги поглинання вантажу.

Наведена в таблицях інформація вже є придатною для проведення розрахунків на ЕОМ, тобто основна мета моделювання досягнута. Досить легко, наприклад, організувати обчислювальні процедури по визначенню найкоротших відстаней і вирішення транспортної задачі.

Таблиця 5.1 - Матриця транспортної мережі

		Координата X																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
К о р д и н а т а У	1										1			1										1											
	2											1	1											1	1										
	3											1	1	1									1	1											
	4										1	1			1	1							1	1											
	5	1									1						1						1										1	1	
	6		1							1	1							1		1	1											1	1		
	7			1	1				1	1									1	1											1	1			
	8				1			1	1									1	1	1	1									1	1				
	9					1	1	1										1				1	1							1					
	10						1	1									1	1					1	1						1	1				
	11					1	1		1							1	1							1	1		1	1							
	12					1				1	1					1										1	1	1							
	13				1	1					1	1			1	1											1	1							
	14			1	1								1	1	1											1	1		1						
	15	1		1									1	1											1	1				1	1				
	16		1	1									1	1	1									1	1						1	1			
	17		1	1	1							1	1			1	1						1	1									1		
	18	1			1	1					1	1						1					1											1	
	19						1				1								1		1	1											1	1	
	20							1		1	1										1	1										1	1		
	21								1	1										1	1	1	1									1	1		
	22								1	1	1								1	1				1							1	1			
	23									1						1	1							1						1	1				
	24						1	1					1			1	1								1	1	1	1							
	25					1	1							1	1	1											1	1							
	26				1	1								1	1												1	1	1						
	27				1										1		1									1	1			1					
	28			1	1									1	1			1							1						1	1			
	29		1	1										1	1					1	1				1	1					1	1			
	30		1											1							1	1		1	1							1	1		
	31	1											1	1									1	1	1									1	
	32										1	1												1											

Цей метод моделювання є дуже універсальним. З його допомогою можна описати як завгодно велику кількість характеристик транс-краєць мережі, що досягається введенням відповідних матриць. Але ця універсальність має і зворотну сторону, методи розрахунків є не тільки дуже простими в програмній реалізації, а й дуже неефективними. Для розрахунку найкоротших відстаней потрібно багаторазовий перегляд матриці транспортної мережі і скоротити кількість розрахунків не представляється можливим.

Таблиця 5.2 - Ємності об'єктів по генерації та поглинанню вантажів

	Координата X																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
К о р д и н а т а Y	1																									-15							
	2																																
	3																																
	4												-15																				
	5																															-10	
	6																																
	7	20																															
	8																																
	9																		-10														
	10																																
	11																																
	12						-10																										
	13																																
	14																																
	15														-20																		
	16																																
	17																																
	18	-20																															
	19																																
	20																																50
	21																						30										
	22						-15																										
	23																																
	24																																
	25																																
	26																30																
	27																																
	28																																
	29																																
	30																																
	31	-5																															
	32																																

Причини цього недоліку криються в тому, що тут моделюються не тільки об'єкти, які мають безпосереднє відношення до розв'язуваної за-дачі, а й всі інші об'єкти. Це легко можна визначається за ступенем заповнення матриць, наведених в таблицях 5.1 і 5.2.

Для частини інформації, безпосередньо не стосується транспортної ме-

режі, можливі більш компактні способи подання. Це в повній мірі відноситься до ємнісним характеристик транспортних об'єктів. Вони можуть описуватися простими лінійними масивами, просто до числа їх змістовних характеристик додаються координати об'єкта.

Але цей спосіб представлення не підходить до найголовнішого - моделювання транспортних магістралей.

Великий обсяг інформації перешкоджає також підвищенню точності моделі. Основним способом підвищення точності є скорочення розмірів осередку в координатної сітки. Це призводить до збільшення кількості осередків і, відповідно, до збільшення розмірів матриць. Дворазове скорочення лінійних розмірів осередку призводить до чотирикратного збільшення їх кількості і до такого ж росту вимог до пам'яті ЕОМ. Тривалість розрахунків в цьому випадку зростає багаторазово через спосіб їх реалізації.

Зазначені недоліки були усунені в геоінформаційних системах, з появою на початку 90-х років минулого століття шейп-файлів. Їх структура, розроблена приватним американським інститутом дослідження систем навколишнього середовища, виявилася настільки вдалою, що практично стала стандартом геоінформаційних систем і використовується для обміну даними між різними програмними продуктами, в тому числі і згаданими в попередньому розділі пакетами транспортного моделювання. Жоден поважаючий себе розробник такої програми не дозволить собі обійтися без опції імпорту шейп-файлу.

Шейп-файл - це векторний формат зберігання географічних даних, перевагою якого є вдалий вибір геометричних об'єктів, які в ньому відображаються. Основними з них є точка, полілінія - об'єкт, що складається з декількох ліній (ламаних), які можуть стикатися і перетинатися, і полігон - територія, яка може складатися з декількох частин з пустотами.

Відмова від опису кожної точки на території об'єкта, що моделюється привів до кардинального скорочення розмірів відповідних баз даних і зробив опис об'єктів спрямованим, а не суцільним, що дозволило позбутися від

недоліків повного координатного методу без втрати точності моделювання об'єктів на території.

Елементарним об'єктом в шейп-файлі є точка, що служить основою для опису всіх інших об'єктів. Сама точка описується двома або трьома (в разі обліку висоти розташування об'єкта над рівнем моря) координатами, заданими в одній з існуючих координатних систем Землі.

Кожен з більш складних об'єктів описується відповідним набором точок. При цьому передбачається, що сусідні точки поліліній або меж полігонів з'єднуються по прямій лінії. Тому для опису кривих використовуються полілінії, що представляють наближений до траєкторіях кривих набір прямих відрізків.

Безперервність прямих відрізків дозволяє без праці обчислювати точки їх перетину, які описують відповідні перехрестя транспортних шляхів. Однак для завдання додаткових параметрів такого перетину, наприклад тривалості світлофорного циклу, в шейп-файлі потрібно створювати окремий об'єкт.

Це обумовлено більш загальним характером геоінформаційних систем, в яких використовуються шейп-файли, в порівнянні з транспортними моделями, а практика вилучення даних з таких файлів для транспортних розрахунків є тільки окремим випадком їх застосування.

Проте, шейп-файли широко використовуються в геоінформаційних системах для вирішення окремих транспортних завдань, основною з яких, є пошук альтернативних шляхів слідування між парою точок на карті. І досвід подібного їх використання не можна не визнати успішним, всі побутові навігаційні системи використовують шейп-файли.

Однак, для створення спеціальних транспортних моделей, тих можливостей, які вони надають, далеко не завжди буває достатньо. Це призвело до широкого використання іншого підходу до моделювання транспортних мереж - топологічному.

5.2 Топологічні метод моделювання транспортних мереж

Топологічний метод являє собою один з найбільш формалізованих методів подання досліджуваних мереж (не обов'язково транспортних), у вигляді багаторівневих систем. Досліджуваний об'єкт представляється як сукупність двох елементів - наборів вершин і ланок, в кожен з яких, в свою чергу, входить по кілька елементів.

Транспортна мережа представляється як граф, який складається з N вершин та A ребер (ланок). $G = [N, A]$.

Вершинами представляються об'єкти, між якими здійснюється переміщення даного об'єкту перевезень, **ланками** – ділянки транспортної мережі, за якими здійснюється це переміщення.

Прикладами вершин графа можуть служити перехрестя, великі транспортні вузли, вокзали, населені пункти, пункти навантаження-розвантаження, пункти пересадок пасажирів, зупинки міського пасажирського транспорту і так далі. Вершина являє собою точку на графі (топологічної схемою) транспортної мережі.

Ланками графа описуються комунікації різних видів транспорту, що з'єднують вершини. Наприклад, ділянки автомобільних доріг, залізниці, природні шляхи пересування та ін. Кожна ланка з'єднує між собою дві суміжні вершини і являє собою відрізок на графі транспортної мережі.

Конкретний зміст вершин і ланок в моделі визначається своїми ствами об'єкта і нюансами розв'язуваної задачі. Але особливістю всіх топологічних моделей транспортних мереж є опис ділянок вулично-дорожньої мережі за допомогою ланок, обов'язково з'єднують між собою дві вершини. У такій моделі вершини є об'єктами, однозначно пов'язаними з ланками, але мають своє власне призначення і свій набір характеристик. Ланки в моделі не можуть бути визначені без вершин, а вершини не мають сенсу, якщо ними не починається або не закінчується хоча б одна ланка.

У транспортних моделях вершини в основному використовуються для опису перехресть, на яких відбуваються кардинальні зміни умов руху по пересічних ділянках транспортної мережі. Однак вершини потрібно використовувати і там, де на ділянці мережі змінюється кількість (ширина) смуг, дорожнє покриття або максимально дозволена швидкість руху. При побудові детальної моделі ними, наприклад, можна описувати місця проходження пішохідних переходів через вулицю або місця установки пристроїв примусового зниження швидкості. Список об'єктів, які можуть бути описані за допомогою вершин, можна продовжувати і далі, але правильніше сформулювати їх призначення таким чином: *вершинами в транспортній моделі описуються всі точки на транспортній мережі, в яких змінюються умови руху по ділянках.*

З того, що всі місця зміни умов руху по ділянках описуються вершинами, слід, що ланки в транспортній моделі описують виключно ділянки, що мають однакові характеристики по всій їх довжині. Це твердження, незважаючи на свою категоричність, не повинно викликати сумнівів у своїй справедливості, так як запропонований розробниками програмного забезпечення з транспортного моделювання перелік характеристик ланок в моделі, передбачає завдання рівно одного значення для кожного з них.

Такий ступінь формалізації абсолютно необхідна для створення діючої транспортної моделі і питання полягає лише в запропонованих розробниками можливості в плані деталізації, при описі реальної транспортної мережі. Але, незалежно від неї, в будь-якій транспортній моделі всі ланки будуть однорідними за переліком своїх характеристик, що повністю забезпечується топологічним підходом до її моделювання.

Розмірність графа визначається кількістю вершин в ньому. При заданій кількості вершин, кількість ланок для різних об'єктів зазвичай коливається незначно. У більшості випадків нумерація вершин не носить принципового характеру і може бути вільною.

Топологічна схема транспортної мережі, зображеної на рисунку 5.2,

наведена на рисунку 5.3.

Над кожною ланкою вказана його довжина в міліметрах. У наведеному прикладі довжина ланок в прямому і зворотному напрямку однакова, проте так буває не завжди.

Топологічна схема транспортної мережі є проміжним етапом моделювання, а кінцевою метою є математична модель транспортної мережі. Для її формування необхідно представити топологічну мережу у вигляді набору впорядкованих масивів, аналогічно тому, як це зроблено в координатному способі.

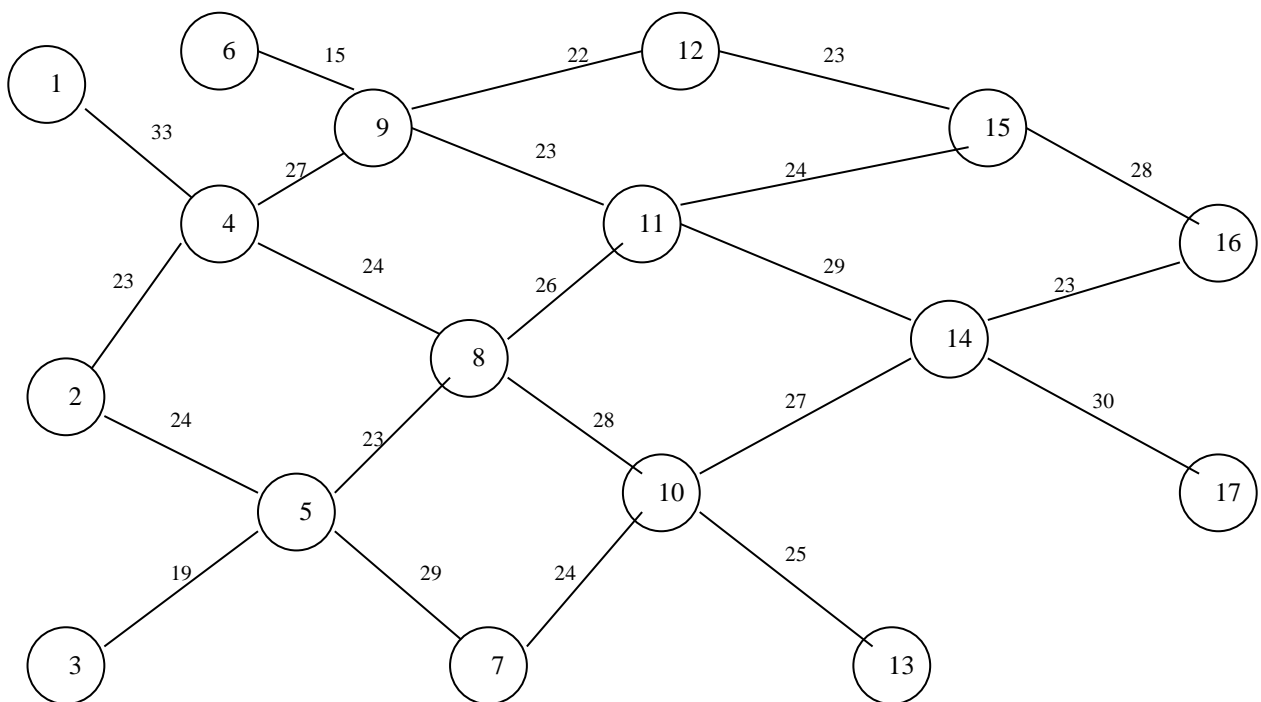


Рисунок 5.3 – Топологіческая схема транспортной сети

Описом транспортної мережі при топологічному методі моделювання називається упорядкований перерахування ланок транспортної мережі із зазначенням їх характеристик.

З точки зору використовуваного програмного забезпечення порядок опису транспортної мережі не важливий. Але слід враховувати, що в реальних задачах кількість розглянутих об'єктів може значно перевищувати розмірність наведеного на рисунку 5.2 графа. Відповідно до цього масив з описом транс-

портної мережі буде мати значні розмірності. У таких випадках заповнення цього масиву є досить трудомістким етапом моделювання, під час виконання якого висока ймовірність виникнення помилок. У той же час найефективніший спосіб уникнути помилок - це візуальна перевірка відповідності моделі реальному об'єкту. Однак цей спосіб ефективний на стадії формування топологічної схеми, але не може застосовуватися на стадії її математичного опису.

Тому на етапі математичного опису топологічної схеми так важливий порядок опису транспортної мережі. Він має подвійне призначення: з одного боку він покликаний полегшити введення інформації про транспортну мережу для максимально зменшити можливість виникнення помилок опису, з іншого боку - отриманий масив упорядковується для спрощення пошуку та усунення можливих помилок опису мережі.

Найбільшою мірою цьому призначенню відповідає **порядок опису транспортної мережі**, в якому за основу прийняті номери початку і закінчення ланок. Відповідно до цього топологічна схема описується в такий спосіб:

- 1. За стартове значення номера початку ланки приймається район з мінімальним поточним номером (№1 на початку опису).*
- 2. Проглядаються всі ланки, що виходять з поточного району, і визначаються пункти закінчення ланок.*
- 3. Відібрані ланки упорядковуються по порядку зростання номерів їх закінчення і заносяться в масив вихідної інформації.*
- 4. Приймається наступний усе своєю чергою пункт початку ланки і дії повторюються, починаючи з пункту 2.*

Наведений порядок відповідає випадку, коли довжини ланок в прямому і зворотному напрямках можуть відрізнятися один від одного.

Опис топологічної схеми, яка зображена на рисунку 5.3, наведено в таблиці 5.3.

Додаткова інформація, необхідна для вирішення завдання також представляється у вигляді лінійних масивів, які наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.3 - Математичний опис транспортної мережі

Початок ланки	Закінчення ланки	Довжина ланки	Початок ланки	Закінчення ланки	Довжина ланки
1	4	33	9	12	22
2	4	23	10	7	24
2	5	24	10	8	28
3	5	19	10	13	25
4	1	33	10	14	27
4	2	23	11	8	26
4	8	24	11	9	23
4	9	27	11	14	29
5	2	24	11	15	24
5	3	19	12	9	22
5	7	29	12	15	23
5	8	23	13	10	25
6	9	15	14	10	27
7	5	29	14	11	29
7	10	24	14	16	23
8	4	24	14	17	30
8	5	23	15	11	24
8	10	28	15	12	23
8	11	26	15	16	28
9	4	27	16	14	23
9	6	15	16	15	28
9	11	23	17	14	30

Таблиця 5.4 - Ємності об'єктів по генерації та поглинанню вантажів

Об`єм, т	Номер району								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Генерації	0	0	20	0	0	0	0	0	30
Споживання	5	20	0	15	10	20	15	20	0
Об`єм, т	Номер району								Всього
	10	11	12	13	14	15	16	17	
Генерації	0	30	0	0	10	10	50	0	150
Споживання	10	0	10	15	0	0	0	10	150

Метою більшості розрахунків, проведених з транспортними мережами, є отримання характеристик зв'язків між вершинами, тобто отримання більш складних і інформативних моделей транспортної мережі для подальшого вико-

ристання. З точки зору способів подання інформації це виглядає як перетворення лінійних масивів з характеристиками вершин і ланок на початку розрахунків в квадратні масиви з характеристиками зв'язків між ними. І в цьому полягає основна перевага топологічного методу моделювання транспортних мереж, в порівнянні з шейп-файлами. Останні використовуються виключно для отримання лінійних наборів альтернативних варіантів шляху між обраними парами точок, не між кожної можливої парою, а тільки однієї з них.

В якості **характеристик ланок** можуть виступати:

- довжина ділянки транспортної мережі;
- час проїзду по ділянці;
- пропускна спроможність ділянки;
- кількість смуг руху;
- дозволена швидкість руху;
- якісні характеристики ділянки (наприклад, можливість проїзду тим чи іншим видом транспорту);
- багато іншого.

Можливі **характеристики вершин**:

- обсяг зародження і поглинання кореспонденцій різного виду;
- переробна спроможність;
- просторові характеристики вершин;
- кількісна характеристика циклу світлофорного регулювання;
- якісні ознаки (наприклад, можливість організації кінцевого зупинкового пункту маршрутів);
- багато іншого.

У програмних продуктах по транспортному моделюванню зазвичай передбачаються резервні поля в характеристиках вершин і ланок, для того, щоб транспортний інженер мав можливість задати в моделі будь-які, необхідні для вирішення конкретного завдання, дані.

Ця вихідна інформація після розрахунків перетворюється в **характери-**

стики зв'язків, характеристики зв'язків:

- взаємні кореспонденції вантажів або пасажирів;
- відстані або час проходження між районами;
- показчик на найкоротший шлях;
- характеристики шляху проходження (наприклад, можливість проїзду тим чи іншим видом транспорту);
- інші характеристики зв'язків.

Зазвичай характеристики зв'язків є тільки проміжним етапом в пошуку оптимального варіанта управління об'єктом. Наприклад, матриця кореспонденцій є необхідною вихідною інформацією для складання раціональних маршрутів перевезення. Але подальші розрахунки в більшій мірі відносяться до моделювання транспортних систем в цілому і в даному розділі не розглядаються. Тут же будуть приведені два приклади характеристик зв'язків між вершинами, які мають безпосереднє відношення до транспортної мережі, тобто є варіантом її моделювання.

У таблиці 5.5 приведена матриця найкоротших відстаней для об'єкта в розглянутому прикладі.

Таблиця 5.5 - Матриця найкоротших відстаней

Номер	пункту прибуття																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
пункту відправлення	1	0	56	99	33	80	75	109	57	60	85	83	82	110	112	105	133	142
	2	56	0	43	23	24	65	53	47	50	75	73	72	100	102	95	123	132
	3	99	43	0	66	19	106	48	42	91	70	68	113	95	97	92	120	127
	4	33	23	66	0	47	42	76	24	27	52	50	49	77	79	72	100	109
	5	80	24	19	47	0	87	29	23	72	51	49	94	76	78	73	101	108
	6	75	65	106	42	87	0	116	64	15	92	38	37	117	67	60	88	97
	7	109	53	48	76	29	116	0	52	101	24	78	123	49	51	102	74	81
	8	57	47	42	24	23	64	52	0	49	28	26	71	53	55	50	78	85
	9	60	50	91	27	72	15	101	49	0	77	23	22	102	52	45	73	82
	10	85	75	70	52	51	92	24	28	77	0	54	99	25	27	78	50	57
	11	83	73	68	50	49	38	78	26	23	54	0	45	79	29	24	52	59
	12	82	72	113	49	94	37	123	71	22	99	45	0	124	74	23	51	104
	13	110	100	95	77	76	117	49	53	102	25	79	124	0	52	103	75	82

14	112	102	97	79	78	67	51	55	52	27	29	74	52	0	51	23	30
15	105	95	92	72	73	60	102	50	45	78	24	23	103	51	0	28	81
16	133	123	120	100	101	88	74	78	73	50	52	51	75	23	28	0	53
17	142	132	127	109	108	97	81	85	82	57	59	104	82	30	81	53	0

Ця матриця є найпоширенішим результатом початкових розрахунків з транспортними мережами і вельми інформативною моделлю транспортної мережі, достатньою для вирішення багатьох оптимізаційних задач.

Але, в окремих випадках, недостатньо знання відстаней між пунктами, а потрібна інформація про шляхи проходження між ними. Один із способів моделювання шляхів пересування між районами наведено в таблиці 5.6. У кожному осередку матриці записаний пункт, передостанній перед районом прибуття, на шляху з району відправлення. Маючи інформацію про передостанніх пунктах можна відстежити найкоротший шлях прямування між районами. У рядку з номером пункту відправлення, і в стовпці з номером пункту прибуття варто номер району, який передує пункту прибуття на найкоротшому шляху. Виписавши цей номер, вважаємо його наступним пунктом прибуття і повторюємо операцію до тих пір, поки номер району в осередку не співпаде з номером пункту відправлення.

Таблиця 5.6 - Матриця передостанніх пунктів

Номер	пункту прибуття																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
пункту відправлення	1	1	4	5	1	8	9	10	4	4	8	9	9	10	11	12	15	14
	2	4	2	5	2	2	9	5	5	4	8	9	9	10	11	12	15	14
	3	4	5	3	8	3	9	5	5	11	8	8	9	10	11	11	15	14
	4	4	4	5	4	8	9	10	4	4	8	9	9	10	11	12	15	14
	5	4	5	5	8	5	9	5	5	11	8	8	9	10	11	11	15	14
	6	4	4	5	9	8	6	10	11	6	8	9	9	10	11	12	15	14
	7	4	5	5	8	7	9	7	10	11	7	8	9	10	10	16	14	14
	8	4	5	5	8	8	9	10	8	11	8	8	9	10	11	11	15	14
	9	4	4	5	9	8	9	10	11	9	8	9	9	10	11	12	15	14
	10	4	5	5	8	8	9	10	10	11	10	8	9	10	10	16	14	14
	11	4	4	5	9	8	9	10	11	11	8	11	9	10	11	11	15	14
	12	4	4	5	9	8	9	10	11	12	8	9	12	10	16	12	15	14

13	4	5	5	8	8	9	10	10	11	13	8	9	13	10	16	14	14
14	4	4	5	9	8	9	10	11	11	14	14	15	10	14	16	14	14
15	4	4	5	9	8	9	10	11	12	14	15	15	10	16	15	15	14
16	4	4	5	9	8	9	10	11	12	14	15	15	10	16	16	16	14
17	4	4	5	9	8	9	10	11	11	14	14	15	10	17	16	14	17

Наприклад, щоб визначити послідовність проходження районів на шляху з району №2 в район №17, необхідно у другому рядку матриці передостанніх пунктів знайти елемент в сімнадцятому стовпці, це буде район №14. Потім потрібно знайти елемент, що стоїть в тому ж рядку і чотирнадцятому стовпці - №11. Ці дії повторюються до тих пір, поки не буде знайдений №2 в черговий осередку. Це означає, що весь найкоротший шлях відстежено. Результатом пошуку в цьому прикладі буде шлях: 2 - 4 - 9 - 11 - 14 - 17. Це один з найпростіших прикладів математичного моделювання транспортних мереж, який не дає можливості описати два або більше варіанти шляху проходження, якщо вони мають одну довжину. Для отримання більш точних та інформативних моделей потрібні і більш складні способи моделювання.

У використуваному прикладі довжини всіх ланок в прямому і зворотному напрямку однакові. У загальному випадку це не завжди буває так, що обумовлено наявністю вулиць з одностороннім рухом, різних типів транспортних розв'язок, обмежень по організації руху для окремих видів транспорту та іншими причинами. Наведений вище порядок опису транспортної мережі і наведені в таблиці 5.3 результати його застосування передбачають таку можливість, довжини ланок можуть відрізнятися за напрямками.

Однак, як зазначалося вище, при описі транспортних мереж серйозною проблемою є значна трудомісткість цього процесу і, як наслідок, висока ймовірність виникнення помилок опису. І, в окремих випадках, доцільно відмовитися від можливості характеризувати довжину кожної ланки в обох напрямках, для скорочення обсягу інформації, що вводиться.

Для цього робиться припущення про те, що довжина всіх модельованих ділянок транспортної мережі однакова за напрямками. Такому допущенню

відповідає симетричний граф.

Симетричним називається граф транспортної мережі, характеристики ланок якого однакові в прямому і зворотному напрямках.

Використання симетричного графа дозволяє вдвічі скоротити обсяг опису транспортної мережі, істотно знизити ймовірність виникнення помилок опису і полегшити їх пошук і усунення.

Симетричні графи використовуються в моделях об'єктів, що мають велику розмірність і не вимагають високої точності розрахунку відстаней.

Порядок опису симетричного графа відрізняється від загального тільки змістом третього пункту. Тут він має такий вигляд: - відібрані ланки упорядковуються по порядку зростання номерів їх закінчення, в масив вихідної інформації заносяться ті ланки, номер закінчення яких більше номера початку.

Опис топологічної схеми, яка зображена на малюнку 5.3, в вигляді симетричного графа наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7- Математичний опис симетричного графа транспортної мережі

Початок ланки	Закінчення ланки	Довжина ланки	Початок ланки	Закінчення ланки	Довжина ланки
1	4	33	8	11	26
2	4	23	9	11	23
2	5	24	9	12	22
3	5	19	10	13	25
4	8	24	10	14	27
4	9	27	11	14	29
5	7	29	11	15	24
5	8	23	12	15	23
6	9	15	14	16	23
7	10	24	14	17	30
8	10	28	15	16	28

У порівнянні з координатним методом моделювання, топологічні схеми мають вагомні переваги, обумовлені їх спеціалізацією. На відміну від координатного підходу, який може використовуватися для подання найрізно-

манітніших об'єктів, графи в основному створені для моделювання саме таких об'єктів як транспортні мережі.

Але у топологічного підходу існує і недолік, який отримує досить серйозний характер при моделюванні транспортної мережі для вирішення завдань в сфері організації дорожнього руху. Він полягає у відсутності просторової орієнтації графа. Для ілюстрації цієї особливості можна повернутися до рисунку 5.3 і перемалювати його трохи інакше, як це показано на рисунку 5.4.

Математичний опис нової топологічної схеми буде повністю відповідати кільком із описаних в таблицях 5.3 і 5.7, що свідчить про великий свободу при поданні транспортної мережі у вигляді топологічної схеми. Але це також свідчить про те, що на цьому етапі втрачається просторова орієнтація графа. Дивлячись на нього не можна, наприклад, з точністю сказати, лівий або правий поворот необхідно виконати в 4-му пункті на шляху з 1-го району в 9-ий, і взагалі чи є там поворот.

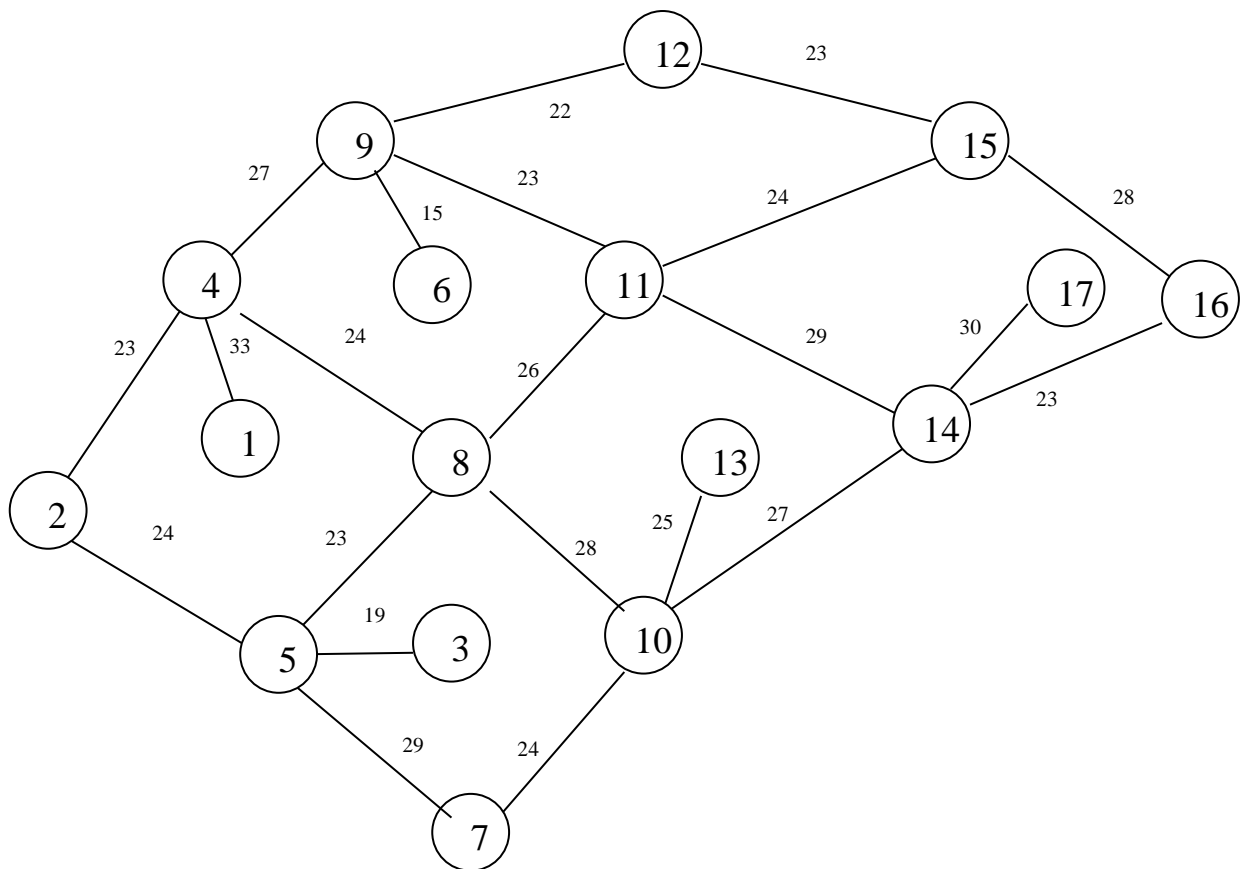


Рисунок 5.4 – Топологічна схема транспортної мережі

Звичайно, можна повернутися до моделі більш низького рівня - карті і з'ясувати питання на ній. Але ці дії може виконати людина, а математична модель мережі, яка передається для розрахунків в ЕОМ, програмного забезпечення зробити цього не дозволяє. Якщо ж розглядаються завдання в сфері організації дорожнього руху, то знання напрямку руху абсолютно необхідно, так як на вказівці можливих напрямків руху заснована значна частина коштів управління рухом.

Для усунення цього недоліку при проведенні відповідних розрахунків використовується **комбінований координатно-топологічний метод** *при якому в число характеристик вершин графа включаються їх координати* (см. рисунок 5.1).

Введення координат дозволяє легко розрахувати кут повороту дороги в транспортній мережі при перетині вершини і визначитися з напрямком руху. Цей спосіб також дозволяє спростити процес опису графа транспортної мережі, так як при вирішенні завдань у сфері організації дорожнього руху вершинами графа служать перехрестя, а більшість ділянок є прямими, що з'єднують сусідні перехрестя. Тоді для розрахунку їх довжини можна використовувати залежність (5.2). Слід зазначити, що всі сучасні програмні продукти по транспортно-моделюванню використовують саме комбінований координатно-топологічний метод.

У класифікації методів моделювання транспортної мережі, наведеної на рисунку 5.1, також виділені два різних підходи до формування топологічних схем – **монотранспортний і політранспортний**.

Більшість завдань в сфері організації перевезень вирішується для одного виду транспорту, і стандартний варіант топологічного методу призначений для моделювання монотранспортної мережі. Однак існують завдання в сфері організації пасажирських перевезень і дорожнього руху, при яких необхідно виділяти кілька видів транспортних засобів, для яких будуть відрізнятися можливості проїзду по різних ділянках транспортної мережі. У цій ситуації засто-

совуються два варіанти моделювання.

У першому випадку створюється стільки монотранспортних графів, скільки видів транспортних засобів розглядається в задачі. Однак цей метод не дуже ефективний в даному випадку, так як об'єктивно єдина транспортна мережа представляється декількома графами і в моделі складно відстежити взаємодію між різними видами транспортних засобів.

У другому випадку застосовуються політранспортні графи, які відрізняються від монотранспортних розширеним списком характеристик ланок. У них включена характеристика можливості проїзду тим чи іншим видом транспорту.

Деяке ускладнення в складанні моделі транспортної мережі приводить у відповідність модельований об'єкт і модель, а також приносить значительное розширення можливостей моделі. З урахуванням додаткової інформації можна розрахувати матриці відстаней і варіанти шляху проходження для кожного виду транспорту без порушення взаємодії між ними, так як тепер це єдиний граф, який має одне безліч вершин і ланок.

Використовуваний в цьому розділі для ілюстрації методів моделювання приклад транспортної мережі є дуже простим і не може відобразити основних складнощів моделювання. Він служить хорошим прикладом тільки для завдань у сфері організації міжміських перевезень вантажів або пасажирів. А труднощі виникають при вирішенні завдань в містах та пов'язані з особливостями об'єктів, які представляються у вигляді вершин графа транспортної мережі.

З усього класу розглянутих завдань виділяються два крайніх, з точки зору топологічного методу моделювання, випадку. Перший виникає при вирішенні завдань у сфері організації вантажних перевезень. Другий - при вирішенні завдань у сфері пасажирських перевезень і організації дорожнього руху.

У сфері організації вантажних перевезень вершинами графа представляються грузоотправляющие і грузопоглощающими об'єкти. До них відносяться станції, заводи, склади, магазини і так далі. Характерним для них є відносно

невелика площа. В цьому випадку для будь-якої кількості об'єктів, що описуються вершинами в графі транспортної мережі можна записати нерівність (5.3):

$$\sum_i^{n_e} S_i \ll S_c, \quad (5.1)$$

де n_e – кількість вершин в графі транспортної мережі; S_i – площа об'єкта, яку представляють i - ой вершиною графа транспортної мережі; S_c – площа міста, для якого складається модель транспортної мережі.

Для даного випадку характерні проблеми з точним поданням транспортної мережі. Справа в тому, що сама транспортна мережа в основному описується перехрестями транспортних магістралей, але оскільки розташування об'єктів визначається далеко не цілями моделювання, то розміщення об'єктів на перехресті є окремим випадком. Приклад такого об'єкта наведено на рисунку 5.5.

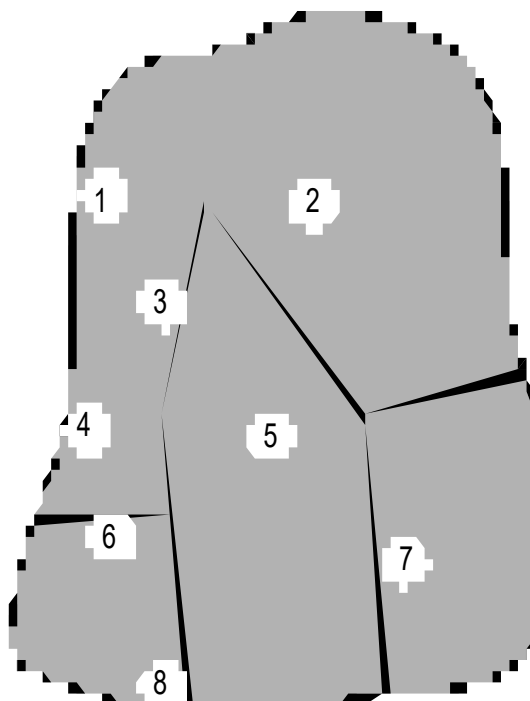


Рисунок 5.5 – Приклад розміщення об'єктів при вантажних перевезеннях

Хоча, можливо, вийшов би і інший варіант, оскільки тут довелося приймати рішення в умовах неоднозначності. При цьому варіанті не всі ділянки транспортної мережі описані графом, що тягне за собою суттєвого зниження точності розрахунків. І ще один недолік такого моделювання - втрата наочності топологічної схеми, що серйозно позначається на можливостях візуального контролю якості моделювання.

Допомогти в описі транспортної мережі, для цих випадків, покликані вузли транспортної мережі чи інакше, транспортні вузли. При звичайному варіанті опису вийшов би варіант топологічної схеми, який наведено на рисунку 5.6 а.

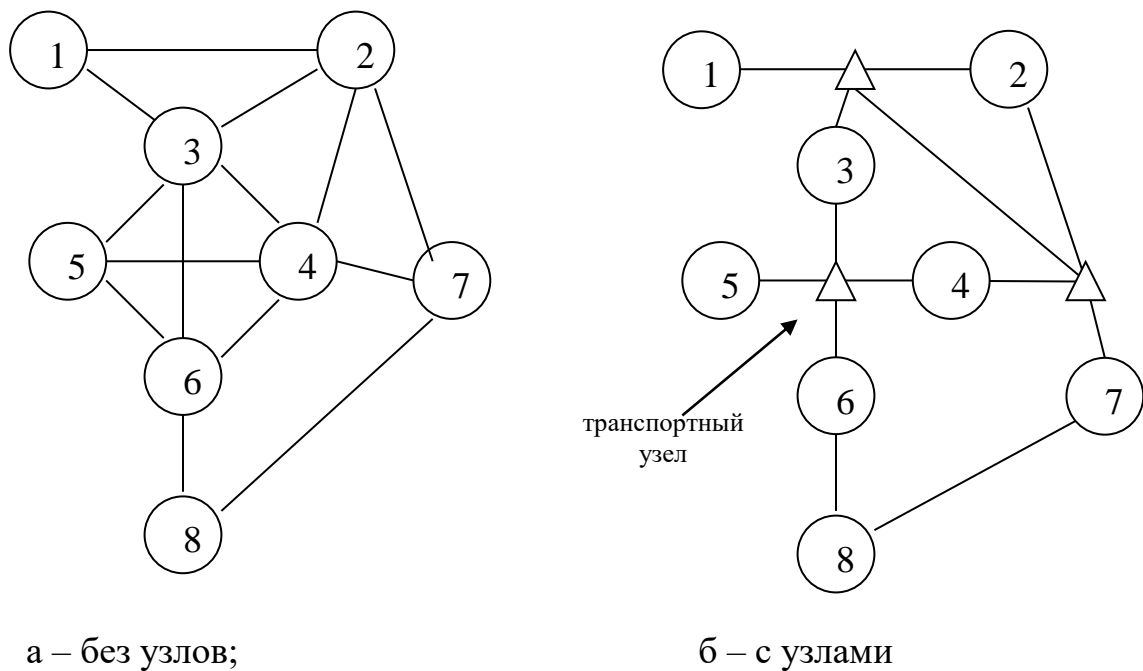


Рисунок 5.6 – Варіанти моделювання транспортної мережі

Транспортний вузол – це елемент опису транспортних мереж, який служить виключно для опису перетину магістралей і не має ємнісних характеристик.

Варіант опису фрагмента транспортної мережі з використанням транспортних вузлів наведений на рисунку 5.6 б.

Цей варіант є, безсумнівно, більш точним у порівнянні з попереднім і менш трудомістким. Єдиним обмеженням на використання транспортних

вузлів є ресурсні можливості програмного забезпечення, для якого складається модель транспортної мережі. Сумарна кількість вершин і вузлів в графі транспортної мережі не повинно перевищувати максимально допустиму розмірність графа. Сучасні програми по транспортному моделюванню як вершин графа розглядають тільки вузли транспортної мережі. Всі об'єкти в них, що генерують і поглинають пересування вантажів або пасажирів, виділяються в окремі об'єкти - транспортні райони, так як це в будь-якому випадку робиться в пасажирських моделях.

Це обумовлено тим, що **в сфері пасажирських перевезень і організації дорожнього руху** при моделюванні виникає проблема іншого роду, відмінна від вантажних перевезень. У цих випадках, принаймні частина об'єкта перевезень становлять пасажирів, а в якості пасажирообразующих і пасажиропоглощающих об'єктів може виступати практично вся територія міста і нерівність (5.3) для цього випадку приймає наступний вигляд:

$$\sum_i^{n_g} S_i \approx S_z, \quad (5.2)$$

І, відповідно, практично вся територія міста повинна бути розбита на транспортні райони і коректно представлена в топологічній схемою. Необхідно згадати, що транспортні райони представляються точкою (вершиною) на графі транспортної мережі. Домогтися повної відповідності між об'єктом і моделлю в даних умовах неможливо і основне питання тут - досягнення максимально можливої точності моделювання.

У разі вантажних перевезень дискретний характер модельованих об'єктів дозволяв говорити про можливість створення як завгодно точної математичної моделі.

Якби моделювання транспортної мережі було самостійною задачею, а не проміжним етапом у вирішенні завдань транспортного планування, то

відповідь на питання про максимальному ступені відповідності моделі і об'єкта був би дуже простий - чим більше вершин в графі транспортної мережі, тим краще. Межа розмірності графа - дозволяють здібності програмного забезпечення.

Але кінцевою метою моделювання є отримання максимально точних або достовірних результатів вибору оптимального стану системи.

З огляду на це, вибір оптимальної розмірності графа транспортної мережі повинен здійснюватися на підставі трьох основних вимог.

Топологічна схема повинна забезпечувати:

1. *Коректність уявлення реальних об'єктів вершиною графа транспортної мережі.*
2. *Можливість отримання об'єктивної інформації про транспортні районах.*
3. *Стабільність характеристик транспортних районів при зміні структури об'єктів.*

Для виконання першої вимоги кількість транспортних районів повинно прагнути до максимуму.

Друга вимога пов'язано з необхідністю проведення досліджень для визначення характеристик вершин графа. При великих розмірах транспортних районів їх характеристики підкоряються закону великих чисел. Зі скороченням розмірів транспортних районів, тобто збільшенням їх кількості, дія закону великих чисел послаблюється і для отримання об'єктивної інформації про вершинах потрібне проведення більшої кількості досліджень.

Наприклад, при скороченні розмірів транспортного району i , відповідно, кількості жителів у ньому, може знадобитися перехід від середньої величини, як характеристики ємності району по відправленню, до закону розподілу з-за значних коливань кількості виїжджаючих пасажирів в період проведення обстеження.

Крім того, діє і ще одна, більш проста лінійна залежність, чим більше

транспортних районів, тим більше необхідно досліджень для визначення їх характеристик. Можна зробити висновок, що для виконання другої вимоги кількість транспортних районів повинно прагнути до мінімуму.

Третя вимога визначає необхідність використання такої моделі, вихідні дані якої не змінюються внаслідок рішення задачі. Кібернетичні властивості об'єкта дослідження повинні бути зведені до мінімуму. У системних термінах це звучить як забезпечення досить чіткої межі системи, при якій характеристики зовнішньої середовища не залежать від стану системи.

Наприклад, ємності зупиночних пунктів по відправленню і прибуттю можуть змінитися внаслідок рішення задачі маршрутизації через перехід пасажирів на нові варіанти шляхів пересування. Але чим більше зупиночних пунктів буде входити в транспортний район, тим менше його ємності будуть схильні до змін, так як новий для пасажирів зупинний пункт не може розташовуватися дуже далеко від колишнього.

Таким чином, третя вимога також визначає зворотний зв'язок між кількістю районів і стабільністю їх характеристик - чим менше районів, тим краще.

Зв'язок між цими вимогами ілюструється графіком, рисунок 5.7

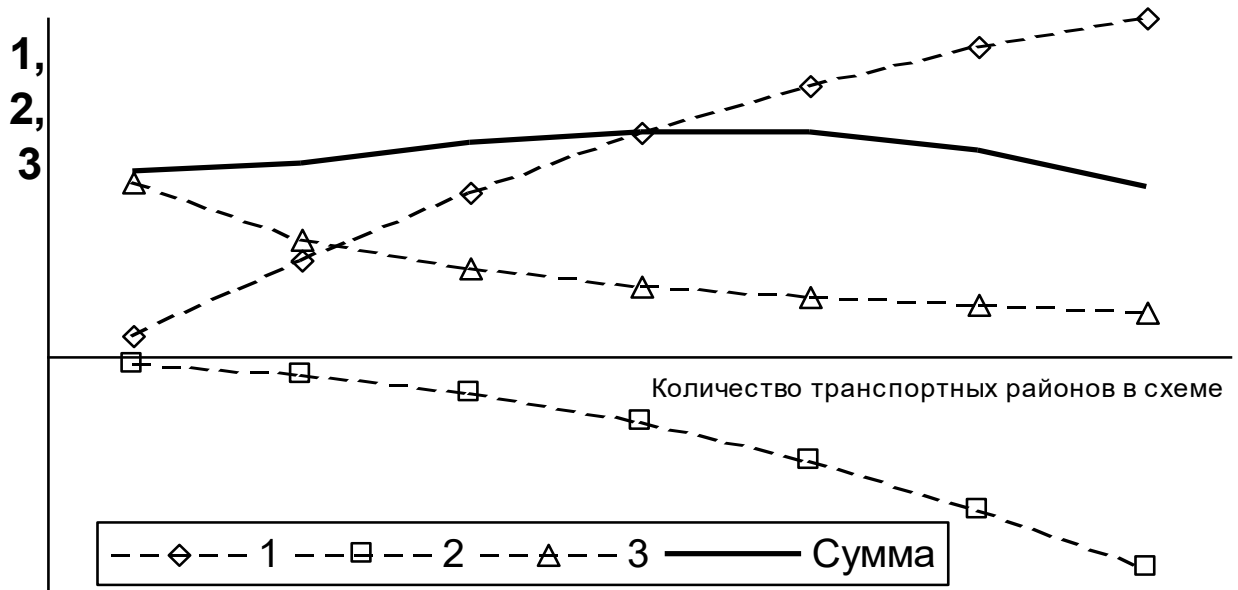


Рисунок 5.7 – Вибір оптимального розміру графа транспортної мережі

Пунктирними лініями на графіку зображена ступінь виконання вимоги з відповідним номером, суцільною лінією - сумарна ступінь задоволення всім вимогам, максимальне значення якої і визначає оптимальну розмірність графа транспортної мережі.

Для отримання конкретних розмірів графа відповідно до описаних вимог, необхідно провести додаткові дослідження, щоб визначити точний вид залежностей, зображених на графіку.

В даний час питання визначення оптимальних розмірів графа і конфігурації транспортних районів вирішується на рівні вказівки цілей моделювання та її конкретизації в правилах транспортного мікрорайонування. Ці вказівки розроблені для моделювання транспортних мереж при вирішенні завдань у сфері організації міських пасажирських перевезень.

Мета моделювання формулюється так: *призначення меж та центрів транспортних районів повинно виконуватися так, щоб всі пересування всередині транспортного району здійснювалися б пішки, а все пересування між транспортними районами зводилося б до пересувань між їх центрами.*

Тут, крім задоволення вищевказаним вимогам, відбувається виділення об'єкта дослідження - транспортні пересування пасажирів. Найбільш поширеним ознакою поділу території міста на транспортні райони є території поштових відділень зв'язку.

Однак далеко не завжди кордону відділень зв'язків відповідають меті моделювання і необхідна їй подальша конкретизація в правилах мікрорайонування.

Правила мікрорайонування міста:

1. *Максимальна площа транспортного району 2,5км², максимальна відстань і час підходу пасажира до зупинки 800 м або 10 хв.*

2. *Річки, залізничні колії, яри та інші переешкоди, а також межі адміністративних районів міста служать природними межами транспортного району, і не повинні знаходитися всередині нього.*

3. Межі транспортних районів не повинні ділити будинку, парки, заводські території.

4. Крупные пассажиропоглощающие объекты (предприятия, вокзалы всех видов транспорта, крупные пересадочные пункты ГПТ, станции метро, рынки) с прилегающими к ним территориями выделяются в отдельные транспортные районы.

5. Кордон транспортного району не може проходити по великим магістралям з маршрутом ГПТ і повинна перетинати її під прямим кутом.

6. Зв'язок між двома сусідніми транспортними районами повинна здійснюватися по одній транспортній магістралі, виняток становлять дві паралельні вулиці із зустрічним одностороннім рухом.

7. Межі транспортних районів не повинні знаходитися поблизу зупинки пункту з великим пасажирообменом.

8. Всі тупикові ділянки транспортної мережі з прилеглими до них територіями виділяються в окремі транспортні райони.

9. На території транспортного району не повинно знаходитися більше одного перетину транспортних магістралей.

10. Якщо рух ГПТ здійснюється за двома паралельними вулицями з різною пропускною здатністю, то в деяких випадках доцільно вулицю з меншою пропускною спроможністю охопити територією транспортного району і не розглядати її як окремої транспортної магістралі.

11. У транспортних районах з тупиковим ділянкою транспортної мережі за центр приймається кінець тупикової ділянки.

12. У транспортних районах з вузлом перетину транспортних ліній за центр приймається точка цього перетину.

13. Центри транспортних районів повинні по можливості розташовуватися рівновіддалено від кордонів між транспортними районами, не тільки по відстані, але і за часом підходу, зручності і так далі.

14. За центр транспортного району приймається одна з вхідних в нього

зупинок ГПТ, як правило, з найбільшим пасажирообменом, при наявності станції метро вона є центром транспортного району.

Ці правила не можуть вважатися вичерпними вказівками до мікрорайонированию, оскільки вони не дають відповіді на всі питання мікрорайонування і, в ряді випадків, суперечать один одному. При виникненні невизначеності або спірної ситуації слід повертатися до мети моделювання транспортної мережі і вирішувати ці ситуації, орієнтуючись на неї.

Для завдань в сфері організації дорожнього руху подібні вказівки до теперішнього часу також ще не розроблені, і тут зазвичай використовуються ті ж правила, що і для пасажирських перевезень, хоча запитань до них тут виникає ще більше.

ТЕМА 6. ПОКАЗНИКИ СИСТЕМНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ

Однією з різновидів системного аналізу є макропідхід, в якому досліджуваний об'єкт розглядається як щось ціле, без вивчення його внутрішньої структури, рис. 1.11. Тоді поведінку об'єкта визначається його зв'язками з іншими об'єктами такого ж рівня, разом з якими він становить систему більш високого рівня.

Цей варіант вивчення є дуже продуктивним для вирішення багатьох питань стратегічного планування, і він вимагає залучення великих обсягів інформації про оточення досліджуваного об'єкта, отримати які не завжди представляється можливим.

У той же час існує можливість вироблення керуючих впливів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування об'єкта, за допомогою макропідходи, але без вивчення зв'язків з навколишніми об'єктами. Такі рішення можуть бути вироблені на підставі аналізу системних властивостей об'єкта.

У джерелах наводяться різні списки показників системних властивостей об'єктів, їх кількість в окремих джерелах може перевищувати два десятка. Але найбільш загальними, проти яких не заперечує ніхто з авторів, можуть вважатися три показника: **ефективність, стійкість і надійність об'єкта**.

У системному дослідженні під ефективністю об'єкта розуміється показник, що характеризує якість його роботи.

Показник ефективності є основним, оскільки відображає мету створення і функціонування об'єкта. Він визначається по залежності (3.1). Особливості розрахунку цього показника були детально розглянуті в третьому розділі.

Під стійкістю розуміється здатність об'єкта компенсувати дію зовнішніх перешкод і забезпечувати повернення в стан рівноваги.

Наведене поняття стійкості є в деякому сенсі умовним. Для того щоб стверджувати, що система стійка, необхідно обумовити:

- вид перешкод;

- їх інтенсивність;
- умови, що визначають стану рівноваги.

Приклад - сейсмостійкості будівель, в назві якого вказується вид перешкод. Для нього обов'язково обмовляється сила підземних поштовхів, проти яких воно стійко і відомий стан рівноваги - будівля не руйнується під дією цих поштовхів.

Умови рівноважного стану відносно легко визначаються для технічних систем, хоча і тут вони бувають м'якше або навпаки жорсткіше.

З транспортними системами справа йде складніше, оскільки ще не вироблені загальноприйняті норми рівноважного стану і в кожному випадку їх доводиться визначати самостійно.

Наприклад, рівноважним може бути визнано стан автобусного маршруту, при якому всі пасажери, які хотіли скористатися його послугами, змогли реалізувати свої потреби. Більш жорстку умову рівноважного стану може бути позначено так: рівноважним називається стан роботи маршруту, при якому всі пасажери були обслужені першим підійшов автобусом маршруту (немає відмови в посадці внаслідок переповнення автобусів).

Природно, що при оцінці стійкості автобусного маршруту з другою умовою рівноважного стану він виявиться менш стійким, так як більша кількість зовнішніх перешкод буде приводити до виведення об'єкта зі стану рівноваги.

Найбільш поширеними видами перешкод для транспортної системи є затори на транспортних магістралях і погодні умови.

Наступним системним властивістю є надійність.

Надійність – це властивість об'єкта зберігати в часі, в встановлених межах, значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих умовах застосування.

Як видно з визначення, поняття надійності також є умовним. Для затвердження про надійність об'єкта необхідно обумовити:

- список параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні

функції;

- для кожного параметра визначити межі зміни, в рамках яких об'єкт буде вважатися працездатним
- задати умови роботи об'єкта.

Ключовим для поняття надійності є **відмова** – *подія, що полягає у виході з працездатного стану.*

По суті, відмова означає вихід за встановлені межі значення одного з параметрів, що характеризують працездатність об'єкта.

Завдання умов роботи об'єкта має на меті визначення стану зовнішнього середовища, для якого він призначений. Об'єкт не зобов'язаний зберігати працездатний стан при порушенні цих умов, тобто при виникненні зовнішніх перешкод.

На цьому рівні відбувається поділ понять надійності та стійкості. **Надійність** *характеризує внутрішні взаємозв'язки між елементами системи, стійкість* – *зв'язок між системою і зовнішнім середовищем.*

У той же час показники стійкості і надійності тісно взаємопов'язані. Вважається, що ненадійні об'єкти не можуть бути стійкими, також як нестійкі об'єкти не можуть забезпечити надійної роботи.

Цей взаємозв'язок обумовлена внутрішнім подібністю цих показників, яке ілюструється рисунком 6.1

Перш за все необхідно згадати, що система є моделлю і можливі різні варіанти представлення у вигляді системи одного і того ж об'єкта.

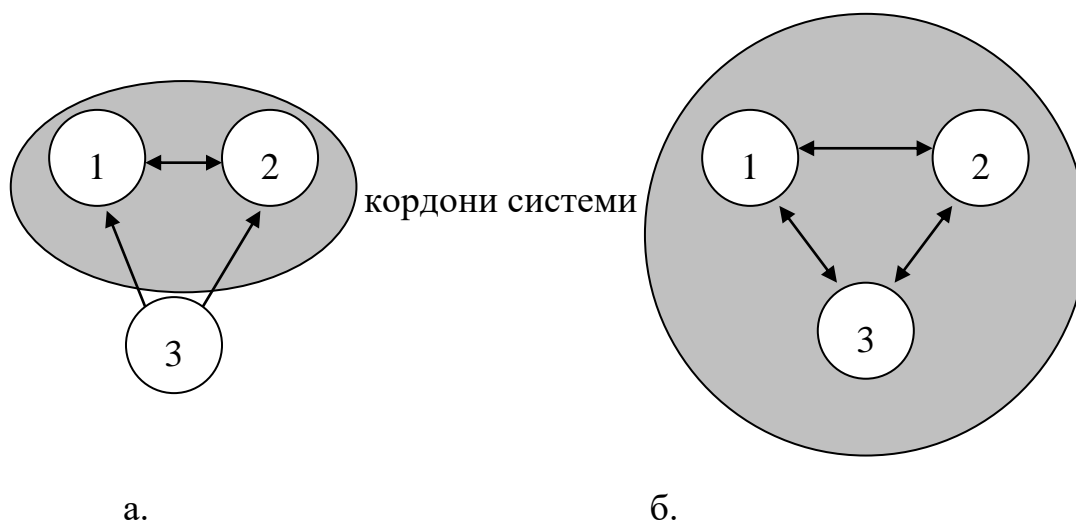


Рисунок 6.1 – Варіанти представлення об'єкту у вигляді системи

На рисунку 6.1а об'єкти 1 і 2 є елементами системи, об'єкт 3 - елементом зовнішнього середовища. У цьому випадку надійність системи характеризує властивості елементів 1 і 2 взаємодія між ними. Стійкість характеризує поведінку системи у відповідь на зміну стану об'єкта 3.

На рисунку 6.1б межа системи розширені, все три об'єкта є її елементами. Тепер надійність характеризує властивості трьох елементів і взаємодія між ними.

Таким чином, можна зробити висновок, що принципової різниці між поняттями стійкості і надійності немає, і їх зміст визначаються-ється тільки варіантом розгляду об'єкта.

Всі показники системних властивостей об'єктів можуть бути використані для вироблення керуючих впливів, спрямованих на підвищення еф-бництва, стійкості або надійності об'єктів при їх порівнянні з ця-лонними значеннями або аналогічними показниками інших об'єктів.

Способи розрахунку, а також засоби забезпечення стійкості і надійності транспортних систем розглянуті нижче.

6.1 Стійкість транспортних систем

Основним засобом забезпечення стійкості є резерви систем. Вони також

служать і для забезпечення надійності. У загальному випадку з усіх **резервів** виділяються три основних види:

1. *Резерви сировини, матеріалів і готової продукції.*
2. *Резерви виробничих потужностей.*
3. *Фінансові резерви.*

Два перших виду резервів є натуральними. Для транспортних систем, що займаються організацією перевезень, резерви першого роду мають специфічний вид, так як продукцією транспорту є послуги з переміщення об'єкта перевезень. Під резервами сировини і матеріалів тут розуміються запаси експлуатаційних матеріалів, а під резервами готової продукції - надлишки провізних можливостей працюючого транспорту. Запаси об'єктів перевезень на транспортних складах також можуть розглядатися як резерви першого роду.

Резерви виробничих потужностей в перевізних системах - це резервний рухомий склад даного об'єкту.

Для систем організації дорожнього руху основним видом натуральних резервів є резерви пропускної спроможності транспортних магістралей і комплексів технічних засобів управління дорожнім рухом.

Натуральні резерви є ефективним засобом забезпечення стійкості, тобто збереження рівноважного стану, при певних коливаннях зовнішнього середовища. Їх недоліком є вузький спектр зовнішніх впливів, яким вони можуть протидіяти. Для кожного з цих резервів можна підібрати відповідне зовнішній вплив.

Наприклад, надлишок провізних можливостей міських маршрутів компенсує різкий сплеск пасажиропотоків, викликаний проведенням будь-яких масових заходів. Але стан зовнішнього середовища характеризується більш широким списком параметрів, ніж величина пасажиропотоків, і компенсувати зміну більшості з них необхідно іншими видами резервів.

Зміст великої кількості різноманітних натуральних резервів не вигідно з точки зору ефективності системи і замість них використовуються фінансові ре-

зерви, для яких характерна висока універсальність.

Фінансові резерви можуть бути використані в більшості випадків, коли необхідно подолати зовнішні перешкоди, проте їм також властивий дуже серйозний недолік. На відміну від натуральних резервів, які можуть бути введені в дію відразу після виникнення перешкод, при використанні фінансових резервів зазвичай потрібен певний проміжок часу. Він необхідний для їх перетворення в той вид натуральних резервів, який може бути безпосередньо використаний для компенсації перешкод.

Незважаючи на це, основним способом забезпечення стійкості транспортних систем є наявність у них саме фінансових резервів.

Універсальність фінансових резервів дає підстави перейти до більш м'якої трактуванні поняття стійкості. З її урахуванням можна допустити, що наявність фінансових резервів дозволяє компенсувати будь-який вид зовнішніх перешкод. Можливість створення фінансових резервів визначається обсягом прибутку, яку отримує об'єкт. Фінансові резерви можуть бути накопичені за рахунок прибутку, отриманого протягом певного проміжку часу.

Великі нагромадження негативно позначаються на ефективності об'єкта, якщо вони не приносять прибуток. Тому зазвичай вільні кошти використовуються для реальних або фінансових вкладень і пов'язувати обсяг фінансових резервів з тривалістю отримання прибутку було б не зовсім вірно.

Для того щоб записати умова стійкості, можна висунути інше припущення, що обсяг вільних коштів (фінансових резервів), становить якусь постійну частину поточного прибутку. Тоді позитивне значення прибутку означає наявність фінансових резервів і можна записати умова економічної стійкості:

$$U = D - Z > 0, \quad (6.1)$$

де U – показник економічної стійкості об'єкта; D – дохід об'єкта в одиницю часу; Z – витрати об'єкта на виробництво продукції в одиницю часу;

Інтенсивність перешкод пов'язана з обсягом фінансових резервів, так як більший обсяг резервів дозволяє подолати перешкоди більшої інтенсивності. Тоді значення економічного показника стійкості безпосередньо відображає ступінь стійкості об'єкта.

Для цього показника можна побудувати область економічної стійкості, якщо прийняти прості гіпотези про значення доходів і витрат об'єкта. Графічно вона представлена на рисунку 6.2.

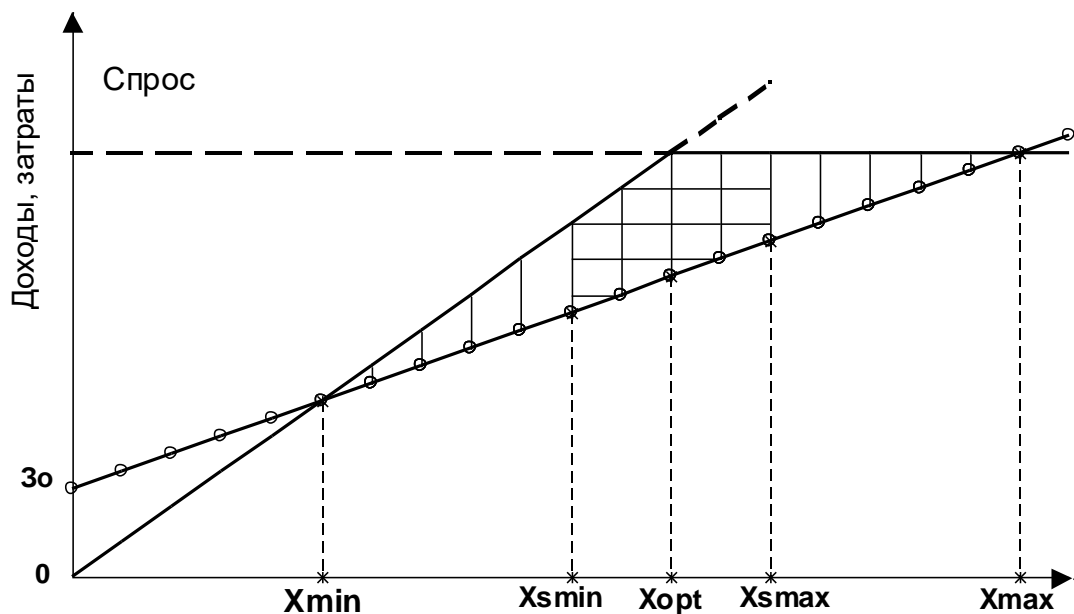


Рисунок 6.2 – Область економічної стійкості

Для розглянутого прикладу витрати на виробництво продукції Z змінюються по лінійній залежності:

$$Z = Z_0 + z \cdot X, \quad (6.2)$$

де Z_0 – постійний витрати, які не залежать від обсягу виробництва продукції; z – питомі змінні витрати на одиницю продукції; X – валовий випуск продукції.

Доходи від реалізації продукції визначаються як добуток тарифу на обсяг виробництва. Але, так як вони не можуть перевищувати попиту, по досягненню

його значення доходи дорівнюють попиту.

$$D = \min(T \cdot X; D_{\max}), \quad (6.3)$$

де T – тариф за одиницю продукції; D_{\max} – попит на продукцію (максимальний дохід).

Область економічної стійкості відповідає виділеній вертикальним штрихуванням частини графіка, в якій виконується умова стійкості (6.1).

Починається вона за точкою X_{\min} , тобто нижньою межею області стійкості, закінчується крапкою X_{\max} , верхньою межею області стійкості. У цих точках доходи дорівнюють витратам і в них система ще (вже) нестійка, тому що нерівність (6.1) в них не виконується.

Але будь-яке перевищення доходів над витратами, з урахуванням прийнятих умов означає наявність у системи фінансових резервів, тобто її стійкість.

Максимальна стійкість системи відповідає максимальній різниці між доходами і витратами. Тому з точки зору стійкості оптимальним є обсяг виробництва, при якому він відповідає попиту, тобто точка перетину ліній доходу і попиту.

Цей графік може бути використаний для управління об'єктом, якщо ввести поняття **сигнальної області стійкості**, досягнення кордонів якої означає необхідність вироблення керуючих впливів.

Граничне значення сигнальної області стійкості Y_s визначається по залежності:

$$Y_s = \Delta_s \cdot Y_{\text{opt}} = \Delta_s \cdot (D_{\max} - 3(X_{\text{opt}})), \quad (6.4)$$

де Δ_s – величина, що залежить від структури даного об'єкту; Y_{opt} – оптимальне (максимальне) значення показника стійкості.

Сигнальна область стійкості виділена на графіку 6.2 горизонтальною штрихуванням. В її межах відхилення показника стійкості від максимального значення вважається допустимим.

Межі області стійкості можна також визначити через значення валового випуску, що і показано на рисунку 6.2. $X_{s\min}$ і $X_{s\max}$ – це нижня і верхня межа сигнальної області стійкості, їм відповідає одне граничне значення показника стійкості Y_s .

Для цього випадку можливе вироблення як мінімум двох, найпростіших керуючих впливів - збільшення обсягу виробництва при досягненні $X_{s\min}$ і скорочення обсягу виробництва при досягненні $X_{s\max}$. Можлива вироблення та інших впливів, але для них потрібна більш детальне моделювання показника стійкості.

6.2 Надійність транспортних систем

Крім резервів трьох видів, які використовуються при забезпеченні стійкості, для забезпечення надійності додатково використовується паралельна робота різних елементів системи. По суті, паралельна робота елементів є специфічним видом резервування, який володіє незаперечними перевагами, оскільки різні за своїм змістом елементи використовують для своєї роботи різні ресурси. Це означає, що відмова будь-якого елемента не обов'язково буде призводити до відмови всіх паралельно діючих елементів.

Ілюстрація цього властивості приведена на рисунку 6.3.

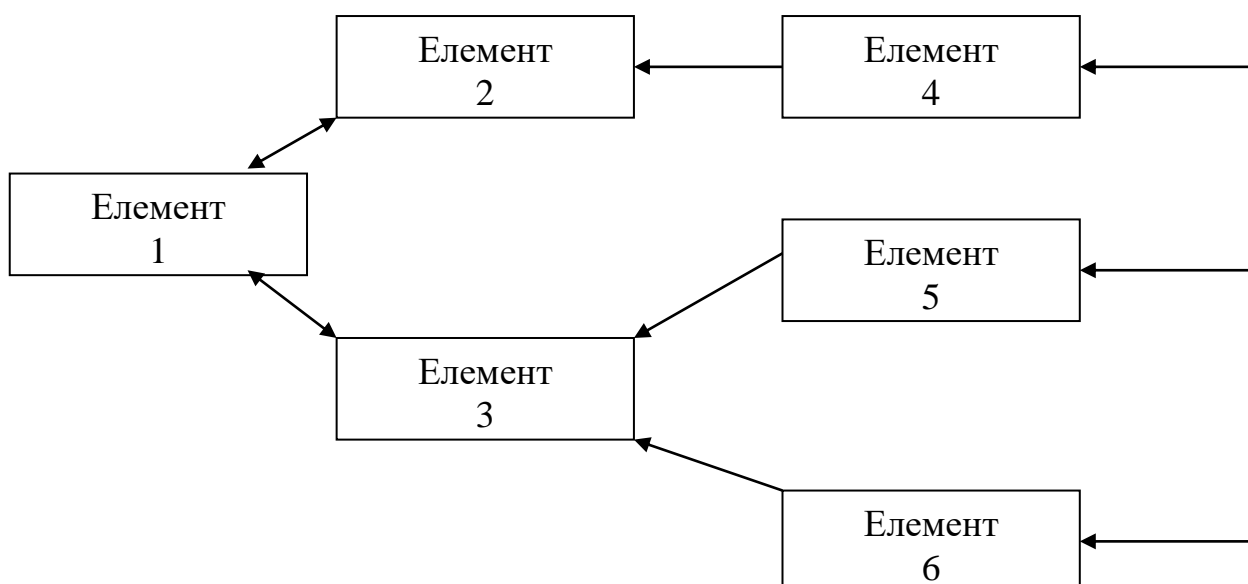


Рисунок 6.3

Для наведеного на малюнку об'єкта, вихід з ладу одного з елементів з номерами 2 - 6 не буде приводити до повної зупинки елемента 1, робота якого визначає результати роботи всієї системи.

Яскравим прикладом забезпечення надійності технічного об'єкта за допомогою паралельної роботи елементів є гальмівні системи сучасних автомобілів, які мають як мінімум дві гальмівних системи.

У системах організації дорожнього руху паралельну роботу виконують дублюючі ділянки транспортної мережі, які в звичайному режимі використовуються не повністю.

У системах організації перевезень надійність забезпечується паралельною роботою різних видів транспорту. Але тут існують визначені проблеми, викликані наявністю власних інтересів у елементів, які забезпечують паралельну роботу в системі. Їх метою є не забезпечення надійності транспортної системи, а реалізація власних економічних інтересів. Тому, при розгляді питань забезпечення надійності політранспортних систем, необхідно враховувати ці інтереси.

Найбільш поширеним методом забезпечення надійності систем з ор-

ганізації перевезень є резерви другого роду, тобто резервування рухомого складу, який використовується для роботи замість вийшла з ладу техніки.

Для характеристики надійності об'єктів розроблено досить велику кількість натуральних показників:

- *інтенсивність відмов системних елементів, од. / год;*
- *середня частота відмов;*
- *середня тривалість відмови;*
- *середня тривалість безвідмовної роботи системи;*
- *статистичний розподіл проміжків часу між відмовами.*

Вони розроблені для технічних систем, з жорсткими зв'язками між елементами і прямою залежністю працездатності системи в цілому, від здатності окремих елементів виконувати властиві їм функції. Відмова одного елемента зазвичай означає вихід з ладу всієї системи в цілому. Можливі та інші наслідки відмови елемента, наприклад, якщо передбачена паралельна робота окремих елементів. Але всі ці результати досить очевидні і характеристика надійності системи, за допомогою перерахованих вище показників є достатньо повною.

Повнота характеристики об'єктів визначається варіантами використання показників системних властивостей. З цієї точки зору натуральні показники надійності є достатніми для вироблення керуючих впливів при порівнянні надійності технічних систем.

Для вироблення керуючих впливів щодо транспортних систем натуральних показників надійності недостатньо, що зумовлено великою різноманітністю зв'язків між їх елементами. Це можна проілюструвати на прикладі порівняння автобусного і трамвайного маршрутів.

Конструктивні особливості рухомого складу визначають більш високу надійність трамваїв в порівнянні з автобусами, за критерієм частоти відмов.

Однак надійність автобусного маршруту по тому ж критерію вище, ніж трамвайного, якщо під відмовою для маршруту розуміється зупинка всіх транспортних засобів на ньому. Така різниця обумовлена характером зв'язків

між елементами маршрутів - транспортними засобами. Вихід з ладу одного трамвая призводить до поступової зупинки всіх транспортних засобів на маршруті.

Необхідність вибору параметрів, за якими характеризується надійність об'єкта і визначення для кожного з них допустимих меж зміни, в яких система вважатиметься працездатною, з урахуванням різноманітності структур транспортних систем, робить використання натуральних показників надійності практично неможливим для вироблення керуючих впливів в транспортних системах.

Тому *основним показником надійності транспортних систем є економічний показник* $\mathcal{E}_{над}$. Він заснований на залежності критерію ефективності системи від її надійності і розраховується по залежності:

$$\mathcal{E}_{над} = \mathcal{E}' - \mathcal{E}, \quad (6.5)$$

де \mathcal{E}' – значення показника ефективності системи при абсолютно надійній роботі всіх її елементів; \mathcal{E} – значення показника ефективності системи при «звичайному» рівні надійності елементів системи.

Економічний показник є досить представницьким, оскільки значення критерію ефективності системи відображає мету її існування і функціонування. Він значно спрощує порівняння надійності різних систем, з метою вироблення управляючих впливів, однак не дозволяє піти від всіх невизначеностей цього процесу. Викликано це неоднозначністю поняття ефективності системи при абсолютно надійній роботі всіх її елементів. Тут все залежить від списку елементів, тобто від способу представлення об'єкта у вигляді системи.

Це можна проілюструвати на прикладі автобусного маршруту. Якщо його представити у вигляді сукупності рейсів, виконуваних за певний період часу, то ефективність маршруту при абсолютно надійній роботі всіх елементів буде дорівнювати прибутку маршруту при виконанні всіх запланованих рейсів.

Якщо той же маршрут представити у вигляді сукупності автобусів, що працюють на ньому, то значення того ж показника буде значно вище, ніж в попередньому випадку. Викликано це тим, що абсолютна надійність автобусів на увазі їх постійну готовність до роботи і, відповідно, відсутність витрат на утримання резервного рухомого складу. Таким чином, для порівняння надійності транспортних систем, необхідно спочатку визначити однорідні вимоги по надійності елементів, а це не завжди можливо через відмінності в їх структурі.

Тому основним способом вироблення керуючих впливів на основі економічного показника надійності є його порівняння з показником ефективності системи при абсолютно надійній роботі всіх її елементів. якщо значення $\mathcal{E}_{над}$ мало, в порівнянні з \mathcal{E}' , то надійність системи досить висока і немає необхідності вкладати кошти в її підвищення. Якщо ж $\mathcal{E}_{над}$ становить значну частину від \mathcal{E}' , то підвищення надійності системи може призвести до істотного зростання її ефективності та вкладення коштів в підвищення надійності може виявитися вигідним.

ТЕМА 7. СИСТЕМОЛОГІЯ МІСТА, ЗРУЧНОГО ДЛЯ ЖИТТЯ

Основним завданням організації роботи систем маршрутного пасажирського транспорту в містах вважається складання ММ з визначенням трас, провізних можливостей маршрутів, виду та типу рухомого складу на них. Ця задача носить назву маршрутизації, вона проводиться за рішенням замовника регулярних перевезень, її результати, згідно з , відображаються в реєстрі маршрутів.

Інші задачі, такі як визначення типу транспортних засобів та виду сполучення, формування чи зміна графіка руху та деталізація шляху проходження маршруту є задачами корегування ММ та здійснюються шляхом внесення змін до договору про організацію перевезень або за умови розірвання договору про організацію перевезень чи анулювання дозволу за погодженням сторін шляхом виключення маршруту та (або) графіка руху з відповідної мережі маршрутів та включення до неї нового маршруту.

Рішення задачі маршрутизації з високою ефективністю неможливо без використання сучасних методів моделювання процесу перевезення пасажирів маршрутним транспортом, оскільки вже на самому простому рівні малих міст ця задача має таку кількість варіантів рішення, що не може бути охоплена людиною – експертом. Крім цього, необхідно розуміти, що рівень кваліфікації працівників виконавчих органів влади істотно коливається, а знайти серед них спеціаліста, який може вважатися експертом з маршрутизації, досить важко навіть у великих містах. Через це, як правило, рішення відносно зміни ММ приймаються інтуїтивно, що може вважатися достатнім при вирішенні окремих питань, але не може забезпечити високої ефективності ММ при системному аналізі. Тому сучасною може вважатися лише та методологія організації роботи систем МПТ у містах, яка ґрунтується на математичному моделюванні процесу перевезення пасажирів маршрутним транспортом.

У методологічних підходах до рішення задачі маршрутизації можливо виділити два напрямки, які обумовлені різними умовами функціонування мар-

шрутного МПТ. У країнах з низьким рівнем автомобілізації ця задача розглядається як самостійна, пріоритетна, з обов'язковим пошуком оптимального стану ММ. Цей стан покликаний значно поліпшити якість роботи системи МПТ. Такий напрямок розвитку методів організації роботи систем маршрутного пасажирського транспорту в містах характерний в основному для країн колишнього СРСР, оскільки поєднання низького рівня автомобілізації з достатньо високим рівнем управління міським транспортом було характерно якраз для соціалістичних країн. У країнах з високим рівнем автомобілізації аналогічний підхід застосовувався на початкових кроках розвитку досліджень в цьому напрямку, тому ці роботи в більшості випадків носять спрощений характер.

Основним результатом цих робіт стала розробка різноманітних евристичних алгоритмів пошуку раціонального варіанта ММ МПТ, але лише два алгоритми використовувались для рішення задачі маршрутизації на відносно постійній основі. Основна частина алгоритмів використовувалась не більше одного разу, що свідчить про виключно теоретичний характер цих робіт. Різниця між роботами в основному полягає в прийнятому критерії ефективності, заданій системі обмежень та запропонованому авторами способі пошуку раціонального варіанта ММ.

У роботі визначено раціональну величину обмеження на траси конкурентних маршрутів при використанні інтерактивних алгоритмів, що можна розглядати як узагальнення можливостей інтерактивних алгоритмів маршрутизації, які складають значну частину перелічених робіт. Знайдена величина – 10 % відсотків від найкоротшого шляху між кінцевими пунктами, основана на припущенні про випадковий характер пошуку раціонального варіанта ММ проектувальником. Це підкреслює обмеженість можливостей евристичних алгоритмів маршрутизації, навіть після застосування інтелекту людини з допомогою інтерактивних процедур.

Загальним у роботах є створення одновимірних моделей транспортної системи зі всіма основними її елементами – транспортною та маршрутною ме-

режами, потребами населення у пересуваннях та ставленням пасажирів до характеристик шляху пересування. Такий підхід потребує значного спрощення реальних транспортних процесів та майже повністю вичерпав свої потенційні можливості при вирішенні розглянутого кола питань.

В економічно розвинутих країнах подальший розвиток методів прийняття рішень у цій сфері привів до розгляду задач організації роботи маршрутного транспорту як фрагмента задач більш високого рівня – планування роботи всієї транспортної системи міст. При цьому не ставиться завдання пошуку оптимального, у заданому розумінні, або хоча б раціонального стану всієї МС МПТ. Зусилля науковців та інженерів направлені на уточнення опису транспортного процесу для отримання досконалої моделі всього об'єкта, яка дозволить дати точну відповідь на запитання: “Що буде, якщо ...”. Завдання пошуку оптимального варіанта тут не ставиться тому, що всі питання транспортного планування в економічно розвинутих країнах вирішуються на сталій базі існуючого варіанта ТС та не потребують революційних змін.

Вимоги можливості пошуку нетрадиційних варіантів ММ до комп'ютерної моделі були актуальними у 80-ті роки минулого сторіччя, але не отримали подальшого розвитку. Сучасна методика транспортного планування міст за допомогою різних програмних пакетів 00 покладає прийняття кінцевих рішень на групи спеціалістів, а сфера використання комп'ютерних методик закінчується кількісним прогнозом розвитку систем за різними сценаріями.

Для досягнення точності моделювання сучасні програмні пакети використовують багатовимірні моделі кожного елемента транспортної системи, пропонують широкий вибір моделей там де це можливо, але не дають відповіді на питання, про те які моделі використовувати у кожному конкретному випадку. Основним критерієм вибору тієї чи іншої моделі служить відповідність результатів розрахунків реальним характеристикам об'єкта, що не дає гарантій правильного прогнозу при розгляді сценаріїв його розвитку. Крім цього, для таких методик характерна відсутність єдиних критеріїв оцінки якості отриманих рі-

шень. Це зроблено завдяки намаганням авторів створити універсальний інструмент прийняття рішень у транспортній сфері, але при розгляді питань підвищення ефективності роботи МС МПТ такий підхід не може вважатися доцільним, особливо при розгляді таких значних об'єктів, як ММ великих міст.

Тому для отримання високих результатів при рішенні розглянутої задачі необхідно використання нових програмних пакетів транспортного планування, доповнених сучасною методологією моделювання окремих елементів МС МПТ, яка дозволяє врахувати особливості функціонування пасажирського маршрутного транспорту в українських містах та приймати зважені рішення за допомогою об'єктивного критерію ефективності.

Огляд сучасних програмних продуктів з транспортного планування охоплює пакети TRIPS, TRANSCAD, RAPIDIS TRAFFIC ANALYST, EMME/2(3), TRANZI, McTrans, ArcGIS/Traffic, Enif, VISSIM та VISUM. Всі ці пакети розроблені з комерційними цілями, тому інформацію про їх можливості можна досить легко отримати з Інтернету. Необхідно відмітити, що ці пакети призначені для рішення широкого кола транспортних задач, основною з яких вважається організація дорожнього руху. Різноманітні розширення дозволяють використовувати пакети при плануванні вантажних автоперевезень, моделюванні авіаційних або інших перевезень. В транспортному плануванні міст найбільше розповсюдження отримали продукти канадської компанії INRO „EMME” та германської компанії PTV VISION „VISUM”.

Можливості рішення задачі маршрутизації МС МПТ значною мірою присутні в пакеті комплексного транспортного планування VISUM. Для нього також характерна можливість імпорту – експорту даних у Microsoft Office та побудування власних модулів проектувальником. Пакет EMME значно поступається у моделюванні роботи громадського транспорту пакету VISUM, тому саме VISUM доцільно використовувати як базовий програмний продукт при рішенні задачі маршрутизації.

Спроби розробити альтернативні методики планування роботи маршрут-

ного транспорту на території СНГ не привели до бажаного результату 01, оскільки носили частковий характер та не привернули увагу інвесторів.

Загальними рисами більшості наведених у цьому підрозділі методик з обох підходів є структура моделі МПТ, яка складається з моделей транспортної та маршрутної мереж, моделі засобів транспорту, моделі потреб населення у пересуваннях та моделі поведінки пасажирів при виборі варіантів шляху пересування. Найбільш важливу роль та одночасно найбільш складний характер з них мають дві останні моделі, які вносять основну частку невизначеності в транспортний розрахунок. Модель потреб населення у пересуваннях відповідає за створення адекватної матриці (сукупності матриць) кореспонденцій, модель поведінки пасажирів при виборі варіантів шляху пересування відповідає за розподіл кореспонденцій по маршрутній мережі.

ТЕМА 8. СИСТЕМА ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЯК ОСНОВНОГО ЗАСОБУ ЗАДОВОЛЕННЯ ПОТРЕБ НАСЕЛЕННЯ МІСТ У ПЕРЕСУВАННЯХ

Функціонування маршрутного пасажирського транспорту в містах України регулюється низкою законодавчих та нормативних актів, за допомогою яких реалізується стратегічна мета державної політики в транспортній сфері: гарантоване та ефективне задоволення потреб у якісному перевезенні пасажирів в умовах ринкових відносин .

Основні аспекти роботи міського маршрутного пасажирського транспорту регулюються Законами України “Про місцеве самоврядування” від 21 травня 1997 року № 280/97 (зі змінами), “Про транспорт” від 10 листопада 1994 року № 232/94-В , “Про міський електричний транспорт” від 29 червня 2004 року № 1914-IV , “Про внесення змін до Закону України “Про автомобільний транспорт” від 23 лютого 2006 року № 3492-IV .

Відповідно до першого закону міські державні адміністрації є юридичними особами, які призначені для вирішення питань місцевого значення в межах Конституції і законів України. Їх відносини з підприємствами транспорту, що перебувають у комунальній власності, будуються на засадах підпорядкованості, підзвітності та підконтрольності підприємств. Відносини міських державних адміністрацій з підприємствами транспорту, що не перебувають у комунальній власності, будуються на договірній і податковій основі та на засадах підконтрольності підприємств у межах повноважень органів місцевого самоврядування.

До власних повноважень виконавчих органів міських рад належить управління об'єктами транспорту, що перебувають у комунальній власності, затвердження маршрутів і графіків руху місцевого пасажирського транспорту незалежно від форм власності, залучення на договірних засадах підприємств, установ та організацій, що не належать до комунальної власності, до участі в об-

слуговуванні населення засобами транспорту.

До делегованих повноважень виконавчих органів міських рад належить здійснення заходів щодо розвитку транспорту та контролю за дотриманням законодавства щодо захисту прав споживачів, належною експлуатацією та організацією обслуговування підприємствами транспорту, технічним станом, використанням та утриманням об'єктів нерухомого майна усіх форм власності, прийняття рішень про скасування виданого ними дозволу на експлуатацію об'єктів у разі порушення ними норм або інших вимог законодавства.

Широкі повноваження та права міських адміністрацій у сфері транспорту, що закріплені законом, визначають їх безпосереднім обов'язком формування раціональної роботи транспортних систем відповідних міст та виконання ролі замовника роботи на міських маршрутах, диктують їхню повну відповідальність за стан транспортного обслуговування міст перед міськими радами та мешканцями міста.

Закон України "Про транспорт", крім іншого, містить такі завдання державного управління в галузі транспорту, як своєчасне, повне та якісне задоволення потреб населення і громадського виробництва в перевезеннях та потреб оборони України; захист прав громадян під час їх транспортного обслуговування; безпечне функціонування транспорту; додержання необхідних темпів і пропорцій розвитку національної транспортної системи; захист економічних інтересів України та законних інтересів підприємств і організацій транспорту та споживачів транспортних послуг; створення рівних умов для розвитку господарської діяльності підприємств транспорту; обмеження монополізму та розвиток конкуренції; координацію роботи різних видів транспорту; ліцензування окремих видів діяльності в галузі транспорту; охорону навколишнього природного середовища від шкідливого впливу транспорту.

Органами, що здійснюють державне управління в галузі транспорту, є Міністерство транспорту України, місцеві Ради народних депутатів та інші спеціально уповноважені на те органи відповідно до їх компетенції.

Згідно з цим законом існує розподіл повноважень центральних (державних) органів управління транспортом та місцевих органів виконавчої влади. За першими закріплені найбільш загальні питання управління транспортом на рівні держави, за другими – завдання щодо ефективного використання об'єктів транспорту; підвищення якості обслуговування у межах своїх територій.

Закон України “Про міський електричний транспорт” регулює відносини, пов'язані з діяльністю у сфері міського загального користування, в яких беруть участь замовники транспортних послуг, перевізники та пасажери. Він визначає, що транспортні послуги надаються міським електричним транспортом на договірних засадах. Основною формою транспортного обслуговування населення електричним транспортом є перевезення трамваями і тролейбусами за маршрутами, а метрополітенем, швидкісним трамваєм – за лініями відповідно до затверджених в установленому порядку транспортних схем міст (регіонів).

Згідно з місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування забезпечують реалізацію державної політики у сфері міського електричного транспорту, а також розробляють регіональні та місцеві програми його розвитку і забезпечують їх виконання, встановлюють тарифи на проїзд, організують перевезення пасажирів та здійснюють контроль за ним, встановлюють порядок справляння плати за проїзд, інформують населення про зміни, що стосуються надання транспортних послуг, забезпечують координацію роботи, пов'язаної з функціонуванням міського електричного транспорту та інших видів міського транспорту, створюють належні дорожні умови для здійснення перевезень, реалізують заходи з розвитку, вдосконалення та облаштування маршрутної мережі, виконують інші функції щодо створення безпечних умов діяльності у сфері міського електричного транспорту згідно із законодавством. Підставою для укладення договору про організацію надання транспортних послуг міського електричного транспорту, на відміну від автомобільного, є замовлення на пасажирські перевезення, у якому повинні враховуватися державні соціальні нормативи на транспортні послуги, а також спроможність перевізника за-

безпечити їх необхідний обсяг.

Згідно з законом замовник транспортних послуг зобов'язаний представляти і захищати інтереси споживачів таких послуг (пасажирів), створювати необхідні умови для забезпечення перевезень (забезпечувати відповідний стан доріг, облаштування пунктів на зупинках тощо). Перевізник має право вносити пропозиції щодо створення нових та внесення змін до існуючих маршрутів (ліній), а також уточнення обсягів транспортної роботи і розкладу руху. Установлення тарифів на проїзд у транспорті здійснюється з урахуванням необхідності забезпечення беззбиткової роботи перевізників та захисту малозабезпечених громадян. У разі встановлення рівня тарифу, який не покриває витрат, пов'язаних з перевезенням пасажирів, втрати перевізника компенсуються уповноваженим органом, яким затверджуються тарифи, за рахунок коштів відповідних бюджетів.

Наступний закон призначений для регулювання відносин між автомобільними перевізниками, замовниками транспортних послуг, органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування, пасажирями, власниками транспортних засобів, а також їх відносини з юридичними та фізичними особами – суб'єктами підприємницької діяльності, які забезпечують діяльність автомобільного транспорту та безпеку перевезень. Основним завданням державного регулювання та контролю у сфері автомобільного транспорту він визначає створення умов безпечного, якісного й ефективного перевезення пасажирів та вантажів, надання додаткових транспортних послуг. Крім іншого, тут також визначено, що органи місцевого самоврядування формують мережу міських автобусних маршрутів загального користування і здійснюють контроль за виконанням транспортного законодавства на відповідній території згідно з повноваженнями, визначеними законами України. На міські ради покладається організація пасажирських перевезень міськими автобусними маршрутами відповідного населеного пункту.

Органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування також зо-

бов'язані забезпечувати формування автобусної маршрутної мережі загального користування й мережі таксомоторних стоянок та розробляти перспективи їх розвитку; організовувати утримання в належному стані проїзної частини автомобільних доріг та під'їздів (на міських автобусних маршрутах загального користування) і в разі завдання матеріальних збитків автомобільному перевізнику, що обслуговує автобусний маршрут загального користування, через неналежне утримання проїзної частини автомобільної дороги чи під'їзду компенсувати йому збитки; забезпечувати облаштування необхідною інфраструктурою автобусних маршрутів загального користування, а саме – автопавільйонами, інформаційним забезпеченням пасажирів і підтримувати її в належному технічному та санітарному стані; забезпечувати розроблення паспортів автобусних маршрутів загального користування з визначенням необхідної кількості автобусів, їх пасажиромісткості, класу, технічних та екологічних показників, розкладу руху; проводити конкурс на перевезення пасажирів на автобусних маршрутах загального користування; забезпечувати укладання договору на автобусних маршрутах загального користування з автомобільним перевізником – переможцем конкурсу; забезпечувати безпечне і якісне обслуговування пасажирів на автобусних маршрутах загального користування; забезпечувати компенсацію втрат автомобільному перевізнику внаслідок перевезення пільгових категорій пасажирів та регулювання тарифів.

Органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування мають право достроково розірвати договір з автомобільним перевізником чи позбавити його дозволу в разі порушення ним умов договору чи дозволу і призначити для роботи на автобусному маршруті загального користування (групі маршрутів) автомобільного перевізника, який за результатами конкурсу зайняв наступне місце, а в разі його відмови – призначити до проведення конкурсу автомобільного перевізника один раз на термін не більше ніж три місяці; у разі припинення автомобільним перевізником перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування призначити перевізника, який за результатами

конкурсу зайняв наступне місце, а в разі їх відмови – призначати до проведення конкурсу автомобільного перевізника один раз на термін не більше ніж три місяці; у разі відкриття автобусного маршруту, який не має паспорта, призначати один раз тимчасового автомобільного перевізника на термін до трьох місяців, після чого за результатами функціонування маршруту приймати рішення щодо доцільності відкриття маршруту та проведення конкурсу.

Згідно з цим законом міські ради розробляють і затверджують програми розвитку та вдосконалення автомобільного транспорту на відповідній території або надають пропозиції щодо визначення цих програм в інших регіональних програмах з питань розвитку автомобільного транспорту, на них покладається завдання формування та ведення реєстру міських автобусних маршрутів загального користування.

Стаття 31 цього закону визначає, що відносини автомобільного перевізника, який здійснює перевезення пасажирів на міських автобусних маршрутах загального користування, із органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування визначаються договором про організацію перевезень пасажирів на автобусному маршруті загального користування. В договорі встановлюються: перелік маршрутів загального користування, які буде обслуговувати автомобільний перевізник, умови організації перевезень, показники якості транспортного обслуговування населення, термін роботи автомобільного перевізника, зобов'язання органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування щодо облаштування маршруту, підтримки проїзної частини автомобільної дороги та під'їзних шляхів у належному стані, розмір компенсації витрат автомобільного перевізника внаслідок перевезення пільгових категорій пасажирів та регулювання тарифів, механізм їх виплати.

Більш детально відносини між суб'єктами перевізного процесу пасажирів у містах визначаються постановами Кабінету Міністрів України (КМУ) та наказами Міністерства транспорту України. У найбільшій мірі це стосується постанов КМУ про затвердження змін до "Правил надання послуг пасажирського

автомобільного транспорту” , “Порядку проведення конкурсу на перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування” , “Правил надання населенню послуг з перевезень міським електротранспортом” . Ці нормативні документи ретельно розподіляють ролі в транспортному процесі перевезень пасажирів у містах між замовниками транспортних послуг, перевізниками і пасажирями. Замовником перевезень на міських маршрутах є виконавчі органи міських рад, які затверджують маршрут загального користування та розклад руху на ньому. Персональний склад конкурсного комітету для проведення конкурсу на перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування затверджує замовник. Відносини між замовником транспортної роботи на маршрутах та транспортними підприємствами, які її виконують, будуються на договірній основі у рамках чинного законодавства України. Всі рішення щодо продовження, скорочення маршруту, часткової зміни шляху прямування транспортних засобів приймаються замовником перевезень.

Згідно з при визначенні обсягів замовлення транспортної роботи на маршрутах замовник повинен дотримуватися державних будівельних норм ДБН 360-92 , відповідно до яких сумарні витрати часу на проїзд від місця проживання до місця роботи для 90 відсотків громадян не повинні перевищувати у містах з населенням понад 1 млн. 45 хв., від 500 тис. до 1 млн. – 40 хв., від 250 до 500 тис. – 35 хв., до 250 тис. – 30 хв., а наповнення рухомого складу – 4 чоловіки на 1 кв. метр вільної площі підлоги салону одиниці рухомого складу (за умови заповнення усіх місць для сидіння).

Але фактично дотримання цих вимог не контролюється ані державними органами управління, ані міськими органами влади. Причина в тому, що визначення фактичного часу пересування пасажирів потребує проведення занадто дорогих обстежень, а для достатньо точного розрахунку цих показників необхідна розробка ефективної моделі ММ міста, що в теперішній час практично неможливо, оскільки немає відповідного інструментарію.

Фінансові відносини між пасажирями, транспортними підприємствами та

міськими органами влади регулюються статтею 28 “Повноваження в галузі бюджету, фінансів і цін” Закону України “Про місцеве самоврядування” . Згідно з цією статтею до власних повноважень виконавчих органів міських рад належить “...встановлення в порядку і межах, визначених законодавством, тарифів щодо оплати побутових, комунальних, транспортних та інших послуг, які надаються підприємствами та організаціями комунальної власності відповідної територіальної громади; погодження в установленому порядку цих питань з підприємствами, установами та організаціями, які не належать до комунальної власності”.

Додаткові умови визначення тарифів містяться у постанові КМУ “Про встановлення повноважень органів виконавчої влади та виконавчих органів міських рад щодо регулювання цін (тарифів)” та наказі міністерства з питань житлово-комунального господарства України “Про затвердження Порядку формування тарифів на послуги міського електричного транспорту (трамвай, троллейбус)” . Ці нормативні документи доповнюють попередній документ та підтверджують широкі повноваження міських органів влади щодо тарифної політики в сфері транспорту. Слід також відмітити, що конструювання мережі МПТ за варіантами транспортної мережі на основі прогнозованого розвитку міста (з врахуванням змісту генплану) із забезпеченням перевезень масовим пасажирським транспортом, в очікуваних обсягах, є одним з основних завдань розробки комплексних транспортних схем міст , які є обов’язковими для виконання відповідними органами.

Необхідно відзначити, що перелічені закони та інші нормативні документи надають повну змогу органам місцевого самоврядування щодо ефективної організації роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах та відповідають сучасному рівню .

Тому причини існування недоліків маршрутних перевезень пасажирів у містах слід шукати в недостатньому виконанні існуючого законодавства відповідними органами, яке обумовлене слабкою відповідальністю державних та мі-

ських органів влади перед виборцями, дефіцитом коштів для реалізації інноваційної політики та відсутністю сучасного інструментарію підвищення ефективності організації роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах. Це викликає багато проблем, необхідність вирішення яких підкреслюється в роботах .

Формування сучасних систем МПТ українських міст відбувалося на основі, закладеній в радянську епоху, коли концепція містобудівництва була основана на пріоритетному розвитку масового пасажирського транспорту, а дублювання маршрутів у маршрутній мережі припускалося лише для підвищення надійності роботи транспорту. За нормами транспортного планування, що існували в Радянському Союзі, маршрутні системи українських міст у загальному випадку складаються з автобусних маршрутів і маршрутів електротранспорту. Оцінити напрями та тенденції розвитку пасажирських транспортних систем міст можливо, розглянувши зміни в структурі підприємств та маршрутів транспорту за роки незалежності.

Тенденції розвитку МПТ загального користування мають загальний характер для всіх українських міст, різниця між містами полягає лише в реалізації цих тенденцій у місцевих умовах конкретного міста. Загальність тенденцій зумовлена проведенням в Україні загальнодержавної політики переведення учасників транспортного процесу на ринкові взаємовідносини, приватизацією абсолютної більшості автотранспортних підприємств та фінансовою привабливістю роботи на міських маршрутах для бізнесу. Тому аналіз тенденцій розвитку транспортних систем проводиться на прикладі м. Харкова шляхом порівняння показників роботи маршрутної системи міста у 1988 та 2007 роках (у табл. 1..4).

Таблиця 1.1 –

Порівнювальна характеристика ліній метрополітену м. Харкова

Показники роботи маршрутів	Значення по роках		Відхилення, %
	1988	2007	
Кількість ліній, од.	2	3	50,0
Загальна довжина ліній, км	27,8	35,6	28,1

Кількість станцій, од.	21	28	33,3
Експлуатаційна кількість вагонів, од.	200*	316	58

* – розраховане виходячи з інтервалу 2 хв.

Таблиця 1.2 –

Порівнювальна характеристика трамвайних маршрутів м. Харкова

Показники роботи маршрутів	Значення по роках		Відхилення, %
	1988	2007	
Кількість маршрутів, од.	25	16	-36,0
Загальна довжина маршрутів, км	330	272	-17,6
Кількість вагонів в час „пик”, од.	341	264	-22,6

Таблиця 1.3 –

Порівнювальна характеристика тролейбусних маршрутів м. Харкова

Показники роботи маршрутів	Значення по роках		Відхилення, %
	1988	2007	
Кількість маршрутів, од.	44	30	-31,8
Загальна довжина маршрутів, км	393	294	-25,2
Кількість ТЗ на маршрутах в час „пик”, од.	537	197	-63,3

Таблиця 1.4 –

Порівнювальна характеристика автобусних маршрутів м. Харкова

Показники роботи маршрутів	Значення по роках		Відхилення, %
	1988	2007	
Кількість маршрутів, од.	45	171	280
Загальна довжина маршрутів, км	756,3	1868,1	147
Кількість ТЗ на маршрутах в час „пик”, од.	448	984	120

Обсяги перевезень та інші експлуатаційні показники роботи різних видів транспорту не аналізувались тому, що звітні дані відповідних підприємств (за виключенням метрополітену) не можуть претендувати на точність та об'єктивність.

Статистичні дані, що наведені в табл. 1.4, наочно свідчить про значні зміни ММ м. Харкова за розглянутий період, основною тенденцією яких є не-

пропорційний розвиток мережі автобусних маршрутів з різноманітними режимами роботи ТЗ на них. Ці зміни привели до становища, яке характеризується так:

- з усіх видів електротранспорту відносно благополучне становище має лише метрополітен, що обумовлене державним фінансуванням його розвитку та відповідно більшою інерцією темпів розвитку, ніж в інших видах електротранспорту;

- трамвайні та тролейбусні маршрути, що обслуговуються підприємством "Міськелектротранс", понесли значні втрати за всіма показниками, що наведені в табл. 1..4 та знаходяться на межі виживання;

- значний розвиток саме мережі автобусних маршрутів призвів до зниження кількості та потужності трамвайних і тролейбусних маршрутів в місті, які виконують важливі, соціально значущі перевезення пасажирів;

- рішення міської влади відносно виконаних змін маршрутної мережі є результатом реагування на ініціативи потенційних перевізників і не можуть вважатися обґрунтованими, оскільки виконувались без використання сучасних методів транспортного планування, як це прийнято в економічно розвинутих країнах.

Необхідно відзначити, що такий шлях вже проходила більшість держав, що розвиваються. В основному це стосується країн Азії та Південної Америки . У них період ринкового колапсу вже пройшов, зараз суспільство в цих країнах вирішує свої транспортні проблеми на науковій основі з пріоритетним розвитком транспорту загального користування, результатом чого стає будівництво та експлуатація ліній метрополітену в найбільш фінансово забезпечених державах, таких як Південна Корея . Нехватка фінансових ресурсів призводить до створення виключно автобусних транспортних систем, навіть для дуже великих міст, таких як столиця Колумбії Богота з кількістю населення в 7 млн. мешканців . Безумовно другий шлях є дуже не перспективним з огляду на всі негативні якості автобусів.

Зараз негативні тенденції розвитку МПТ знайшли відгук в українському суспільстві та державних органах управління на всіх рівнях. У Харкові, завдяки зусиллям міської адміністрації, підприємство “Міськелектротранс” поповнило у 2007 році свій парк на 90 тролейбусів й 9 трамваїв. Аналогічні зусилля докладаються й в інших містах держави.

У законах України про Державний бюджет, починаючи з 2006 року, введені програми фінансування електротранспорту, які згідно з програмною класифікацією мають назви: №2711020 “Субвенція з державного бюджету місцевим бюджетам на придбання вагонів для комунального електротранспорту (тролейбусів і трамваїв)” та №3121020 “Субвенція з державного бюджету місцевим бюджетам на будівництво та розвиток мережі метрополітенів”. У бюджеті України на 2006 рік передбачено фінансування за цими програмами в розмірі 50 та 100 млн. грн. відповідно . На 2007 рік за цими програмами передбачене фінансування вже в розмірі 50 та 200 млн. грн. відповідно .

У грудні 2006 року прийнята державна програма розвитку міського електротранспорту на 2007-2015 роки . Метою Програми є створення належних умов для надання населенню високоякісних послуг з перевезення трамвайними вагонами і тролейбусами; забезпечення сталого функціонування і подальшого розвитку міського електротранспорту; збільшення питомої ваги електротранспорту у міських пасажирських перевезеннях, пріоритетний його розвиток у містах з підвищеним рівнем забруднення довкілля, у зонах масового відпочинку та щільної житлової забудови; підвищення рівня технічного оснащення підприємств та ефективності їх роботи.

Для досягнення зазначеної мети в тому числі передбачається розв’язати такі основні завдання, як адаптація підприємств галузі до роботи в ринкових умовах; забезпечення державної фінансової підтримки у вирішенні питань оновлення парку трамвайних вагонів і тролейбусів; налагодження серійного виготовлення сучасних трамвайних вагонів і тролейбусів, іншого обладнання для потреб галузі; впровадження новітніх технологій, передусім енергозберігаю-

чих, у процесі виготовлення, будівництва, реконструкції та модернізації трамвайних вагонів і тролейбусів, контактних мереж, тягових підстанцій, трамвайних колій, інших об'єктів, призначених для надання пасажиром транспортних послуг; збереження і розвиток електротранспортної інфраструктури та маршрутної мережі.

Досягнення мети та розв'язання основних завдань Програми здійснюватиметься шляхом оновлення парку трамвайних вагонів та тролейбусів; будівництва та реконструкції трамвайних та тролейбусних ліній; нормативно-правове забезпечення функціонування та розвитку міського електротранспорту; науково-технічного забезпечення функціонування та розвитку міського електротранспорту.

Проблему забезпечення належного рівня перевезень пасажирів міським електротранспортом передбачається розв'язати шляхом організації ефективного управління зазначеним видом транспорту та використання його майнового комплексу; забезпечення беззбиткового функціонування підприємств; технічного переоснащення міського електротранспорту; нормативно-правового і науково-технічного забезпечення його подальшого функціонування та розвитку; створення умов для ефективного розвитку галузі.

Програмою передбачається активізація роботи місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування щодо здійснення функцій замовника послуг з перевезень пасажирів відповідно до вимог Закону України "Про міський електричний транспорт" та створення на базі комунальних підприємств транспортних компаній для вирішення питань комплексного розвитку маршрутної мережі, виключення невиправданого дублювання приватними автоперевізниками трамвайних і тролейбусних маршрутів, ефективного використання та розвитку ремонтної інфраструктури підприємств, належного утримання рухомого складу, забезпечення безпеки руху та поліпшення якості надання транспортних послуг.

Виконання програми повинне забезпечити беззбиткове функціонування

підприємств електротранспорту та нормативно-правову і науково-технічну базу функціонування та розвитку міського електротранспорту, яка в тому числі передбачає розроблення та затвердження нових і перегляд застарілих нормативно-правових актів з питань регулювання відносин у сфері міського електротранспорту, будівництва, експлуатації та ремонту його об'єктів; узгодження національних стандартів та нормативних документів у сфері функціонування міського електротранспорту з директивами Європейського Союзу.

Створення умов для пріоритетного розвитку міського електротранспорту згідно з програмою повинне здійснюватись за рахунок уточнення органами місцевого самоврядування комплексних схем розвитку міського пасажирського транспорту та схем організації руху з метою збільшення обсягу пасажирських перевезень міським електротранспортом у містах з підвищеним рівнем забруднення довкілля, у зонах масового відпочинку та щільної житлової забудови; здійснення заходів, спрямованих на удосконалення інфраструктури міського електротранспорту; розроблення і виконання місцевих програм розвитку галузі.

Однак для виконання цієї програми недостатньо лише фінансування та адміністративних заходів. Окремі питання міського транспорту, в тому числі й електротранспорту можливо вирішити за рахунок доступних, відносно простих заходів, запропонованих в ряді робіт, але в цілому потрібна розробка комплексних програм розвитку міського транспорту, в тому числі й електротранспорту, кожного міста України на основі об'єктивної оцінки якості роботи систем МПТ, можливостей бюджетів всіх рівнів та бажаного рівня якості обслуговування пасажирів.

Для якісного виконання цих завдань необхідна розробка сучасних теоретичних основ підвищення ефективності функціонування МПТ у містах, які дозволяють забезпечити максимальний рівень якості обслуговування пасажирів для заданого рівня фінансування транспорту, проводити зважену тарифну політику в транспортній галузі з врахуванням рівня доходів мешканців міста та ін-

ших вагомих факторів, визначати найбільш перспективні напрямки розвитку транспортної та маршрутної мережі міст на основі об'єктивних даних.

Основною метою цього етапу дослідження є критичний аналіз існуючих варіантів поняття системи та методів врахування системного характеру роботи маршрутного пасажирського транспорту з метою визначення можливих варіантів системного дослідження МС МПТ. Починаючи із заснування у 30-ті роки минулого століття загальна теорія систем та системний підхід набули широкого застосування в різних сферах людської діяльності та використовуються практично у всіх напрямках наукових досліджень. Це породило велику кількість різних тлумачень основних понять теорії систем і відповідно способів їх використання. Різниця у поняттях в основному обумовлена особливостями тих конкретних питань, які вирішуються за допомогою теорії систем. Тому отримати загальне уявлення про поняття системи та пов'язані з ним інші поняття можливо за допомогою найбільш загальних визначень, які наведені в .

Згідно з система – це сукупність елементів, що знаходяться у взаємозв'язку та взаємовідносинах між собою, яка утворює певну єдність, цілісність, а системний підхід – спосіб наукового пізнання та практичної діяльності, що вимагає розгляду частини у нерозривній єдності з цілим.

Системний підхід є основним інструментом загальної теорії систем, математичні основи якого детально викладені в роботі . Але з розширенням сфери використання системного підходу, при розгляді соціально-економічних систем з активною участю людини, в його межах зародився та отримав широке розповсюдження спеціальний інструментарій – системний аналіз .

Системний аналіз – сукупність методів та засобів, що використовуються при дослідженні та конструюванні складних і надскладних об'єктів .

Однією з відмінностей системного аналізу є застосування виключно математичного моделювання при рішенні дослідницьких задач. У рамках системного аналізу розглядаються також і реальні транспортні системи, до яких відноситься МС МПТ.

Реальні транспортні системи – це відносно обмежені економіко-технологічні об’єкти, що виконують певні транспортні функції .

МС МПТ за своїм складом та завданнями повністю відноситься до активних систем, які є предметом дослідження теорії активних систем (ТАС) – розділу теорії управління соціально-економічними системами, яка вивчає властивості механізмів, їх функціонування, обумовлені проявом активності учасників системи . На відміну від пасивних систем, до яких відносяться й технічні системи, елементи активних систем, крім можливості вибору стану, володіють власними інтересами та перевагами, тобто здійснюють вибір стану цілеспрямовано (у протилежному випадку їх поведінку можна було б розглядати як пасивну).

Основним методом дослідження ТАС є математичне (теоретико-ігрове) та імітаційне моделювання, тому в рамках цієї теорії були розроблені деякі імітаційні моделі . Аналіз цих моделей дозволяє стверджувати про їх суттєві відмінності від сучасних методів транспортного планування, аналіз яких наведений у наступному підрозділі. У роботі в рамках ТАС пропонується “методологія аналізу та реформування великомасштабних організаційних систем” на основі процедур експертизи та класифікаційного аналізу. Авторами стверджується, що ця робота використовувалась при реформуванні структури регіонального пасажирського автотранспорту. Елементи методології використані при розробці частини людино-машинної системи підтримки прийняття рішень відносно об’єктів, що мають територіальну структуру, комп’ютерної програми “Аналітик” . У системі “Аналітик” вся вихідна інформація про керовані об’єкти (кількісна, якісна, експертна) представляється у вигляді куба даних “об’єкт – показник – час”. Для класифікаційного аналізу в системі “Аналітик” можливо використання алгоритмів розмитого екстремального групування та розмитої автоматичної класифікації. Слід відзначити, що розгляд дуже великих порівняно з МС МПТ об’єктів з невизначеною структурою відносить ці роботи в більш загальну та теоретичну сферу.

Розглядати автотранспортне підприємство як стохастичну систему, яка функціонує в умовах нестабільного середовища, пропонується в . У роботі підкреслюється, що питання перевезення пасажирів у межах автотранспортного підприємства слід розглядати як “трипланарну” транспортну задачу. Розв’язувати її необхідно за допомогою методів рішення нечітких багатоіндексних задач лінійного програмування. Автотранспортне управління є об’єктом дослідження в роботі , у якій для моделювання його організаційної структури пропонується використовувати “околичні” моделі у поєднанні з одним з варіантів стимулювання.

Позитивними прикладами використання системного підходу спеціалістами з транспорту являються роботи , в яких поєднання системних методів дослідження із досвідом авторів у транспортному плануванні дозволило отримати нові наукові результати при розробці методології формування систем МПТ, обґрунтуванні раціональної структури парку автобусів та розробці методів функціонування автотранспортних підприємств.

Спроби використання системного підходу у дослідженні транспортних об’єктів робляться й українськими вченими. Так в роботах зроблено спробу моделювання АТП засобами системного підходу, але автору не вдалося зробити значного наукового внеску в розвиток системних методів прийняття ефективних рішень у транспортній сфері.

Системний підхід у роботі використовується поряд з методом ієрархій, імітаційним моделюванням, процесним підходом та функціонально-вартісним аналізом. Це дало змогу автору уточнити місце механізму управління в АТП та визначити основні напрями податкової політики підприємства, що є актуальним при більш детальному підході до вирішення транспортних проблем, ніж при розгляді МС МПТ. У роботі вводиться поняття системного критерію ефективності – математичної формалізації сукупності цілей і обмежень, які суспільство ставить перед певною підсистемою, на всіх етапах життєвого циклу. Виділяються три аспекти системної ефективності перевезень пасажирів: соціальний,

економічний та екологічний, але ці пропозиції потребують більш суттєвого обґрунтування. У роботі вводяться основні поняття та деякі моделі дослідження транспортних систем, але учбове призначення цієї роботи не дало авторам можливості для наведення в достатньому обсязі інформації, яка могла би бути корисною при розгляді питань формування пасажирських транспортних систем міського маршрутного транспорту.

Слід відзначити, що розглянуті підходи до вивчення реальних транспортних систем мають скоріше теоретичне ніж практичне значення в питаннях структурного управління транспортними або іншими об'єктами. Вони не можуть слугувати доброю базою для створення ефективних систем маршрутного пасажирського транспорту в містах, оскільки суттєво відрізняються у гіршу сторону від сучасних методів транспортного планування за ступенем детальності розгляду об'єктів.

Для формування методики проведення системного дослідження необхідно визначити роль та місце поняття “система” при розгляді МС МПТ.

Необхідно відзначити, що під наведене визначення системи підпадають практично всі об'єкти навколишнього світу. Це пояснюється ключовим словом визначення системи “сукупність”. Як тільки об'єкт складається зі складових частин – це вже система, оскільки решта тверджень у визначенні виконується практично у всіх випадках. Обов'язково існує взаємодія між складовими частинами і об'єкт, напевно, можна виділити з оточення.

У систем існує ще одна відома властивість – ієрархічність. Відповідно до цього будь-яка система є елементом системи вищого рівня, також як і кожен елемент системи є у свою чергу системою, яка складається з елементів. З цього слідує твердження про нерозривну єдність будь-якої системи із зовнішнім середовищем і дає можливість зробити висновок, що всі об'єкти навколишнього світу знаходяться у взаємозв'язку між собою. Ці зв'язки можуть бути прямими (безпосередніми) і непрямими (через інші елементи). Тому при виділенні системи з навколишнього середовища обов'язково відбувається порушення точно-

сті опису дійсності, оскільки хоч би один зв'язок між елементами системи і елементами зовнішнього середовища після виділення системи з навколишнього середовища не враховується. Крім того, додаткову похибку вносить припущення про постійність характеристик елементів системи.

Необхідно відзначити ще одну особливість систем, яка полягає в тому, що будь-який з реальних об'єктів можна представити у вигляді різних сукупностей елементів. Іншими словами, в кожному об'єкті можна виділити різні елементи й одному і тому ж об'єкту може відповідати декілька варіантів представлення у вигляді системи. Тепер необхідно ввести поняття моделі як обов'язкової частини будь-якого дослідження або ухвалення рішення.

Під моделлю розуміють штучний об'єкт, який відображає з певним ступенем точності основні властивості об'єкта, що вивчається, – оригіналу. При побудові моделі об'єкт і його властивості спрощують, але чим ближче модель до оригіналу, тим ефективніше його дослідження. Кожен об'єкт може бути представлений нескінченною кількістю моделей. Тепер необхідно знову пригадати про дві особливості, які були виділені при розгляді визначення системи. Виділення системи із зовнішнього середовища завжди приводить до втрати частини властивостей об'єктів дослідження, а кожен з об'єктів може бути представлений декількома варіантами системи. Ці особливості є також і властивостями моделі. Звідси можна зробити такий висновок: у прикладних дослідженнях система розуміється як особлива модель або спосіб моделювання. Відмінності між поняттями моделі і системи обумовлені тим, що модель є більш загальним поняттям, ніж система – окремий випадок моделювання. Виходячи з належності поняття системи класу моделей, необхідно зробити такий висновок: у прикладних системних дослідженнях обов'язково повинна бути присутньою процедура представлення об'єкта дослідження у вигляді системи. Ця процедура містить два етапи:

– виділення об'єкта з навколишнього середовища, тобто проведення меж системи;

– формування списку елементів системи і визначення взаємодій між ними.

Етап проведення меж системи, за своїм змістом, є виділенням двох класів об'єктів: елементів системи, які є керованими в процесі дослідження, і елементів зовнішнього середовища, які задають умови функціонування системи і не змінюють свого стану при дослідженні. Структура зовнішнього середовища визначає умови функціонування об'єкта, а її елементи чинять вплив на систему.

На відміну від них елементи системи не впливають на зовнішнє середовище. Варіант виділення елементів усередині системи визначається цілями та інструментарієм дослідження. Елементи системи не можуть змінювати свої характеристики як безпосередньо, так і під впливом інших елементів системи.

При дослідженні транспортних об'єктів межі системи можуть мати географічний, економічний, технологічний, адміністративний або інший характер. Розширення меж системи дозволяє розглянути більшу кількість варіантів розвитку об'єкта дослідження, проте значно ускладнює процес ухвалення рішень.

МС МПТ є достатньо ізольованим об'єктом, який вже має географічні, економічні та адміністративні межі. Як елементи зовнішнього середовища зазвичай приймаються потреби населення в користуванні послугами маршрутного транспорту та транспортна мережа, яка слугує основою для організації маршрутів, – обов'язкових елементів системи. Моделювання транспортної мережі має достатньо вивчений характер та може вважатися більш технічним ніж науковим питанням. Особливу увагу необхідно приділити визначенню потреб населення в користуванні послугами маршрутного транспорту. Крім маршрутів існує ще один обов'язковий елемент маршрутної системи – власне пасажир, які задовольняють свої потреби у пересуванні шляхом використання тих чи інших маршрутів. Активність елемента “пасажир” диктує необхідність ретельного вивчення їхньої поведінки, оскільки найбільше впливає на результати моделювання МС МПТ.

Основною метою системного дослідження є пошук найбільш ефективного варіанта управління об'єктом. Для його досягнення необхідно розглянути

можливі варіанти стану системи і вибрати той з них, який забезпечує максимум ефективності. Питання тут полягає у визначенні математичного змісту поняття ефективності об'єкта в системному розумінні, оскільки єдиної точки зору на це питання немає, відсутня і методика її формалізації, яка би дозволила сформулювати об'єктивний показник ефективності МС МПТ. Інші питання системного дослідження, такі як моделювання системи та пошук її оптимального стану мають підпорядкований характер у системному дослідженні МС МПТ та вирішені на достатньому рівні.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акофф Р.Л. Планирование в больших экономических системах. / Пер. с англ. Г.Б. Рубальского. Под ред. И.А. Ушакова.–М.: «Сов. Радио», 19723 с.
2. Акофф, Рассел Л. и Эмери, Фред И. О целеустремленных системах. – М.: "Советское радио", 1974.
3. Баяндин Э.П. Критерий эффективности научно-технических разработок. М.: "Экономика", 1973.
4. Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. – М.: "Наука", 1969.
5. Булычева Н.В., Федоров В.П. Расчет пассажиропотоков и оптимизация параметров маршрутных схем. – В кн.: Математические методы в управлении городскими транспортными системами. Институт социально – экономических проблем. -Л. : Наука, 1979, с. 65-90.
6. Васильева Е.М., Лившиц В.Н. Системный анализ эффективности НТП в отраслях производственной инфраструктуры// Системные исследования: Методические проблемы. Ежегодник. – М.: Наука, 1983.
7. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико статистические понятия и формулы в экономическом анализе. – М.: Транспорт, 1986. – 120 441 с.
8. ГОСТ 27.002-83 Надежность в технике. Термины и определения. Москва, 1983. – 30 с.
9. Грановский Б.И. Моделирование пассажирских потоков в транспортных системах : Автомобильный и городской транспорт (Итоги науки и техники), т. 11. – М.: ВИНТИ, 1986, с. 605.
10. Грушко И.М., Сиденко В.М. Основы научных исследований. – Харьков, Вища школа, 1983. – 224 с.
11. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением / Под ред. М.А. Блинкина: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
12. Исследования по общей теории систем / Под ред. В.Н. Садовского, Э.Б.

Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – 520 с.

13.Л. фон Берталанфи. История и статус общей теории систем // Системные исследования: Методические проблемы. Ежегодник. – М.: Наука, 1979. – с. 29-54.

14.Месарович М. Общая теория систем: математические основы. М.: "Мир", 1973- 344 с.

15.Методы оптимизации в экономико-математическом моделировании / По общей редакцией Е.Г. Гольштейн. АН СССР, Центральный экономико-математический институт. – М.: "Наука", 1991 444 с.

16.Пассажирские автомобильные перевозки./ Под ред. Н.Б. Островского –М.: Транспорт, 1986. – 120 с.

17.Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989.

18.Пономаренко О.І., Пономаренко В.О. Системні методи в економіці, менеджменті та бізнесі: Навч. посібник. – К.: Либідь, 1995. – 240 с.

19.Портнов Г.Я. Исследование зависимостей между системными параметрами с помощью ЭВМ. / "Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник.", М.: "Наука", 1971.

20.Рихтер К.Ю. Транспортная эконометрия. – М.: Транспорт, 1983. – 317 с.

21.Самойлов Д.С. Городской транспорт. М.: Стройиздат, 1983. – 384 с.

22.Свічинська О.В. Удосконалення моделей вибору шляху пересування пасажирів в маршрутних системах міст : дис. ... к-та техн. наук : 05.22.160 / Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2015. 195 с.

23.Семенов А.И. Предпринимательская логистика. – СПб.: Политехника, 1997. – 349 с.

24.Ушаков Д.Н. Толковый словарь современного русского языка. М.: Аделант, 2013. – 800 с.

25.Философский словарь / Под ред. И.Т.Фролова – 5-е изд. – М.: Политиздат,

1987. – 590 с.

26. Wardrop J.G., "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research." Proc. Inst. Civ. Engrs, Part II 1, № 2, (1952), p. 325-362.

27. Lorenz E.N. Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas? American Association for the Advancement of Sciences; 139th meeting. 5 P. То же [Электронный ресурс – Режим доступа: http://eaps4.mit.edu/research/Lorenz/Butterfly_1972.pdf, свободный. – Название с экрана.

28. Rashid T. Make Your Own Neural Network. CreateSpace, 2016. – 222 p.

29. Webster, F.V., Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper No. 39, Department of Scientific and Industrial Research, London, 1958, – 45 P.